

آدریان وولفسون

حیات بدون ژن

"فوق العاده سرزنده، فریبنده، شگفت انگیز و امیدوار کننده "

اسکاتزمن

تاریخ و آینده ژنوم

آدریان وولفسون

در شهر لندن و در کمبریج و آکسفورد تحصیل کرد. او بورسیه کارآموزی تحقیقات بالینی و لکام تراست در بخش شیمی پروتئین و اسید نوکلئیک در لابراتوار شورای تحقیقات پزشکی بیولوژی مولکولی در کمبریج است و نیز کارآموز تحقیقات چارلز و کترین داروین در بیولوژی مولکولی در کالج داروین در کمبریج است.

قسمتی از نقد های اثر او

"از امواج نترس! آدریان وولفسون معنی اصطلاح "حیات" و "ژن" را رقیق می کند تا برای ما اسباب بازی های جدیدی در زمین بازی احتمالات فراهم کند -جایی که شاید ما بتوانیم منشأ حیات را بفهمیم. این یک تفریح جدی است. گراهام کرنز-اسمیت نویسنده هفت سرنخ برای منشأ حیات

"به طوری باورنکردنی انعطاف پذیر و پرحرارت، یکی از مهیج ترین خواننده هایم در طول سالها " آلن کرسی، روزنامه کمبریج ایونینگ نیوز

"نوشدارویی سرگرم کننده و شگفت آور برای این اندیشه جبرگرای غم انگیز رایج که همه کس و همه چیز به طور غیر قابل اجتنابی به طور ژنتیک برنامه ریزی شده اند. وولفسون علامه گی هراس آور خود را به آهستگی برتن می کند و ما را تشویق می کند که به دی.ان.ا. مثلاً به عنوان مجموعه لگوی بی نهایت انعطاف پذیر با همه نوع امکانات فریبده اش فکر کنیم. شگفت آور و ترغیب کننده."

اسکاتزمن

"آیا حیات بدون ژن می تواند وجود داشته باشد. موجودات در آینده به چه چیزی شبیه خواهند بود؟ حیات در آینده فوق العاده سرزنده، فریبده، شگفت انگیز و امیدوار کننده خواهد بود."

اسکاتزمن

"نوشدارویی خوشایند برای جبرگرانی ژنتیک خام که بسیار در علم عامه پسند رایج است، و لذت خواندن. چیزی برای از دست دادن ندارید، جز ژن هایتان."

لن استوارت، نویسنده کتاب "آیا خداوند طاس می ریزد؟" و "راز دیگر حیات"

"احتمالاً در بین انتشارات اشتباهی رخ داده است. کارمند تازه کار بیچاره، در راه رفتن به مغازه فتوکپی دستخط های آلیس در سرزمین عجایب را با رساله ای در باب ژنتیک روی زمین انداخته و بعد آنها را با هم اشتباه کرده. نتیجه کتابی است که از قوانین ترمودینامیک مستقیماً می پرد به داستانهای غریب در باره شاه کروکودیل ها که غزل می سراید. وولفسون تعریف حیات را اصلاح می کند تا نشان دهد که نیاکان دور ما می توانسته اند بسته هایی از مواد

شیمیایی شناور در اقیانوسی ساکن باشند. نظریه های او بسیار قانع کننده اند. هرکسی که تا به حال از خود پرسیده باشد که سیاره ای از صخره ها و دریاهاى جوشان، چگونه می تواند موتزارت و گروه موسیقی اسپایسی گرلز را به عرصه وجود در آورد، پاسخ خود را در اینجا خواهد یافت."

سارا پلیفورت منچستر ایونینگ نیوز

"آدریان وولفسون با بردن ما به ماورای بیولوژی و ژن ، چشم انداز ما را از آینده برای همیشه تغییر می دهد. آیا ممکن است که زرافه ها بلند تر از آسمانخراش ها رشد کنند؟ چگونه کروکودیل ها می توانند بیش از یک ساعت زیر آب بمانند؟ آیا می توان یک ماهی آبشوس را به نرگس زرد، یا ببر را به جوجه تیغی تبدیل کرد؟ وولفسون از ما می خواهد که هاپر مارکتی را مجسم کنیم که همه انواع اسباب بازی های ممکن کائنات را در خود دارد ، یا به دی ان ا مانند یک لگوی بی نهایت انعطاف پذیر بنگریم ، و ما را به سفر های خیالی پیترو پن درون ژن خودمان می برد و قلمروی کامل مهندسی ژنتیک و همین طور خطرات آن را به ما نشان می دهد. یک نوشته منحصر به فرد علمی در دسترس با رنگ سایه هایی از هاکسلی (بیولوژیست مولکولی)، لویس کارول و داروین ، کتاب حیات بدون ژن ارائه می کند منظره ای شگفت انگیز از آینده ای که اثرات تجارب ژنتیک کنونی ما هم غریب تر و هم بیگانه تر از آنی که تصور می کردیم ظاهر خواهند شد.

با بافتن دقیق رویاهایمان و با فرود سریع به مرزهای قابل درک ، حیات بدون ژن، ما را به فضاهای مفهومی شگفت انگیزی می برد که با توسل به زنده کردن جهان های وحشتناک بورخسی، باید فرضیات خود درمورد حیات را به شکل لذت بخشی به چالش بطلبیم."

لیزا گی – اسکاتلند

بررسی کتاب از طرف انتشارات آمازون

این کتاب، باکنار هم گذاشتن بینش های ژنتیک و فرهنگ سایبری ادعا می کند که کل حیات می تواند به عنوان اطلاعات تلقی شود. این کتاب در باب پیشرفت آینده ژنتیک، هم در نتیجه انتخاب طبیعی داروینی و هم تحت تاثیر مهندسی ژنتیک کاوش می کند. ایده ها با مثال های سوررئالیستی توضیح داده می شوند مانند هایپر مارکت هایی که شامل انواع اسباب بازی های کائنات هستند، مثلاً یک ماهی پفکی که مانند حشرات فکر می کند و سفرهای شبیه پیتر پن بی تجربه درون ژن انسان و موجوداتی که به جای هزاران سال، در چندین ماه تکامل پیدا می کنند. کتاب استدلال می کند که ماشین های بیولوژیک که به طور مصنوعی در فرآیند شتاب یافته " تکامل متراکم " تکامل یافته اند، بر آینده تسلط خواهد یافت.

تاریخ ، ساختار و آینده حیات

نویسنده ، محقق و دکتر کنونی آدریان وولفسون اظهار می کند : "موجودات زنده در آینده درست مثل خودروها با استفاده از اصول اولیه طراحی خواهند شد و ما محدود به استفاده از دی ان ا و آر ان ا و فناوری پروتئین نخواهیم بود ، بلکه در عوض قادر خواهیم بود که امکانات ذاتی سایر مواد شیمیایی را کاوش کنیم ". او سپس می افزاید : "زمانی که ما زنجیره ژنوم همه موجودات و شاید همه موجودات انقراض یافته را نیز ردیف یابی کنیم ، قادر خواهیم بود که از این اطلاعات برای طراحی الگوریتم هایی استفاده کنیم که اجازه می دهند در "فضای زنجیره های دی ان ا " رهیابی کنیم و ژنوم مخلوقات محتمل را بیابیم ، ژنوم هایی که تا کنون توسط تاریخ کشف نشده اند " .

آدریان وولفسون

حیات بدون ژن

تاریخ و آینده ژنوم

به پدرو مادرم
و کثر

پیش گفتار.....	۱۱
قدردانی.....	۱۵
۱- ماجرای یک فضای اسباب بازی.....	۱۶
۲- ساختار " فضای ژن".....	۳۸
۳- کروکودیل نفسش را حبس می کند.....	۵۲
۴- بازدید از دریای اطلاعات.....	۶۸
۵- سرچشمه های حیات.....	۸۷
۶- در جستجوی فسیل های هوشمند.....	۱۰۴
۷- جهان بدون دی.ان.ا.....	۱۱۷
۸- مخلوقات آنالوگ.....	۱۳۸
۹- حیات بدون ژن.....	۱۵۲
۱۰- سرچشمه های اطلاعات بدون ژن.....	۱۶۳
۱۱- طرحهای بدون برنامه.....	۱۸۰
۱۲- سفری به باغ وحش فاقد ژن.....	۲۰۰
۱۳- آینده حیات.....	۲۲۸

همان طور که در ابتدا بود،
اکنون هم همان سان است
و همیشه همان سان خواهد ماند.

توضیح در مورد پانویس ها

اصل این کتاب به کلی فاقد هر نوع پانویس و توضیحی می باشد. کلیه پانویس ها و توضیحات از طرف مترجم و فقط به منظور روشن کردن برخی از مفاهیم پیچیده اضافه شده است. در کلیه صفحات مواردی که نیاز به توضیح داشته به پایین صفحه ارجاع داده شده و در مواردی که توضیحات مفصل تر بوده است برای راحتی و سهولت خواننده، مطالب بیشتری در انتهای فصل نگاشته شده و کلیه موارد با علامت * و شماره در توضیحات پایین صفحه نوشته شده است مانند * ۱ یا * ۵.

پیش گفتار

پیام این کتاب ساده است و می تواند در یک جمله بیان شود: "ممکن است ژن برای حیات ضروری نباشد". گرچه عجیب به نظر می رسد ولی ممکن است این حرف کاملاً درست باشد. گرچه مخلوقات آشنای ما پیچیدگی خود را مدیون ژن هستند ولی معلوم نیست که اولین موجودات زنده برای ایجاد و ذخیره اطلاعات ضروری خود از ژن استفاده کرده باشند. به هر صورت اجداد بدون ژنی که ممکن است منشأ همگی ما باشند می توانسته اند ظرفیت بسیار محدودی برای استمرار اطلاعات اصلی تکامل داشته باشند. نتیجتاً ممکن است که این اجداد عمری کوتاه داشته و از تولید شجره ای ممتد ناتوان بوده باشند، یعنی شجره ای که فقط می تواند سطح ناچیزی از پیچیدگی را به دست آورد. فقط دنباله روی از یک نوآوری فنی، ساختمان حیات را قادر ساخت که به شکل دیجیتال در پایگاه داده ژنتیک به رمز در آید و اطلاعات برای اولین بار بتواند با دقت از نسلی به نسل دیگر منتقل شود. به این ترتیب، ژن ها توانستند به اشکال حیات اجدادی خود ظرفیت توارث نامحدودی اعطا کنند که قبلاً غیر قابل دسترسی می نمود. بعداً این نوآوری با نوآوری دیگری دنبال شد که اجازه داد اطلاعات دیجیتال به رمز در آمده توسط یک فناوری شیمیایی، در فناوری دیگری به عنوان سمبل استفاده شود. بنابراین گرچه ممکن است ژن برای حیات ضروری نباشد ولی پیچیدگی حقیقی در قدیمی ترین اجداد ما، به قدرت منحصر به فرد ژنهای رمزدار وابسته است که قادرند ویژگی های اطلاعاتی جانداران را از تحقق مادی آنها جدا کنند.

به منظور بررسی این موارد و ترسیم خطوط کلی آینده احتمالی حیات، سفری را در پیش می گیریم که ما را به حدود ۳٫۸ میلیارد سال پیش و به منشأ حیات در روی زمین خواهد برد. این کار در جای خود ما را به بررسی ساختمان منطقی ژنها و نیز خود حیات هدایت خواهد کرد. در این راه ما پی خواهیم برد که می توان به موجودات زنده مانند کیتی از ژنها نگاه کرد که از نظر مفهوم بی شباهت به کیت های مدلی که در اسباب بازی فروشی ها دیده می شوند نیستند. در هر صورت، تعریف کامل یک مخلوق زنده ابعادی از اطلاعات را در بر می گیرد که از مرز خصوصیات ژنتیک می گذرند و شامل رشد، آموزش و فرهنگ می شوند. بنابراین، اطلاعات موجود زنده در سطوح مختلف سلسله مراتبی پراکنده است. با توجه به مفهومی که از حیات بدون ژن در نظر داریم، سعی خواهیم کرد که هم طبیعت ژنتیک و هم ساختمان های دیگری را که شالوده حیات معاصر را تشکیل می دهند روشن کنیم.

اصطلاح "حیات بدون ژن" قصد بیان چند مفهوم را دارد. اول این که، ژنها برای برخی از صور حیات ضروری نیستند. در حقیقت مدار سوخت و ساز اولین موجودات زنده می تواند در فقدان اطلاعات رمزدار ژنتیک و "سازمان حیات" حک شده در ماده بی جان، و بدون روش های نمادین یا رمزی نمایش اطلاعات که توسط ژنها به کار می رود، خود به خود ساخته شده باشد. دوم این که، ممکن است ژنها برای حیات کافی نباشند، چون بدون عوامل خود سازمانده ای که در غیاب دستورالعمل های نمادین ژن ها، نظم و ثبات را به وجود می آورند، احتمال دارد شبکه های سوخت و سازی که این عوامل تنظیم می کنند و به رمزدر می آورند بی نظم باشند و نتوانند تکامل یابند. سوم این که ژنها مجبور نیستند که از دی.ان.ا ساخته شوند یا در واقع به پروتئین ها ترجمه شوند. در اصل، اطلاعات ضروری موجودات می تواند در بستر دیگری هم به رمز در آید و ساختمان حیات نیز از لگویی مولکولی غیر پروتئینی دیگری ساخته شود. به این ترتیب فرآیند منطقی حیات می تواند مستقل از سخت افزاری که در آن اجرا می شود، مورد توجه قرار گیرد. درک این نکته، توجه ما را هم به رابطه دقیق بین جنبه های ظاهری و مادی دستگاه های زنده و هم محدودیت هایی که فناوری های خاص شیمیایی به آنها تحمیل می کنند، جلب می کند. این

گفته همچنین به این معناست که اصولاً باید بتوان عصاره منطقی را از موجودات استخراج کرد و به آنها به عنوان یک کیت اطلاعاتی مستقل از محیط نگاه کرد. علاوه بر این می توان دقیقاً ساز و کاری را که فرایندهای حیات توسط آن در فضای احتمالات ریاضی مربوط به آن جاری می شوند، تعریف کرد. چهارم و بالاخره این که، تمام موجودات زنده و یا بالقوه زنده می توانند به عنوان موجوداتی دیده شوند که زندگی ریاضی بی انتهایی دارند که مستقل از هستی فیزیکی آنهاست. زندگی پرنده "دودو"^۱ ی ریاضی به معنای واقعی ادامه دارد، در حالی که بدیل مادی آن سالهاست که منقرض شده است.

درک این مسئله سخت است که فهم دائم التزاید ما از پایه ژنتیک حیات بیولوژیک تا چه حد آینده حیات در زمین و سرانجام در همه جاهای دیگر را تغییر خواهد داد. زمانی که دورنمای ژنتیکی را که توسط فرایندهای طبیعی تکامل کاوش شده رسم کنیم و بتوانیم ماهیت سازوکار مسنول ساخت و بهسازی موجودات زنده را درک کنیم، حیات وارد قلمروی نوینی از تاریخ خود خواهد شد. دیگر حیات در قلمروی تاریخی انحصاری و دمدمی مزاج تصادف و انتخاب طبیعی باقی نخواهد ماند. در عوض خواهیم توانست به همان روشی که در حال حاضر اتوموبیل، چراغ راهنمایی، هلی کوپتر و جاروبرقی می سازیم، موجودات زنده نوینی را طراحی کنیم و بسازیم.

اطلاعات اساسی موجودات زنده معاصر در ژنها به رمز در آمده است. در واقع به نظر می رسد که کانگورو چیزی جز یک کیت ژن کانگورو نیست، و هیپوپوتاموس^۲ مجموعه ای است از کیت ژنهای هیپوپوتاموس که درست مثل کیت هواپیماهای مدل سرهم شده است. وقتی که اجزاء درست ساخته و روی هم سوار شوند، مدلی متناظر با موجود زنده شکل می گیرد. از این رو ژنها پایگاه داده ای را بنا می کنند که همه جنبه های موجودات زنده و یا بیشتر این جنبه ها می توانند با استفاده از این پایگاه محاسبه شوند. با این وجود، آیا ممکن است که اطلاعات اولین موجودات زنده، بدون ژن آغاز شده باشد؟ آیا ساکنان بهشت به معنای واقعی کلمه فاقد ژن بوده اند؟

گر چه ژنهای امروزی از دی.ان.ا ساخته شده اند ولی ژنهای اولیه ممکن است از مواد ساختمانی متفاوتی ساخته شده باشند. نتیجتاً، نرم افزاری که ژنها می نویسند بسیار اساسی تر از سخت افزاری است که برنامه شان در آن اجرا می شود. برای مثال، ما ممکن است بخواهیم نیزه، دیگ غذا و سایر لوازم خود را از سنگ، آهن، برنز یا آلومینیوم بسازیم. هر ماده ای امکانات و محدودیت های خاص خود را دارد. اطلاعات موجودات زنده نیز می تواند به طور مشابه در موارد مختلف هر کدام با شاخصه های یکتای خود نمایش داده شوند. اصولاً، موجودات زنده می توانند به جای پروتئین، از بلوک، قوطی حلبی ودر واقع هر فناوری دیگری ساخته شوند. بنابراین به نظر می رسد که "منطق" حیات "اساسی" تر از تجلی خاص آن منطق است.

در هر حال فرماتهای طبیعت و تاریخ تخطی ناپذیر نیستند. فقط کسر کوچکی از گنجینه نامحدود احتمالات طبیعت توسط سازوکارهای جستجوی طبیعی کاوش و شناخته شده اند. ببر دندان خنجر^۳، کواگا^۴، پنگوئن و پلنگ و همه موجودات دیگری که در تاریخ کشف و شناخته شده اند فقط بخشی از موجودات ممکن را که می توانسته اند شناخته شوند، نشان می دهند، که هنوز هم ممکن است روزی خلق شوند. گر چه امروز همه حیات روی زمین توسط فرایندهای بی طرف تکامل، یعنی انتخاب طبیعی همراه با احتمالات تاریخی و نیز قوانین فیزیکی و شیمیایی ساخته شده است که زمینه ساز فرایندهای خود مونتاژ^۵ و خود سازمانده^۶ هستند، ولی سرانجام نوع انسان در موقعیتی قرار خواهد گرفت که بست های گذشته را شل کند و تا حدی از گشت و گذارهای شانس و اجبارهای تاریخ رهایی پیدا کند. در آینده، حیات به صورت غیر تاریخی، از اصول اولیه طراحی خواهد شد. لازم نخواهد بود که این مسئولیت به دی.ان.ا و آر.ان.ی تاریخی و فناوری آشنای پروتئین محدود شود. همان طور که لازم نیست طراحی موتورهای خود را به شکلی خاص یا مواد ساختمانی خاصی محدود کنیم و حتی لازم نیست که

^۱ Dodo نوعی پرندۀ منقرض شده

^۲ Hippopotamus

^۳ Sabre-toothed

^۴ Quagga

^۵ Self assembly

^۶ Self organizational

اطلاعات ارگانیسم یا اندام واره ای را که مصنوعاً طراحی می شود، به کمک ژن به رمز در آورد، چون به نظر نمی رسد فرآیندهای اصلی حیات انحصاراً به دی.ان.ا یا اسپین ژن وابسته باشند.

جهان نسبت به حضور هر چیز خاص یا وقوع هر حادثه ای بی تفاوت است. این صفحه ریاضی که اکنون ما روی آن ایستاده ایم نه ثابت است و نه غیرقابل اجتناب. درست همان طور که ما به این نتیجه رسیدیم که در ناحیه ای از فضای ریاضی که هم اکنون در اشغال ماست اقامت کنیم، به ناگزیر روزی هم در همان ذوب خواهیم شد. نواحی آشنایی مانند فضای زنجیره پروتئین ها و فضای دی.ان.ا که به نظر می رسد سنگ بنای اولیه تعریف و وجود ما را شکل می دهد، ممکن است از نظر تاریخی نامربوط تلقی شوند؛ مانند شبیح شهرهایی در ناحیه مرزی فراموش شده. نتیجتاً طبیعت چیزی بیش از آن چه که ما به آن انس داریم نیست. اگر بخواهیم ارزشی برای کلماتی مانند "نوع انسان" قائل شویم، این کار اختیاری است. شک داریم که چه تعداد ژن از داخل کیت ژنهای انسان را می توان برداشت یا جدا کرد تا بتوان برچسب هومو ساپینس را از روی جعبه کیت برداشت. به سختی می توان اندازه و محتوای دریای ریاضی همه موجودات زنده ممکن را فهمید، گرچه، قانع کردن خود به این که در این باغ وحش اطلاعات نامتناهی کلیه موجودات ممکن، ما از اهمیت و اعتبار خاصی برخورداریم، کاری سخت تر است.

این کتاب برای کسانی نوشته شده است که به تاریخ، ساختار و آینده حیات علاقه دارند. من سعی کرده ام که امور مسلم را به حداقل برسانم و در عوض بر ساختن چهارچوبی مفهومی تمرکز کنم که از درون آن ماهیت ژنها و حیات بدون ژن فهمیده شود. گرچه نام کتاب "حیات بدون ژن" است ولی بیشتر سوالي است برای فهم این مسئله که ژنها واقعا چه هستند، همچنین سفری است برای شناسایی اجداد مفروض فاقد ژن حیات معاصر. این کتاب هیچ آگاهی یا شناخت قبلی در باره موضوع را لازم نمی داند و هم برای خواننده عادی و هم برای متخصص نوشته شده است. ممکن است که من با کوششی که برای ارضاء هر دو گروه انجام داده ام، در انتها هیچکدام را راضی نکرده باشم. اگر چنین باشد صمیمانه از شما عذرخواهی می کنم. در غیراین صورت امیدوارم که شما این کاوش در حیات را جالب، سرگرم کننده و آموزنده بیابید.

گرچه غالب مطالب طرح شده مسلم است ولی ممکن است بعضی از اندیشه ها از طرف عموم درست به نظر نیایند. در حقیقت بسیاری از کسانی که در زمینه منشأ حیات کار می کنند موافق نیستند که حیات، حتی از نظر تئوری، بتواند بدون ژن آغاز شده باشد. نتیجتاً نباید فکر کرد که این کتاب تحلیل اصلی بیولوژی مدرن را نشان می دهد. محدودیت فضا، صرفه جویی قابل توجهی را با توجه به محتوای کتاب و جزئیات مواردی که بررسی شده است، می طلبید. هدف ما، بیش از هر چیز، این بوده است که خواننده را با موضوع به صورت اجمالی آشنا کنیم. سرعت تولید اطلاعات در این رشته آنقدر زیاد است که می توان عاقلانه از خود سوال کرد که آیا مجازیم که در این موضوع کتابی با فرمی غیر از شکل الکترونیک بنویسیم که بتواند هفته ای یک بار و شاید روزی یک بار روز آمد شود؟ به هر حال من احساس می کنم که بله، مجازیم، و نیز فکر می کنم که اصول کلی می توانند باعث بقاء بیشتر تغییراتی شوند که لازمه واقعیات جدیدند.

طبیعت ناقص شواهد مربوط به ترکیب و معماری ویژه اشکال اولیه حیات باعث شد که من، به جای تکیه بر فناوری های خاص، بر اصولی کلی ای تمرکز کنم که به نظر می رسد تاریخ اولیه حیات را پی ریزی کرده اند. به جای پیشنهاد راه حل های قطعی، قصد داشتم ام شما را با حال و هوای عمومی موضوع آشنا کنم. به جای بررسی کلیه گذارهای اصلی که تکامل حیات چند سلولی نوین را شرح می دهند، روی منشأ، ساختار و آینده حیات تمرکز کرده ام. افزون بر این لازم می نمود که مطالب، حتی در این رشته های کاملاً محدود و مشخص، بسیار گزینشی باشد. از این رو، گرچه این احتمال را بررسی کرده ام که ممکن است حیات بدون ژن آغاز شده باشد، ولی نظریه های مرتبط با آن را نکاویده ام. این موارد شامل نظریه هایی می شود که بر پایه مجموعه ملکولهای آر.ان.ا ای استوار است که به صورت فوق چرخه ای^۷ سازمان یافته اند. نحوه تعامل من با این موضوع بدین منوال، باید غیرعادی باشد. سرانجام، این ایده که احتمالاً ژنها برای ساده ترین نمودهای حیات ضروری نبوده

اند، نباید به عنوان واقعیت تجربی اثبات شده یا حتی به عنوان یک فرضیه محکم مورد توجه قرار گیرد. در عوض، کلیات مطرح شده فرضیه ای است که در عین حال منسجم و قابل آزمایش است.

من صلاح دیدم برای هر نظری مرجع جداگانه ندهم ولی مرجع مهم ترین مفاهیم را در مکان های مناسب در متن معرفی کرده ام و فهرست کتاب قابل فهمی را نیز ارائه کرده ام. اگر بیش از دو نویسنده مربوط به مطالعه خاصی هستند من اولین و آخرین آنها را معرفی کرده ام. هسته اصلی ایده این کتاب از منابع مختلفی برداشته شده است ولی عمدتاً بر روی مطالعات افراد زیر تکیه دارد.

R.J.Bagley, D.Bray , S.Brenner , A.G.Cairns-Smith , C.Calvin , J.Chmielewski , J.E.Cohen , S.Conway Morris , K.Craik , B.Derrida , F.Dyson , M.Eigen , J.D.Farmer , R.Fledberg , W.Fontana , R.Ghadiri , H.Haken , R.W.Hamming , J.H.Holland , S.Kauffman , J.J.Kay , C.Kundsen , C.Langton , D.H.Lee , J.Maynard Smith , W.S.McCulloch , H.Morowitz , L.E.Orgel , G.Oster , N.H.Packard , A.Perelson , W.Pitts , H.Plotkin , I.Prigogine , S.Rasmussen , I.Rechenberg , R.Rosen , O.Rössler , E.D.Schneider , P.Schuster , E.Szathmary , J.W.Szostak , D.Thompson , G.Wächtershäuser , G.Weisbuch , J.Wicken , S.Wright , S.Yao

آدریان وولفسون (AW)

کالج داروین، کمبریج جون ۱۹۹۹

قدردانی

من مدیون افراد زیر هستم و خواهم بود :

سزار میلستاین، باری کورن، هرمان والدمن، نیکلاس مکینتاش، میریام روچیلد، آنتونی دیکینسون، چاک یانگ یو، پیتر سالمون، سو هنلی، بنجامین چین، کیت پیترز، دیوید اولیویرا، شیلانکس، راشل و ژوزف کارلاف، جرالده، لین و آلکساندر وولفسون، کارن، دیوید ودانیل وولفسون، جیمز هالت، جان گریملی-وانس، کلر سفتون، جین واردل، ژوستین استبینگ، هنری پلاتکین، جان لدینگهام، کریس بولستروود، گنوفری لوید، دیوید برنز، آن-لویی فیشر، نانومی روزنبام، مارتین راف و آویزون میچیسون.

من به خصوص به محبت کارگزارم فلیسیتی برایان برای تعهد او و سرپرستی پروژه با اشتیاق و مهارت زیاد، همچنین دستیارش میشل توفام برای کمک او و تشویق هایش، به ویراستار رونوشت هایم ربکا پورتنوس برای مساعدت کارشناسانه اش، به دستیار ویراستارم، جورجینا لیکاک به خاطر کمک ها، اشتیاق و تشویق های او و به کارن اسپیلارد برای کمک به تنظیم فهرست کتب، مدیون هستم. ویراستار من فیلیپ گوین جونز شهامت زیادی نشان داد در تعهد به نویسنده ناشناسی که خلاصه نسبتاً ناقصی برای کتابی به وجود آورده بود که در آن هنگام به طور آزمایشی "ماوراء بیولوژی" نام گرفته بود. مایلم از او هم برای اعتماد به توانایی من در اتمام این کتاب و هم برای تعهد زیاد، صبر و اشتیاقی که از آغاز برای این پروژه نشان داد تشکر کنم.

همچنین می خواهم از ولکام تراست، شورای تحقیقات پزشکی، دانشکده پیش بالینی پزشکی در کینگز کالج لندن، گروه آموزشی روانشناسی و جانورشناسی کالج دانشگاه لندن، کالج گونویل و کایوس کمبریج، بخش جانورشناسی، و بخش زیرین آن "رفتار حیوانات" و بخش روانشناسی تجربی دانشگاه کمبریج، مدرسه بالینی پزشکی در بیمارستان جان رادکلیف در آکسفورد، کالج بالیول آکسفورد، کالج داروین کمبریج و لابراتوار ام.آر.سی بیولوژی مولکولی در کمبریج، برای کمک و حمایت شان تشکر کنم. ولکام تراست و شورای تحقیقات پزشکی برای من پشتیبانی مالی سخاوتمندانه ای را در طی سالها فراهم کردند، که من بسیار قدردان ایشان هستم.

علاوه بر این من مخصوصاً برای خواندن پیش نویس کامل کتاب و تمام تذکرات مفید، عقاید و پیشنهادات و مباحثه ها، مدیون سزار میلستاین، بری کورن، جرالده وولفسون، جان مینار اسمیت، شیلانکس، کلر سفتون و میریام روچیلد، هستم. علاوه بر این از کیوشی ناگایی برای خواندن فصل ۳، از دیوید گرلشید برای خواندن فصل ۴، از مایکل راجرز برای خواندن فصل یک تا ده و از ولف رایک، آلکساندر وولفسون و میریام آلتامیرانو برای خواندن فصل ۱۳ ممنونم. نیازی نیست که بگویم در قبال اشتباهات باقی مانده من کاملاً مسئولم. به خصوص مایلم از شیلانکس و کلر سفتون برای کمک بزرگ، حمایت و الهام هایشان در خلال آخرین ماههای نوشتن تشکر کنم.

ماجرای یک فضای اسباب بازی

اگر گذارتان به یک مغازه اسباب بازی فروشی مجهز بیفتد و به قسمت مدل ها سرزنید، احتمالاً ویتترین کیت هایی که ردیف کنار هم در قفسه های سربه فلک کشیده چیده شده اند، توجهتان را جلب می کند. مطمئن نیستم که کدام یک از آنها در حال حاضر محبوب تر است. شاید کیت دایناسورها، کیت بشقاب پرند یا کیت هایی که بعد از ساخته شدن، موجودات بین کهکشانی عجیب را می سازند. وقتی که من بچه مدرسه ای بودم، تقریباً همه دوستان درست و حسابیم مجموعه ای از هواپیماهای مدل پلاستیکی داشتند. آنهایی که بیشتر مشتاق بودند مدلهایشان را با رنگ روغن تند و غلیظی که در قوطی های کوچک عرضه می شد رنگ می کردند. بقیه بچه ها خود را با چسباندن عکس برگردان های رنگی روی بالها، تکه های دم و یا بدنه هواپیما راضی می کردند.

تنها استثناء بر این قاعده، دوست من کنراد بود که مجموعه متوسطی از هواپیماهای مدل داشت که همه یک بمب انداز لانکاستر تنها داشتند. او همچنین مشتاق جمع آوری مدل پلاستیکی کله روسای سرخپوستی بود که در داخل نوعی خاص از غلات صبحانه یافت می شد. متأسفانه مدل "گاو نشسته" قبل از این که او موفق به کامل کردن مجموعه چشمگیر ولی ناقص خود شود، تمام شده بود. اگر او این را می دانست تا اندازه ای اشتباهی حریص و سیری ناپذیرش برای غلات صبحانه کم می شد.

اسباب بازی های مورد علاقه شخصی من زیردریایی اسپیت فایر ام کی ۱ ایکس و هاکر هوریکان مسر اشمیت ۱۵۹ و یک مدل مقیاس کوچک کشتی جنگی لرد آدمیرال نلسون در پیروزی HMS بود. این مدل و خیلی از مدلهای دیگر در میان قفسه های اسباب بازی فروشی محله ما که نامش "تویز تویز تویز" بود یافت می شد، جایی که ما می توانستیم ساعتها به تصاویر جعبه ها خیره بمانیم. و وقتی به خانه می آمدم محوطه ای می ساختم که در آن سرباز، هواپیما، تانک، کشتی جنگی، کشتی نیروپیاده کن و وسائل نقلیه پشتیبانی وجود داشت. گاهی هم هواپیمایی را آتش می زدیم و از پنجره اتاق خواب به بیرون پرتاب می کردیم.

گر چه بعضی از مغازه های اسباب بازی مدلهای خود را بدون نظم مشخصی می چینند ولی عمدتاً مغازه داران تمایل دارند که ویتترین را طوری سازمان بدهند که کیت های یک نوع خاص، به عنوان مثال، هواپیما، هلی کوپتر، تانک و یا کشتی کنار هم قرار بگیرند. می شود آنها را در یک سطح ثانوی هم مرتب کرد. مثلاً هواپیماهای جنگ جهانی دوم را از هواپیمای معاصر جدا کرد. همچنین می توان کیت هارا بر حسب اندازه، قیمت یا کشور سازنده مرتب کرد.

سوار کردن کیت های مدل کماکان مثل سابق ساده اند. کیت ها معمولاً بر حسب علاقه شخصی، توصیه دوستان، تبلیغ تلویزیونی و یا برانگیختن قوه تخیل بچه ها با تصاویر روی جعبه، انتخاب می شوند. با خریدن کیت ولوله چسب تنها کمی وقت، حوصله و یک دفتر چه دستورالعمل لازم است. بعد از آن فقط باید قطعات پلاستیکی را از نایلن در آورد و با استفاده از دستورالعمل، کمی چسب و یک گیره لباس به شکل صحیح کنار هم قرار داد.

در هر صورت اسباب بازی های امروزی کاملاً با اعقابشان متفاوتند و مغازه های کوچک قدیمی کنار خیابانها دارند به فروشگاههای بزرگ اسباب بازی تبدیل می شوند. معمولاً راحت تر است که به جای گشتن در تعدادی اسباب بازی فروشی دور از هم برای گیر آوردن مدل خاصی، به یک هایپرمارکت محلی رفت که در آن انواع قابل توجهی اسباب بازی زیر یک سقف گرد

آمده اند. اجناس این اسباب بازی فروشی ها آنقدر زیاد است که لزوماً باید به اندازه کافی بزرگ باشند که بتوانند همه را در خود جا بدهند. گرچه سابقاً می شد از راهنمایی دوستانه دستیار فروشنده برای خرید استفاده کرد ولی این روزها طبیعی است که در سوپرمارکت فقط به همراه چرخ دستی تان حرکت کنید.

بعضی مواقع میدان انتخاب اسباب بازی و کیت های مدل آن قدر گسترده می شود که فروشگاههای بزرگ نیاز به کمال پیدا می کنند. برای این که بفهمیم منظور از کمال چیست به آنتی تز آن نظر می اندازیم. یعنی سعی می کنیم بفهمیم که چه چیزی ناتمام یا ناقص است. این کار سختی نیست، به خصوص اگر به احساس آزاردهنده ای فکر کنیم که بعد از ورود به مغازه و دریافتن این مطلب که جنس مورد نظر ما تمام شده و یا این که از اول در آن مغازه موجود نبوده به ما دست می دهد. مغازه های کوچک فضای محدودی در قفسه های خود دارند و بنابراین تعداد محدودی از اجناسی را که در کاتالوگ عمده فروشی موجود است می توانند بخرند و انبار کنند. این نوع مغازه ها می توانند تنوع اجناسشان را از طریق تغییر جنس در فصلهای مختلف تامین کند. مثلاً یک میوه فروشی می تواند در تابستانها توت فرنگی و گیلاس بفروشد و در زمستان انبه و میوه گل ساعتی را جایگزین آن کند. موجودی انبار این مغازه در هر لحظه کسر کوچکی از کل میوه ها و سبزیجاتی را که اصولاً قابل دسترسی است تشکیل می دهد. حتی بزرگترین عمده فروشی ها هم بعید است اجناسی از سرتاسر دنیا مثلاً گینه جدید پاپوا یا ماداگاسکار داشته باشند. انبار فرضی کلیه میوه های شناخته شده، از انبار هر مغازه مشخص یا عمده فروشی بزرگتر خواهد بود. در مغازه های کوچک حقیقتاً جا برای ذخیره همه فرآورده ها موجود نیست و تقاضای محدودی که برای فرآورده های خاص وجود دارد، مانع حضور آنها در قفسه ها می شود. در بزرگترین عمده فروشی ها، گرچه علی الاصول ذخیره تقریباً کاملی از اجناس در دسترس است ولی در واقعیت هم فشار بازار و هم سایر فاکتور های اقتصادی مانع تحقق این مسئله می شود.

اجازه دهید به هایپرمارکت خود باز گردیم و کلمه کمال را به تفصیل بررسی کنیم. یک هایپرمارکت را از نظر های مختلف می توان کامل نامید. مثلاً اگر به دیدار دومین هایپرمارکت خیالی در انگلیس که ما آن را "سرزمین اسباب بازی"^۸ می نامیم برویم ممکن است ادعا داشته باشد که همه اسباب بازی ها و کیت های مدل را که در حال حاضر در این کشور تولید می شود، انبار کرده است. این فروشگاه به یک معنی کامل است یعنی این که می توان وارد آن شد و هر نوع اسباب بازی یا کیت مدلی را که اکنون در کشور انگلیس تولید می شود یافت و آن را انتخاب کرد و همراه آن از فروشگاه بیرون آمد. فقط ممکن است که کلکسیونری که متقاضی کیت های مدل ساخت روسیه است، یا بچه ای که دنبال اتومبیل مسابقه سوندی می گردد از بازدید خود نومید شوند. بنابراین "سرزمین اسباب بازی" گرچه در یک سطح کامل است ولی در سطح تقاضای بیشتر ناقص است. شاید والدین این بچه ها ترجیح بدهند که به فروشگاه "اسباب بازی خوب است"^۹ بروند که بزرگترین فروشگاه قابل تصور در کشور است و همه اسباب بازی هایی که در حال حاضر در دنیا قابل دسترسی است در این فروشگاه وجود دارد. تجارت این فروشگاه باز هم تا اندازه ای جامع و کامل است به طوری که کلکسیونر های متقاضی کیت های مدل روسی و سوندی هم آن را با سبدي پر ترک خواهند کرد.

اینک سری به بزرگترین فروشگاه دنیا می زنیم. این فروشگاه تخیلی که نام آن را "دنیای اسباب بازی"^{۱۰} خواهیم گذاشت واقعا عظیم است. این فروشگاه بسیار محبوب است و به دلیل مشتریان مشتاق و علاقمندش فروش منحصر به فردی دارد. چون این فروشگاه نه تنها کلیه اسباب بازی های فعلی تمام دنیا بلکه تمام اسباب بازی هایی که تا به حال تولید شده است را دارد. اگر گذرم به این فروشگاه می افتاد از میان ردیف ها می گذشتم و یک مدل ماساچوست ۱۰۹ نو را که عین مدل دوران کودکی ام بود برمی داشتم. همچنین می توانستم اسباب بازی هایی را که رومیان، یونانیان، وایکینگ ها و ویکتوریایی ها ساخته بودند پیدا کنم. در این فروشگاه ناحیه ای که شامل فرفره های چرخان باشد باید به طور حیرت آوری بزرگ می بود.

^۸ Toy land
^۹ Toys are great
^{۱۰} Toy World

بنابراین دنیای اسباب بازی آنقدر کامل است که فروشگاههای دیگر نمی توانند مانند آن باشند. به این دلیل که تاریخ به جامعیت آن غنا بخشیده است. جامعیت "دنیای اسباب بازی" و هر اسباب بازی فروشی دیگری به تعریف ما از اسباب بازی وابسته است. شخصی ممکن است اسباب بازی های آنتیک را از رده اسباب بازی خارج کند چون آنها به روش انبوه تولید نشده اند. همچنین به نظر می رسد که بعضی چیزها ممکن است موقتاً در اثر رفتار بعضی ها ، به اسباب بازی تبدیل شوند. بنابراین جامعیت یک فروشگاه اسباب بازی با تعریفی که از اسباب بازی به دست می دهیم ، تعیین می شود.

به زودی کاوش خود را در باب انواع مختلف مغازه های اسباب بازی تکمیل خواهم کرد ولی قبل از این که از دل مشغولی فعلی خود با فروشگاهها و کیت های مدل دست بکشم صبر بیشتری را از شما می طلبم. چون اکنون می خواهم نوعی فروشگاه غائی را توصیف کنم که نمونه اقتصاد طلایی است ، و در آرزوی دنیایی بهتر آن را کامل حقیقی خواهم نامید. فروشگاه اسباب بازی حقیقتاً کاملی که مورد نظر من است نامش *فضای اسباب بازی* ^{۱۱} است.

فضای اسباب بازی فراتر از تمام فروشگاههای دیگر قرار دارد و هیچ فروشگاه دیگری نمی تواند روی دست آن بلند شود. به این دلیل که این فروشگاه بُعد عظیم و مهم دیگری را به مفهوم جامعیت افزوده است. *فضای اسباب بازی* نه تنها تمام اسباب بازی های گذشته و حال را انبار کرده است، بلکه تمام اسباب بازی هایی را که ممکن است زمانی در آینده نیز ساخته شوند، در خود جای داده است. یعنی مجموعه ای از کلیه اسباب بازی های ممکن است. در هر صورت این نوع فروشگاه با وجود جذابیت زیاد بعید است که روزی ساخته شود چون خیلی خیلی بزرگتر از فروشگاههای "سرزمین اسباب بازی" ، "اسباب بازی خوب است" و "دنیای اسباب بازی" است. *فضای اسباب بازی* آنقدر بزرگ است که قابل ساختن نیست. اگر می توانست ساخته شود، تمام کهکشان را در بر می گرفت و شاید به داخل فضا نیز کشیده می شد. *فضای اسباب بازی* در حقیقت هایپرهایپر مارکتی است از تمام هایپرمارکت های ممکن اسباب بازی و ویژگی مهمی دارد که آن را از سایر فروشگاهها متمایز میکند. ویژگی آن این است که اصولاً هر کس در هر زمان، گذشته، حال یا آینده می تواند با چرخ خرید داخل آن شود و با اسباب بازی یا کیت مورد علاقه اش آن را ترک کند. اما این که آیا بتوان در عمل چنین کاری کرد موضوع دیگری است .

اگر در آینده بچه ها تصادفاً به اندازه یک کک شوند، نباید برای یافتن مجموعه ای بی پایان از اسباب بازی هایی که اندازه شان یک صدم کک است مشکلی پیدا کنند. همین طور هم اگر تصادفاً به غول تبدیل شوند باز هم نباید مشکلی برای یافتن رده کاملی از انواع اسباب بازی هایی که برای بازی غولها قابل تصورات است ، در عرصه پهناور " فضای اسباب بازی " پیدا کنند، چون اسباب بازی و کیت های مورد نظر خود را در آنجا خواهند یافت. توصیف *فضای اسباب بازی* چنین است : اسباب بازی برای همه کس و همه چیز در هر زمان و در هر مکان.

به راحتی می توان فرض کرد که انواع اسباب بازی در "فضای اسباب بازی" توسط بایگان های آن به طور منظم یکی روی دیگری و در ردیفهای مختلف ، بالا و پایین و در همه جهات منظم شده اند. صد ها هزار از این کارمندان روز و شب مانند دسته ای از مورچه های بیش فعال، مشغول کار مداوم جعبه گذاری، فهرست برداری، ردیف کردن، مرتب کردن، بسته بندی کردن، برچسب زدن و جابه جایی هستند. هر اسباب بازی یا کیت برحسب شکل، اندازه، رنگ و کشور سازنده به خوبی مرتب شده است. و علیرغم کار سخت آنها، هنوز نواحی عظیمی از کوهها، دره ها و دشتهای وسیعی از پشته های اسباب بازی هایی که نامرتب و درهم هستند، وجود دارد. در هر گوشه ای و هر جهتی در دریایی چند رنگ که به نظر بی انتها می آید، اسباب بازی ها وجود دارند، و تا افق و ماورای آن گسترده شده اند. در بسیاری از نواحی آنها روی هم تا آسمان پشته شده اند و کتابدارها مانند باستانشناسانی که مشغول حفاری در مکانی باستانی هستند باید لایه به لایه آنها را الک کنند. این مکان ظاهراً بی انتها و عظیم اسباب بازی های نامنظم، هنوز مرتب نشده و آش شله قلمکاری است از اسباب بازی هایی که بسیاری از آنها کاملاً متفاوت هستند.

کسانی که از ترس از ارتفاع دارند بهتر است که از فضای اسباب بازی خرید نکنند زیرا گیر افتادن در یکی از آسانسورهایی که صدها هزار مایل ارتفاع دارند تجربه آزار دهنده ای خواهد بود. همچنین بهتر است که پدر و مادرها بچه های خود را در این محل گم نکنند. برای این که حتی اگر یک بار هم در دریای اسباب بازی ها گم شوند پیدا کردنشان مشکل است. همچنین باید مراقب اسباب بازی هایی که می افتند باشید. اسب های چوبی گهواره ای که قدشان از برج ایفل بلندتر است. حلقه پلاستیکی که مثل فرقه می چرخد، مجموعه های جادویی که در آن اشیاء غیب می شوند و هرگز دوباره پیدایشان نمی شود. علی ورجه^{۱۲} هایی با فنر های مارپیچ فولادی به اندازه کشور فرانسه. ضمناً مراقب این اطلاعیه ها نیز باشید: "لطفاً داخل این اسباب بازی نشوید"، "این اسباب بازی شما را بامنجنیق به آسمان پرتاب می کند"، "این اسباب بازی ممکن است اسباب بازی نباشد"، "حرکات عجیب و غریب، غیر قابل پیش بینی "و یا "این قسمت فروشگاه خودش یک اسباب بازی است".

خدا بیامرزد کسی را که فکرمی کند صاحبان فضای اسباب بازی ثروتمند تر از صاحبان بقیه اسباب بازی فروشی ها هستند. آنها حتی صاحب یک اسباب بازی فروشی هستند که تمام اسباب بازی فروشی های دیگر در آن قرار دارد. علاوه بر این، به جای استخدام صدها هزار طراح برای اختراع اسباب بازی، از یک دستگاه سازنده تصادفی اسباب بازی استفاده می کنند که می تواند تمام محتویات فضای اسباب بازی را بدون دخالت حتی یک طراح بسازد. کارشناسان و سهامداران مستعد بهتر است قبل از سرمایه گذاری در این فروشگاه کمی وقت بگذارند و بروشور آن را مطالعه کنند. زیرا فضای اسباب بازی همان طور که چیز های خوب زیادی دارد، مشکلاتی هم دارد. مشکل آن این است که خرید از آن مرگبار است.

نکته نسبتاً مهم ولی ناراحت کننده از اینجا ناشی می شود که فضای اسباب بازی آنقدر بزرگ است و آنقدر زیاد اسباب بازی دارد که بازدید قسمت کوچکی از آن فرصتی بیش از عمر انسان را طلب می کند. گشت و گذار در فضای اسباب بازی معنای جدیدی برای این اصطلاح که "آنقدر خرید کن تا بمیری" را تداعی می کند. حتی اگر می توانستید صدها سال بیشتر زندگی کنید باز هم معلوم نبود که بتوانید بعد از ورود به این فضا، زنده از آن خارج شوید. چون فضای اسباب بازی چیزی جز اسباب بازی ندارد لازم است که تدارکات زیادی مانند آب، غذا، رختخواب و سایر چیزهای لازم برای گردش را همراه خود ببرید. یک خرید آخر هفته ساده ممکن است شبیه سفر به قطب شمال شود. اگر معجزه ای رخ دهد و قبل از این که خیلی پیر شوید در خروج را مشاهده کنید بعد است که آنجا را با چیزی که در جستجویش بودید ترک کنید. و اگر شانس بیاورید و این اتفاق بیافتد ممکن است وقتی بالاخره به منزل برسید بفهمید که یکی از قطعات حیاتی کیت شما شکلش غلط است یا این که کم است یا این که مثلاً مدل "پیروزی HMS" شما شباهت کمی به کشتی آشنای لرد آدمیرال تلسون دارد. ممکن است متوجه شوید که دیگر به اسباب بازی علاقه ندارید و شاید ترجیح بدهید که سری به فضای "مرکز گیاهشناسی"، "فضای بینگو"، "فضای گلف" یا "فضای بولینگ" بزنید. این اوضاع نه به سود فروشنده است و نه به سود سهامدارانی که ممکن است عاقبت نتایج اقتصادی خالی بودن دخل و هزینه های مربوط به ساخت مرزهای بی پایان فضای اسباب بازی و نیز دعوی حقوقی مداوم خویشان همه مشتریان وفات یافته را که بر علیه فضای اسباب بازی جریان دارد احساس کنند. بعد از همه این حرفها شاید بهتر باشد به فروشگاههای قدیمی خودمان بچسبیم.

توصیف فروشگاههای اسباب بازی و مدل های کیت با این طول و تفصیل به این خاطر نیست که کشش خاصی به آنها دارم بلکه به خاطر این است که می خواهم کیت های مدل اسباب بازی را باتوجه دیگری از کیت مقایسه کنم. این نوع کیت بسیار پیچیده تر از کیت اسباب بازی است چون قادر است چیزهای زنده تولید کند. من این نوع کیت را مدل کیت ژن یا ساده تر به شکلی که سیدنی برنر^{۱۳} به کار برده است فقط "کیت ژن" خواهم نامید. اکنون مقایسه دقیق بین کیت مدل اسباب بازی و کیت ژن خواهم کرد. به این ترتیب می توانیم کیت ژن را مثل جعبه مقوایی که پراز ژن است تصور کنیم. جلو و کنار جعبه

^{۱۲} Jack-in-the-box جعبه ای که چون در آن را می گشایند آدمکی از آن خارج می شود.

^{۱۳} Sydney Brenner

تصاویر رنگ آمیزی شده و برآقی از موجوداتی وجود دارد که اگر روش ساخت بیولوژیکی آنها درون جعبه باشد، می توانیم آنها را بسازیم. همین طور می توانیم آنها را کیت دی.ان.ا (اسید دزوکسی ریبو نوکلئیک) بنامیم، به این دلیل که دستورات رمزدار ژنتیک لازم برای ساخت تمام موجودات زنده، به جز بعضی ویروس ها، به زبان شیمیایی دی.ان.ا نوشته شده اند. افزون بر این، فقط ژنها برای سرهم کردن موجودات زنده لازم نیستند، بلکه همچنین بعضی از بیت های دی.ان.ا که بین آنها قرار می گیرند نیز لازمند.

مانند کیت مدل اسباب بازی که هم شامل کتابچه راهنمای دستورالعمل ها و هم قطعات خود کیت است، می توان کیت ژنی را در نظر گرفت که، هم راهنمای دستورالعمل دی.ان.ا و هم مجموعه ای از مصالح اولیه شیمیایی (قطعات) را دارد. این قطعات را می توان بادنبال کردن دقیق دستورات موجود در کتابچه راهنمای دی.ان.ا بهم چسباند. اگر عملیات سرهم کردن (سوارکردن) به درستی صورت گیرد باید موجودی به دست آید که مشخصاتش در دفترچه راهنما آمده است. ولی عملاً همه چیز به این سادگی نیست. با این حال فعلاً فرض می کنیم که اطلاعات درون کیت ژن برای ساختن موجود زنده کافی است.

وقتی کیت ژن با استفاده از دستورات درون جعبه سرهم (سوار) می شود باید یک موجود زنده به وجود آورد. اما، برخلاف دفترچه راهنمای هواپیما که چنانچه مو به مو انجام شود نتیجه اش چیزی عین شکل روی جعبه می شود، ماهیت محصولی که از اجرای دستورالعمل داخل دی.ان.ا به دست می آید کمتر قطعی و یقینی است. منظور این نیست که اهمیت تغییر پذیری در ساخت صدهزار کیت ظاهراً مشابه اسپیت فایر^{۱۴} را دست کم بگیریم. خطاهای ماشینی به ناچار موجب تغییرات کوچک در قطعات می شود و همچنین خطاهای چاپی در دفترچه راهنما نیز ممکن است باعث ساخت هواپیمایی بدون دم یا هواپیمایی با یک بال شود. اما، این اتفاقات نادر هستند و معمولاً مدل های ناقص توسط گروه مسنول کنترل کیفیت مشخص می شوند. ساختن کیت مدل، وقتی که یک دفترچه راهنما، یک جفت دست سالم و مجموعه کاملی از قطعات داریم و محیط نیز مناسب است، کمابیش قطعی و حتمی است.

در مقابل، عدم قطعیت نسبی در هنگام ساخت بیولوژیک موجود زنده با استفاده از اطلاعات داخل دفترچه راهنمای ژن، پیچیدگی روند ساخت موجودات ژنی یا "اسباب بازی ژنی" را منعکس می کند. استفاده از واژه اسباب بازی به جای ارگانیسم (عضو زنده) مخصوصاً برای انعکاس این واقعیت است، چون اطلاعات لازم برای ساخت یک عضو زنده منحصرأ داخل ژن های آن نیست. افزون بر این، اطلاعات لازم برای کارکرد صحیح یک عضو ممکن است منحصرأ داخل برنامه های ژنتیک آن نباشد. برای مثال، دستگاه لازم برای خواندن و اجرای دستورالعمل های دفترچه راهنمای دی.ان.ا در اعضای تولید جنسی، هم در تخمک و هم در سلولهای فولیکولی مادر که جنین درحال رشد را احاطه کرده اند ذخیره می شود. این دستگاهها دستورالعمل های حساسی را تولید می کنند که داخل دفترچه راهنمای دی.ان.ا ی عضو رشد یابنده نیست. نتیجتاً اطلاعات درون تخمک و سلولهای فولیکولی به اندازه اطلاعات داخل کیت ژن مهم است.

معادل فرض کردن اعضای زنده و اسباب بازی ها بر این مسئله تاکید می کند که موجودات زنده هم مانند کیت ها مکانیزمی با سازمان معین هستند. به این ترتیب موجودات زنده در اصل می توانند با اجرای فرآیند مکانیکی مناسبی، طراحی و ساخته شوند. تفاوت میان اسباب بازی های ژنی و موجودات زنده سرهم شده در بخش بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در هر صورت من از فرصت استفاده می کنم و تاکید می کنم که کیت ژن عبارت است از شرح مشخصات برای یک اسباب بازی ژنی و نه شرح کامل موجود زنده. تشریح کامل موجود زنده ابعادی از اطلاعات را در بر می گیرد که از مشخصات اصلی به رمز در آمده در ژنها و رشته های تنظیم کننده دی.ان.ا فراتر می رود و علاوه بر اطلاعات درون تخمک و سلولهای فولیکولی شامل سایر اشکال اطلاعات تکاملی و اطلاعاتی که توسط فرآیندهای آموزش و فرهنگ به دست می آیند نیز می شود.

ولی کیت ژن دقیقاً چیست؟ و خود ژن چیست؟ عجلتاً ما پارچه را به اندازه نیازمان می بریم و مدل بسیار ساده ای را برای ژن می پذیریم. اما، در مراحل بعدی این مدل مفید ولی ناقص با مدلی که هم عمومی و هم پیچیده است جایگزین خواهد

شد. بنابراین من فعلاً می‌خواهم ژن را با یک رشته از تسبیح که دانه هایش ۴ رنگ دارند مقایسه کنم. فرض کنیم که این دانه ها یک به یک با سیم بلندی به یکدیگر نخ شده اند تا گردنبندی تشکیل بدهند. فرآیند نخ کردن دانه هایی با رنگهای متفاوت، مشابه اطلاعاتی است که ژن به رمز در می آورد. مقدار اطلاعات ذخیره شده در یک ژن بستگی به طول گردنبند دارد. اما هنگام استفاده از واژه اطلاعات لازم است سوال کنیم که اطلاعات برای چه چیزی است یا برای چه کسی. بعداً متوجه اهمیت این مسئله خواهیم شد. در هر حال فعلاً لازم است خاطرنشان کنیم که فقط بعضی از اطلاعات ذخیره شده در گردنبند دی.ان.ا اطلاعات ژنها را به رمز در می آورد. مناطقی دیگر، به منظم کردن الگوی روشن و خاموش شدن ژن ها یا به جا به جایی آنها در فضا هنگام کپی کردن اطلاعات، کمک می کنند. همچنین بقیه به بسته بندی زیر اجزای ژنها کمک می کنند یا کمک می کنند که حاوی ژنهای بی اثر باشند. اما، در کمال تعجب به نظر می رسد که غالب رشته گردنبند دی.ان.ا بنجل^{۱۵} (بی معنی) باشد.

در اینجا مکالمه ای به خاطر می رسد که سالها پیش در بار دهکده ای به نام ویت شیف داشتم، وقتی که موقتاً از اعضای تور کر دانشگاه نورث همپتون جدا شدم. کشیشی که تور را برنامه ریزی کرده بود تمام روز را درحالی سپری کرده بود که کتاب راهنمای پوسنر^{۱۶} در دستش بود و ما را به بناهای مختلفی که جاذبه معماری یا جاذبه های دیگری داشتند می برد. در میان بناها ساختمانی مثلثی بود که توسط کاتولیک متمرّد "سرتوماس ترشام"^{۱۷} ساخته شده بود، که در جریان توطئه باروت^{۱۸} دستگیر شده بود. وقتی که کشیش در باره تحقیق من سوال کرد و توضیح مختصری دادم اضافه کردم: "می دانید که در حقیقت تمام وجود شما زنجیره ای از ژن هاست؟" خوشبختانه وقتی که متوجه حیرت او شدم، احساس کردم که باید این جمله را هم اضافه کنم: "ولی البته بعد معنوی هم وجود دارد"، نتیجتاً او لبخندی زد و جواب داد: "بله، بله، این مسئله را نباید فراموش کنیم".

شاید نتوان سوالات مربوط به ماوراءالطبیعه را به کلی از دستگاه های زنده پاک کرد، چون مسائلی مربوط به اعتقادات هستند و خارج از قلمروی علم قرار دارند. در واقع این اندیشه که "موجودات زنده دستگاه هایی هستند که با استناد به سازوکارهای فیزیکی و شیمیایی که اساس عملکرد آنها ست، شناخته می شوند"، لزوماً مغایر اعتقادات متافیزیکی فطرت همگانی نیست. اما، زیبایی روایت هایی که منحصر به زبان ژن و اطلاعات بیان می شوند در این است که، قادرند بدون توسل به اجزاء فرعی که به دلیل ماهیت، حضور یا تاثیرشان، نه قابل اثباتند و نه قابل رد، توضیح کامل و جامعی از موجودات زنده ارائه بدهند.

گردنبند ژنی ممکن است در ترتیب دانه های تسبیح و تعداد کل دانه هایی که از آن ترکیب یافته و یا هردوی موارد، متفاوت باشد. "ویرس زاتماری"^{۱۹} و "جان می نارد اسمیت"^{۲۰} اظهار کرده اند که تعداد کل دانه تسبیح هایی که اطلاعات بامعنی را رمزدار می می کنند می تواند مقیاسی برای پیچیدگی موجود زنده باشد. اگر از این واقعیت چشم پوشی کنیم که فقط بعضی از زنجیره های اطلاعات دی.ان.ا عملکرد ژنها را به رمز در می آورند، در این صورت اهمیت ۳,۵ میلیارد (* 3.5) 10^9 یا در همین حدود دانه تسبیح ژن که در انسان یافت می شود در مقایسه با ۱۳۰ میلیارد (* 10^9) (۱۳۰ * 10^9) دانه تسبیح که مربوط به گیاه لاله واژگون^{۲۱} است رنگ خواهد باخت. اما شاید باعث خوشبختی باشد که فقط در حدود ۱۰,۰۲% از این تعداد دانه تسبیح اطلاعات ژنتیک را به رمز در می آورند. گرچه برخی از نواحی دیگر حاوی زنجیره های نظارت کننده هستند ولی به نظر می رسد که بسیاری از ۹۹,۰۸% دانه تسبیح های دیگر در لاله واژگون فاقد کارکرد باشند. جالب است که اگر این طور نبود، ممکن بود گیاهان گلدار مانند لاله واژگون یکشنبه بعد از ظهرها دورو بر محل نگهداری آدم ها پرسه بزنند تا

^{۱۵} junk

^{۱۶} Pevsner

^{۱۷} Sir Thomas Gresham

^{۱۸} Gunpowder Plot. (* ۱ به توضیحات انتهای فصل شماره ۱ مراجعه کنید)

^{۱۹} Eors Szathmary

^{۲۰} Joh Maynard Smith

^{۲۱} fritillaria

نمونه انسانی جذابی را پیدا کنند و ببرند در باغچه هایشان بکارند. مردان و زنان به برده های زینتی تنزل پیدا می کردند و ما هم از این که گیاه-اربابان ما برسرما منت گذاشته و کلمه ای با ما صحبت کنند خرسند می شدیم.

اما، تعداد کل ژنهای موجود در کیت نشان دهنده فقط یکی از لایه های پیچیدگی است که معرف موجود زنده است. این لایه ها شامل پیچیدگی برنامه های ژنتیکی است که ژنهای اختصاصی در آن شرکت دارند، و همچنین پایگاه داده غیر ژنتیک آموزش و فرهنگ، که بعضی از کیت های ژن قادرند کسب کنند. بنابراین معیار واقعی پیچیدگی موجود زنده باید شامل کلیه اطلاعاتی بشود که در عملکرد موفقیت آمیز آن در هر مرحله از چرخه حیات، چه ژنتیک و چه فراژنتیک مشارکت دارد.

اکنون ساختمان گردنبند ژنتیکی را بررسی می کنیم. اولین دانه گردنبند باید B (BLUE یا آبی) باشد. دومی O (ORANGE یا نارنجی)، سپس ۲ تا G (GREEN یا سبز) و یک R (RED یا قرمز)، ۵ تا سبز (GGGGG)، دو آبی (BB) و غیره باشد که به این شکل خوانده می شود: BOGGRGGGGBBB. گردنبند دیگری ممکن است که با قرمز شروع شود، بعد یک سبز G، دونا رنجی OO، هفت آبی BBBB، و یک سبز که به این شکل خوانده می شود: RGOOBBBBBBB. واضح است که اگر این دو گردنبند کنار هم قرار بگیرند به نظر کاملاً متفاوت می آیند.

در این مدل دانه گردنبند ژنی، ۴ رنگ نشان دهنده ۴ ماده شیمیایی هستند. این مواد A (آدنین^{۲۲})، C (سیتوسین^{۲۳})، T (تیمین^{۲۴}) و G (گوانین^{۲۵}) هستند که اطلاعات ژنها را به رمز در می آورند و به نام بازهای نوکلئوتیدی شناخته می شوند. درست مانند مثال گردنبند، اختلاف بین یک ژن و ژن دیگر در ترتیب قرارگیری بازهای نوکلئوتیدی است. بنابراین همچنان که یک ژن ممکن است به این شکل خوانده شود: AAAGGGCCTTTTAACTTAGCCAT، ژن دیگری ممکن است به این شکل خوانده شود: TACTGGAACGCTTGTGAATGCCGC. از طرف دیگر تعداد کل بازها منعکس کننده مقدار اطلاعاتی است که ژن به رمز در می آورد.

در ارگانیسم های یوکاریوت^{۲۶} رده بالاتر، گردنبند ژنی در یک حجره داخل سلول به نام هسته، قرار می گیرد. اما به جای این که ژنها داخل هسته تلقی تلق کنند، با زنجیره های حامل دی.ان.ا بهم می پیوندند تا ابرگردنبندی^{۲۷} به نام کروموزوم را تشکیل بدهند. در داخل کروموزوم ابتدا وانتهای هر ژن با علامت نقطه گذاری مشخص می شوند و بنابراین باوجود این که ژنها به هم متصلند ولی هر ژن از ژن کنار خود به روشنی مجزا شده است. علاوه بر ژنهای هسته، تعداد کمی از ژنها در یک زیر حجره از سلول به نام میتوکندری ذخیره شده اند.

به استثنای گلبول های قرمز خون (که همه فاقد ماده ژنتیک هستند)، سلولهای تخمک و اسپرم و سلولهای B^{۲۸} ی سیستم ایمنی، همه سلول های انسان مجموعه یکسانی از ۴۶ کروموزوم دارند. در هر سلول دو کپی ناهمسان از هر کروموزوم وجود دارد که در نتیجه ۲۳ نوع کروموزوم متفاوت می شوند. گونه های مختلف موجودات تعداد متفاوتی کروموزوم در سلولهای خود دارند. برای مثال سلول کانگورو ۱۲ کروموزوم دارد و مگس میوه ۸ کروموزوم. زنجیره دی.ان.ا ی همه کروموزوم های هسته و نیز مینی کروموزوم میتوکندریایی که در همه سلول های هسته دار موجود زنده وجود دارد، ژنوم نام دارد. ژنوم شامل کلیه اطلاعات ژنتیک لازم برای ساخت و عملکرد موجود زنده است. بنابراین کیت ژن یک موجود خاص شامل زنجیره کامل ژنوم اوست. اما، همه ژنوم ها داخل هسته قرار ندارند. برای مثال، ژنوم های نسبتاً ساده موجودات تک یاخته ای مانند باکتری آزادانه در سلول شناورند. فرآیند تعیین ترتیب به هم پیوستن بازهای نوکلئوتید، توالی یابی^{۲۹} نام دارد. اگر می

^{۲۲} Adenine
^{۲۳} Cytosine
^{۲۴} Thymine
^{۲۵} Guanine
^{۲۶} Eukaryotic
^{۲۷} Super-necklace
^{۲۸} b-cell or b-lymphocyte
^{۲۹} Sequencing

خواستیم ژنوم کامل موجودی را بسازیم به یک رشته تنهای A,C,G,T اکتفا می کردیم. اگر از اختلافات موجود بین افراد مختلف صرف نظرکنیم، این اثر انگشت منحصر به فرد زنجیره ای می تواند به طور جامع همه اعضای یک گونه را توصیف کند.

تنها جزئیات دیگری که در حال حاضر مایلیم به آن بپردازیم این است که چگونه اطلاعات زنجیره های ژنتیک برای هماهنگی ساخت موجود زنده به کار می رود. نباید تعجب کرد از این که درون سلولها دستگاه هایی وجود دارند که قادرند به اطلاعات درون ژن دست پیدا کنند. این اطلاعات بعداً به پروتئین ها ترجمه می شوند که مصالح اصلی سازنده موجودات زنده هستند. دستگاه های ظریفی که متن های ژنتیک نوشته شده در دی.ان.ا را به زبان آمینو اسیدی پروتئین ها ترجمه می کنند ریبوزوم نام دارند. این دستگاه ها بیرون هسته و در فضای احاطه کننده آن قرار دارند. ریبوزوم ها کلید ورود به هسته را ندارند و مجبورند به طور غیر مستقیم به اطلاعات ژنها دسترسی پیدا کنند. این کار با به کار گیری خدمات پیغامبرهای شیمیایی به نام ملکولهای پیغامبر آر.ان.ا یا ام.آر.ان.ا صورت می گیرد. این مواد شیمیایی "داخل رونده" یک کپی از ژن ها را می دزدند و این اطلاعات را به بیرون هسته برای ریبوزوم که در کمین نشسته، می برند. تفاوت اصلی دی.ان.ا و زنجیره ام.آر.ان.ا در این است که در ام.آر.ان.ا باز T (تیمین) با بازی به نام یوراسیل^{۳۰} (U) جایگزین می شود. بنابراین کلمات زبان شیمی ام.آر.ان.ا با الفبای A,C,G,U نوشته می شود و دی.ان.ا با الفبای A,C,G,T.

ریبوزوم ها دستگاه های ترجمه جهانی هستند که مانند مینی کامپیوتر ها عمل می کنند. به این دلیل جهانی هستند که هر برنامه نوشته شده به زبان A,C,G,U ی مربوط به ام.آر.ان.ا هنگام ورود به ریبوزوم توسط آن پذیرفته و جواب داده می شود. این فرآیند بدون توجه به ماهیت و منشأ زنجیره ورودی رخ می دهد. وقتی ریبوزوم با یک برنامه ام.آر.ان.ا تغذیه می شود شروع به خواندن پیام و ترجمه از ابتدا تا انتهای آن می کند. اطلاعاتی که در ام.آر.ان.ا به رمز در آمده برای خلق نوع نوینی گردنبد به کار می رود که از مجموعه مصالح ساختمانی دیگری به وجود می آید. این مصالح بیست نوع آمینو اسید مختلف هستند که پروتئین ها را می سازند. گردنبد های آمینو اسید که از سرهم کردن زنجیره A,C,G,U ی برنامه های ام.آر.ان.ا به وجود می آیند، عناصر یک بعدی ریزساختار^{۳۱} پروتئین هستند که کلان ساختارهای^{۳۲} سه بعدی کلیه موجودات زنده از آنها ساخته می شود.

زمانی که برنامه دیجیتال ام.آر.ان.ا به ریبوزوم خورانده می شود ممکن است به نظر بیاید که موقتاً کنترل دستگاه ترجمه را در دست می گیرد و سپس نظم آن را تا انتها از بین می برد. می توان تصور کرد که ریبوزوم ها در یکی از حالات بیست گانه گوناگون قرار می گیرند که هر یک متناظر است با رفتار های یکی از بیست آمینو اسید اضافه شونده. این رفتارها می توانند توسط برنامه ام.آر.ان.ا، به ترتیب از مخزن رفتارهای دستگاه انتخاب بشوند و متعاقباً توسط ریبوزوم محاسبه شوند. هرکدام از این رفتار ها، مشخص کننده این است که یک آمینو اسید متفاوت به گردنبد در حال ساخت اضافه می شود.

به منظور ترجمه کد های A,C,G,U ی مربوط به ام.آر.ان.ا به زبانی که با الفبای آمینو اسید نوشته می شود به یک قاعده کلی در ترجمه نیازمندیم. آشکار شده است که به استثنای تعداد کمی از موجودات زنده که اصلاحات کوچکی در کد به عمل آورده اند، بقیه موجودات زنده قاعده یکسانی را در ترجمه به کار می برند. این کد ژنتیک به صورت رشته های سه حرفی از باز های A,C,G,U نوشته می شود. بنابراین ریبوزومی که با برنامه ام.آر.ان.ا ی زیر تغذیه می شود CCCGUACCGUAUUGCUACGUGAGG، این رشته را تجزیه می کند و آن را به ۸ دسته ۳ حرفی زیر تبدیل می کند:

^{۳۰} Uracil
^{۳۱} Micro-structure
^{۳۲} Macro-structure

CCC/GUA/CCG/UAU/UGC/UAC/GUG/AGG. هر ترکیب سه تایی از ۴ باز A,C,G,U یکی از بیست اسید آمینه مختلف و یا نقطه شروع یا پایان را مشخص می کند. این علائم هم شروع و پایان هر ژن و هم چهارچوبی را که باید در آن خوانده شود مشخص می کند.

تعداد ترکیبات سه تایی که از ۴ باز به دست می آید عبارت است از 4^3 یا $4 \times 4 \times 4$ یعنی در مجموع ۶۴ ترکیب سه تایی وجود دارد. هر یک از این ترکیبات سه تایی کدون نامیده می شود. چون کد ژنتیک فقط به ۲۰ عدد از این اسیدهای آمینه، به علاوه ۲ علامت برای شروع و پایان، نیاز دارد، در واقع ۴۲ کدون بالقوه اضافی هستند. ولی کدها هم ارز هستند و همه اسیدهای آمینه به جز دوتایشان با بیش از یک کدون مشخص می شوند. برای مثال اسید آمینه لیوسین با ۶ تا سه تایی مترادف به رمز در می آید: UUA, UUG, CUU, CUC, CUA, CUG. بنابراین زمانی که ریبوزوم با کدون UUA مواجه می شود رفتارش عیناً مانند وقتی است که با کدون CUC مواجه می شود و در این هنگام یک لیوسین به زنجیره نوزاد اضافه می کند. سه کدون متفاوت یعنی UAA, UAG, UGA نیز مشخص کننده علامت توقف هستند که انتهای ژن را معین می کند. اما ابتدا یا شروع کلیه ژنها با یک علامت ثابت یعنی کدون ATG مشخص می شود.

نکته مهم در رابطه با کیت ژن این است که حاوی کلیه ژنهای لازم برای ساخت و به حرکت درآوردن موجود زنده ای است که شکل آن روی جعبه حک شده است. افزون بر آن این کیت، شامل سایر بیت های دی.ان.ا ای است که برای اطمینان از عملکرد صحیح عضو لازمند. اگر بخواهیم جنبه های خاصی از طراحی، کنترل و عملکرد موجود زنده را درک کنیم، حداقل باید بتوانیم توضیحات مربوطه را در جعبه کیت بیابیم. در حقیقت جز نخ های نامرئی مولکولی پنهان شده در کیت جای دیگری را نمی توان برای یافتن توضیحات اساسی جستجو کرد و یا این که باید آنها را در الگوی دینامیکی که در هنگام روشن و خاموش شدن اجزاء در سلول های مختلف و زمانهای مختلف تولید می شود جستجو کرد. ژنهای داخل جعبه باید در قبال دادن توضیحات مسنول باشند. بنابراین جعبه شعبده بازی ژنتیک، ساختار و عملکرد عضو زنده را در پایین ترین سطح توضیح می دهد. مشارکت هر ژن خاص در بازی خلق موجود زنده با ور رفتن سیستماتیک با تعداد ژنها و ترکیبات مختلف ژنهای داخل کیت، مشخص می شود.

اکنون جزئیات وصل کردن ژنها را شرح نمی دهیم، چون بعداً به این موضوع اشاره خواهیم کرد و در حال حاضر ضرورتی هم ندارد. یک مهندس برق می تواند بدون دانستن چیز زیادی در باره ساختار دقیق قطعات، با وصل کردن تعدادی خازن، مقاومت، ترانزیستور و سایر قطعات رادیو بسازد. آنچه که برای یک مهندس مهم است این نیست که خازن یا ترانزیستور چگونه ساخته شده اند بلکه دانستن این مسئله مهم است که این قطعات وقتی که با سایر قطعات در یک مدار قرار گیرند چگونه رفتار می کنند. از این رو قطعات مجزا کوچکترین واحد عملیاتی هستند، در حالی که مداری که از آنها تشکیل یافته است در مرتبه بالاتری قرار دارد.

همچنین، می توان تصور کرد که گروههای ژن داخل کیت، مدارهایی هستند که از بخش های خودکفا تشکیل شده اند. به هر یک از این بخش ها می توان زیر تابع اختصاصی خودش را که با منطق ژنتیک زیربنایی آن تعریف می شود اختصاص داد. از این رو به نظر می رسد که موجود زنده از ترکیب توابع مجزای گوناگون پدید می آید. نتیجتاً می توانیم با وارد کردن توابع اختصاصی جدید به مجموعه اصلی، معماری و رفتارهای مختلف بیولوژیک به وجود بیاوریم. همچنین بخش ها را می توانیم اصلاح یا حذف کنیم یا دوباره با روشهای دیگری به قطعات مجاور وصل کنیم و یا الگوی خاموش و روشن شدن آنها را اصلاح کنیم.

به نظر می رسد که موجودات زنده مشابه، بخش های مشترک زیادی داشته باشند. مثلاً اختلاف بین ببر و پلنگ ممکن است نتیجه اضافه، حذف، اصلاح یا دوباره وصل کردن تعداد کمی از بخش ها باشد، درحالی که فاصله بین ببر و جوجه تیغی ممکن است خیلی بیشتر از این باشد. باوجود این واقعیت که انواع مختلف مخلوقات با بخش های ویژه خودشان تعریف می شوند، به نظر می رسد که مجموعه ای از اجزای اصلی در همه موجودات زنده مشترک باشند.

اکنون می توانیم نوع جدیدی هایپرمارکت به نام هایپرمارکت کلیه بخش های ممکن را در نظر بگیریم. هر بخش مثل یک جعبه سیاه است و همه توابع می توانند با استفاده از تکنولوژی های متعدد مختلف به وجود آیند. اما ساختار دقیق قطعات داخل جعبه لزوماً داخلی به ما ندارد. چون تاوقتی که بتوانیم بخش ها را با روش مناسبی به هم وصل کنیم می توانیم گروهی موجود زنده متفاوت بسازیم. مثلاً برای ساختن یک بابون کافی است درون هایپرمارکت حرکت کنیم و بخش های مناسب را جمع آوری کنیم. سپس می توانیم آنها را با استفاده از دستورالعمل مناسب سوار کنیم. می توانیم فرض کنیم که زرافه جزئی ژنتیک برای رشد گردن دراز دارد و جوجه تیغی جزئی برای رشد تیغ های دراز. افزون بر این، بوته های گل رز می توانند جزئی برای رشد خار، برگ یا گلبرگ داشته باشند و اگر راهراه های سیاه گورخرها توسط جزء راهراه کننده ساخته می شد می توانستیم با وارد کردن اجزاء مناسب به درون کیت ژن گل رز، رزهای راه راه درست کنیم. این گل مطمئناً جایزه نمایشگاه گل چلسی^{۳۳} را می برد.

اجزای بخش بخش توابع که ساختار کلی موجود خاصی را تعریف می کنند باهندسه خاصی به یکدیگر متصل هستند. همچنین به نظر می رسد که بخشی که رشد گلبرگ گیاه را کنترل می کند اساسی تر از بخشی است که مسئول رنگ آمیزی گلبرگها به رنگ قرمز و زرد است. بنابراین بخش رنگ آمیزی ممکن است از نظر سلسله مراتب پایین تر از آن بخش اصلی قرار داشته باشد که معماری گلبرگ را مشخص می کند. گذشته از این، بخش رنگ آمیزی نمی تواند فضای خالی را رنگ کند. هرچه عملکرد یک جزء بنیادی تر باشد تاثیر خرابی، تغییر یا جابجایی آن بیشتر است.

گرچه می توان توابع گسسته را به مدارهای ژنتیک نسبت داد ولی وقتی که این مدارها بهم وصل شوند ممکن است رفتارهایی بروز دهند که نتوان آن را به صورت یک تابع واحد مجزا ساده کرد. پدیده های پیچیده ای مانند آگاهی یا طرحهایی که روی بال پروانه دیده می شوند در این مقوله قرار می گیرند. ارتباط بین مدار های ژنتیک در واقع آنقدر زیاد است که می توان به چشم یک شبکه ژنتیک به ژنوم نگریست. ریشه این پیوستگی این است که ژنها قادرند هم مانند تولید کنندگان پیام پروتئین عمل کنند و هم مانند آدرس های بیوشیمیایی هدف، یعنی جایی که پروتئین ها نفوذ دارند.

درسالهای گذشته کیت ژن تعدادی از موجودات زنده ساده و یا نسبتاً پیچیده به طور کامل ردیف یابی شده است. اولین ژنومی که کاملاً ردیف یابی شد مربوط به ویروس Pbi-X174 بود که در ۱۹۷۷ توسط فرد سنگر^{۳۴} انجام شد. طول ژنوم کوچک این ویروس فقط به اندازه ۵۳۸۶ باز است. از آن به بعد زنجیره کامل تعدادی ژنوم مربوط به ویروس ها شناسایی شده است که شامل ویروس بزرگتری به نام سیتومگالو ویروس با ۲۲۹،۰۰۰ باز، ویروس وایچینیا^{۳۵} به درازای ۱۹۲،۰۰۰ باز، واریولا^{۳۶} (آبله مرغان) با ۱۸۶،۰۰۰ باز و مولوسکوم کنتاگیوسوم^{۳۷} با ۱۹۰،۰۰۰ باز می باشد. همه این کیت های ژن می توانند در قفسه های هایپرمارکت تخیلی "فضای ویروس" جای بگیرند. بی تردید بسیاری از قفسه های خالی این فروشگاه به سرعت پر می شوند. درنهایت، همه ویروسهای فعلی و شاید بعضی از ویروس های قدیمی در هایپرمارکت "فضای ویروس" عرضه خواهند شد. اما ویروس قادر به تکثیر خود نیست و فقط وقتی قادر به این کار است که سربار دستگاه سوخت و ساز موجود زنده ای شود که میزبان آن است. از این رو کیت ژن ویروس، به موجودی خودگردان تعلق ندارد.

در اکتبر ۱۹۹۵ زنجیره کامل باکتری میکوپلاسما جنیتالیم^{۳۸} در مجله علمی ساینس منتشر شد. این کار نتیجه همکاری سه تیم بود، که به ترتیب اهمیت توسط کرگ ووتر^{۳۹}، هامیلتون اسمیت^{۴۰} و کلاید هاجینسون^{۴۱}، اداره می شد. زمان

^{۳۳} Chelsea flower show

^{۳۴} Fred Sanger

^{۳۵} Vaccinia

^{۳۶} Variola

^{۳۷} Molluscum Contagiosum

^{۳۸} Mycoplasma genitalium

^{۳۹} Craig Venter

^{۴۰} HamiltonSmith

قابل توجهی طول کشیده بود تا پروژه به انجام برسد، یعنی حدود هشت ماه. در آن سال تیم کرگ و نتر با ردیف یابی ژنوم باکتری هموفیلوس آنفلوانزا با ۱،۸۳۰،۱۳۷ باز برنده مسابقه ردیف یابی اولین موجود همتا ساز (خود تکثیر) شد.

اهمیت زنجیره میکوپلازما جنیتالیوم در این است که کوتاهترین ژنوم شناخته ای است که موجودی قابل تکثیر را به رمز در می آورد. در حقیقت کیت ژن این باکتری ۵۸۰،۰۰۰ باز دارد. از این رو ژنوم این باکتری کمترین تعداد ژن لازم برای مشخص کردن موجود زنده و نیز راهنمایی لازم برای ساخت آن را فراهم می آورد. همچنین این سوال را پیش می آورد که آیا می توان کیت ژن حداقلی را که برای ساختمان موجودات زنده لازم است تعریف کرد؟

میکوپلازما جنیتالیوم مانند یک انگل در دستگاه تنفس و تناسلی انسان زندگی می کند و تخمین زده می شود که حدود ۴۷۰ ژن داشته باشد. چون این باکتری دارای کوتاهترین ژنوم شناخته شده در بین موجودات زنده است می تواند به عنوان استاندارد برای سنجش سایر کیت ها در نظر گرفته شود. هریک از ترزینات اطلاعات به رمز در آمده درون ژنوم فشرده این موجود ناچیز نیازمند توضیح است. به عنوان مثال ژنوم انسان در حدود ۳،۵ میلیارد باز دارد و به نظر می رسد که حدود صد هزار ژن داشته باشد. با اضافه کردن این چیزها به کیت پایه به جای ساختن میکوپلازما جنیتالیوم می توانیم انسان را به شکل انسان امروزی بسازیم.

فناوری های نوین اجازه می دهند که ژن های مجزا از داخل کیت بیرون آورده شوند. مطالعات انجام شده بر روی ژن های بیرون آورده از خمیر مایه، کرم، حشرات و نیز موش، نشان می دهد که از هر سه ژن فقط یک ژن ضروری است و این نشان می دهد که بسیاری از ژنها را می توان به دریا ریخت. آرکادی موشه گیان^{۴۲} و اوگن کونین^{۴۳}، ژنوم هموفیلوس آنفلوانزا را با ژنوم میکوپلازما جنیتالیوم مقایسه کرده اند تا ژنهای مشترک بین این دو را بیابند. از ۱۷۰۳ ژن هموفیلوس آنفلوانزا و ۴۷۰ ژن میکوپلازما جنیتالیوم، ۲۳۳ ژن در هر دو یافت شدند که به نظر می رسد از این تعداد ۱۰۵ تای آنها به هم پیوسته باشند و یا اینکه منشأ متاخر دارند و به همین دلیل از مجموعه خارج شدند و ۱۲۸ ژن مشترک باقی ماندند. آنها به این نتیجه رسیدند که این ژنها مربوط به مجموعه ای اجدادی هستند که اولین موجودات زنده ژنتیک رمز دار را ساخته اند. نتیجتاً به ژنوم موجودات قدیمی یا کنونی می توان به عنوان شاخ و برگ این مجموعه اصلی یا پایه نگریست.

کسب و کار ردیف یابی ژنوم رونق گرفته است. ریسک های کنونی ردیف یابی هر ماهه اعلام می شود و تعدادی از پروژه ها که شامل ردیف یابی گوجه فرنگی و غلات مانند گندم و ذرت است اکنون در موسسات خصوصی و دانشگاهها در جریان است. کیت کامل ژنوم انسان نهایتاً تا سال ۲۰۰۱^{۴۴} در قفسه فروشگاه ژنتیک یافت خواهد شد. گرچه پروژه های بین المللی جهت ردیف یابی ژنوم انسان توسط دولت ایالات متحده در ۱۹۹۰ زیر پرچم پروژه ژنوم انسان (HGP)^{۴۵} شروع شد، آغاز کار خصوصی ماجرارجویانه و جنجالی به رهبری کرگ و نتر به صدور اعلامیه مشترکی از یک از ژنوم انسانی به شکل پیش نویس در سه شنبه ۲۸ جون ۲۰۰۰ منتهی شد.

کارل وونز^{۴۶} اشاره کرده است که حیات روی زمین از یکی از سه تبار شجره شناختی به نام آرکانیا، باکتریا و یوکاریوت نشأت گرفته است. در چند سال گذشته نمونه کیت ژن موجودات زیر ردیف یابی شده اند. کیت ژن مخمر ساخارومیسز سروسیا با ۱۵،۵۲۰،۰۰۰ باز در ۱۹۹۶ کامل شد. زنجیره این کیت به ویژه به این دلیل قابل توجه است که این موجود تک سلولی به همان شاخه تبارشناسی انسان تعلق دارد. اندازه گیری زنجیره کامل ژنوم جانور چند سلولی کانورابدیتیس الگاتس با

^{۴۱} Clyde Hutchinson

^{۴۲} Arcady Mushegian

^{۴۳} Eugene Koonin

^{۴۴} این کتاب در سال ۲۰۰۰ منتشر شده است. مترجم

^{۴۵} Human genome project

^{۴۶} Carl Woese

۹۷,۰۰۰,۰۰۰ باز، نقطه عطف مهمی بود، چون این کرم نخی (نخ نما_ نواری) بسیار پیچیده تر از خمیر مایه یا باکتری است. اکنون می توان دریافت که چگونه ۱۹,۰۰۹ ژن این موجود با ژنهای ژنوم موجودات تک سلولی فرق می کند.

سرعت ردیف یابی های کنونی آنقدر بالاست که هر لیستی از ژنوم های کامل شده به محض ترجمه کهنه می شود. به هر حال، در زمان نوشتن این کتاب سایر زنجیره های مربوط به ژن باکتری شامل موارد زیر می شوند:

اشریشیا کولای K-12 (دارای ۴,۶۳۹,۲۲۱ باز)، سینکو سیستیس PCC6703 (۳,۵۷۳,۴۷۰ باز)، هلیکو باکتر پیلوری (۱,۶۶۷,۸۶۷ باز)، اکیفکس انولیکوس (۱,۵۵۱,۳۳۵)، میکوباکتريا توبرکولوسیس (۴,۴۱۱,۵۲۹ باز) تریونماپالیدوم (۱,۱۳۸,۰۰۶ باز)، کلامیدیا تراکوماتیک (۱,۰۴۲,۵۱۹ باز)، ریکتسیا پروواژکی (۱,۱۱۱,۵۲۳ باز) و باسیلوس سابیتیلیس (۴,۲۱۴,۸۱۰ باز).

تا کنون فقط سه موجود آرکن رديف يابی شده اند: متانوکوکوس جاناشی (۱۲,۰۵۲,۰۰۰ باز)، متانوباکتریوم ترمواتوتروفیکوم دلتا اچ (۱,۷۵۱,۳۷۷ باز) و آرکانیوگلوبوس فولگیدوس (۲,۱۷۸,۴۰۰ باز)^{۴۷}. متانوکوکوس جاناشی شبیه موجودات غریب علمی تخیلی است که در دمای بالای ۹۸ درجه سانتیگراد زندگی می کند و قادر است فشار تا ۲۰۰ اتمسفر را تحمل کند و درمجاورت اکسیژن می میرد. این موجود در اقیانوس آرام در عمق ۳ هزار کیلومتری توسط یک زیر دریایی تحقیقاتی به نام آلوین کشف شد.

سایر ژنوم ها که اکنون در حال ردیف یابی هستند عبارتند از : مگس میوه دروسوفیلاملانوگاستر، ماهی پفکی فوگوروبریز، گیاه آرابیدوپسیس تالینا، محصول برنج اوریزا ساتیوا، انگل مالاریای پلاسمودیوم فالسیپاروم و قارچ اسپرجیلوس نیدولانس. بسیاری از این ژنوم ها نماینده رده هایی مختلفی از موجودات هستند. برای مثال دانه ریز آرابیدوپسیس تالینا مدلی است برای بیش از ۲۵۰,۰۰۰ گونه گیاهی مختلف. ژنوم بسیاری موجودات دیگر نیز که از نظر اقتصادی و آسیب شناسی مهم هستند در حال ردیف یابی است که شامل نیسریا مینزیتیدس (منارثیت)، میکوباکتریوم لپرا (جذام)، نیسریا گونوریا (گونوریا)، استرپتوکوکوس نیومونیا (ذات الریه) و ویبریو کولرا (وبا) می شود.

اگر زمانی ژنوم عمومی انسان ردیف یابی شود، بر روی افرادی تاکید خواهد شد که از مرض خاصی رنج می برند و جمعیت هایی که از لحاظ جغرافیایی یا فرهنگی منزوی هستند، مانند سکته ترستان داکونها^{۴۸} (که از نوعی آسم شدید رنج می برند) و قبائل اونگ^{۴۹} در هندوستان. زنجیره این ژنوم ها به روشن شدن اجزاء ژنتیک امراض مهم جهانگیر کمک خواهد کرد. در واقع هجوم برای ردیف یابی ژنتیک در راه است و جویندگان حیات برای یافتن مجموعه های ارزشمند دی.ان.ا و حق استخراج آن با یکدیگر مسابقه گذاشته اند. سازمان های نماینده مردم بومی این ابتکار عمل را محکوم کرده اند و آنها را امپراطوری ژنتیک یا راهزن زیستی خوانده اند. با این وجود طرح پروژه تنوعات ژنوم انسانی^{۵۰} (HGDP) برای بررسی تنوع های ژنتیک انسان در دست اقدام است.

تصور کنید که ژن گونه های مختلف موجودات یک دور نمای ژنتیک^{۵۱} می سازد. شرکت های خصوصی و موسسات دانشگاهی، درست مثل استعمارگران قرن نوزدهم، به جان یکدیگر افتاده اند تا ژن هرچه بیشتری بیاندوزند و در بعضی موارد زنجیره ژنها مانند اختراع یا مالکیتی معنوی به نظر می رسند که با حق ثبتی محافظت می شوند که بالقوه به آن ارزش تجاری می بخشد. سرانجام بخش مدرن فروشگاه باغ وحش دی.ان.ا که شامل کیت ژن انواع موجودات شناخته شده است ساخته خواهد شد. شاید بتوان بخش قدیمی باغ وحش ژن را که شامل زنجیره ناقص یا کامل ژن موجودات منقرض شده است، با کمک فناوری یابنده دی.ان.ا های قدیمی، در فروشگاه ساخت.

^{۴۷} برای دیدن اسامی کامل انگلیسی این موجودات به انتهای همین فصل قسمت توضیحات مراجعه کنید. (۴*)

^{۴۸} Tristan da Cunha

^{۴۹} Onge

^{۵۰} Human Genome Diversity Project

^{۵۱} Genescope

بعد از ردیف یابی کیت ژن، می توان آن را با سایر کیت ها مقایسه کرد. الگوی فعالیت ژن های داخل کیت را نیز می توان مطالعه نمود. علم نوین ژن شناسی تطبیقی و زیست اطلاعات، از کامپیوتر های قدرتمندی برای تفسیر پایگاه داده زنجیره دی.ان.ا استفاده می کند و ارزش زیادی در تشخیص عناصر ژنتیکی که در طول تکامل حفظ شده اند دارد. تکامل ژنهای خاص نیز می تواند از طریق مقایسه زنجیره دی.ان.ا ی گونه های مختلف و ایجاد دودمان های فرضی مورد مطالعه قرار گیرد. تعریف قراردادی اصطلاحاتی مانند "گونه" و "حیات" باید با توجه به نظریه های ژنتیک مولکولی مجدداً ارزیابی شوند. چالش پیش رو، یافتن روش های نوینی برای استفاده از اطلاعات به دست آمده توسط پروژه های ردیف یابی دی.ان.ا است.

ژن شناسی تطبیقی همچنین به تشخیص بخش های زائد ژن و ژنوم، یعنی آن نواحی که با حذف آنها می توان ژنوم مترکم تری بدست آورد، کمک می کند. برای مثال ماهی پفکی فوگو^{۵۲} تقریباً به اندازه انسان ژن دارد ولی ژنوم آن هفت و نیم بار کوچکتر از ژنوم انسان است. گرچه ماهی فوگو دارای دی.ان.ا های به رمز درنیامده کمتری نسبت به انسان است ولی با کوچک کردن اندازه ژنهای ژنوم نیز می توان به ژنوم کوچک تری دست یافت. برای مثال ژنوم ماهی فوگو حاوی نسخه فشرده ای از ژنی است که تصور می شود عامل بیماری هانتینگتون باشد. در حالی که ژن انسان حاوی ۱۸۰،۰۰۰ باز است، ژن فوگو فقط ۲۲،۰۰۰ باز دارد. اما تشکیلات ساختاری ژن آن یکسان است که نشان می دهد به خوبی محافظت شده است. ژن شناسی تطبیقی بینشی در مورد نحوه کوچک کردن ژنها با عملیات مصنوعی کاهش ژنی^{۵۳} به ما می دهد. بسیاری از ژنهای ماهی ماهی پفکی تا حدودی در روند تاریخ از آنها ستانده شده است، بنابراین آنها ژن کاهیده هستند. این ژنهای کاهیده به یافتن نواحی کلیدی زنجیره های رمزدار کمک می کنند، و حال آن که ژنوم های کاهیده برای تشخیص زنجیره های ضروری به رمز درنیامده مفید هستند. چون ژنوم فوگو بسیار کوچکتر از ژنوم انسان است ولی تعداد ژن های آن با انسان مساوی است، این ژنوم بالقوه سیستم مناسبی برای مطالعه عملکرد و قانونمندی ژن های انسان می باشد.

ظاهراً، در ژنوم انسان ۹۷٪ ژنها رمزدار نیستند. تعبیر متعددی برای توضیح این دی.ان.ا ی غنی فاقد رمز اقامه شده اند که مشهور ترین آنها این است که قسمت عمده این دی.ان.ا شامل زنجیره های انگلی و نامربوط است. اما، بعضی از نواحی ممکن است اتاق کار دی.ان.ا باشند که زنجیره های مهجور را در خود جای می دهد تا روزی مانند سیمرغ، به شکل اصلی شان یا با شکلی اصلاح شده ظهور کنند. بقیه نواحی ممکن است منبعی از اسباب های کوچک مفید ژنتیک باشند که می توانند وارد سایر ژنها شوند. فیزیکدانی به نام اوگن استانی^{۵۴} با به کارگیری شیوه های آماری وام گرفته از زیانشناسی نشان داده است که زباله های دی.ان.ا شباهت به زبان طبیعی انسان دارد. او اظهار می کند که این زباله ها حامل نوعی پیام است که اساساً با اطلاعات به رمز در آمده در ژنها متفاوت است. نتیجتاً ممکن است که چیز جالبی در زباله ها پنهان شده باشد. شاید رمزی ژرف تر؛ متنی بیگانه و محرمانه که در انتظار ترجمه رمز خود به سر می برد.

حداقل چندین زنجیره دی.ان.ا ی به رمز درنیامده دست اندرکار نظارت بر بسته بندی و بیان (بروز) ژن هستند. بیان ژن عبارت است از فرآیندی که در آن اطلاعات ژنها در آر.ان.ا کپی می شوند و به پروتئین ها ترجمه می شوند. با وجود اهمیت قابل ملاحظه نواحی تنظیم کننده، تعیین محل آنها مشکل است. ژنومیک تطبیقی، با مقایسه نواحی فاقد رمز ژنوم گونه های مختلف، می تواند زنجیره های تنظیم کننده ای را که در بین گونه های مختلف محفوظ مانده اند معین کند. ژنومیک تطبیقی و بیو انفورماتیک همچنین به تشخیص عملکرد ژنهای تازه کشف شده کمک می کند. برای مثال اگر نقش یا موتیفی^{۵۵} در ژنی که عملکردش شناخته شده است موجود باشد و همین نقش در ژن دیگری که عملکردش معلوم نیست یافت شود احتمال داده می شود که هر دو ژن عملکرد کاملاً مشابهی داشته باشند. ژنومیک تطبیقی همچنین با تعیین درصد ژنهای اختصاص یافته به توابع ضروری گوناگون که در اغلب موجودات مشترکند، به اختصاص منابع ژنتیک آنها کمک می کند. مثلاً، در حالی که هموفیلوس

^{۵۲} Fugu
^{۵۳} Genetic pruning
^{۵۴} Eugene Stanley
^{۵۵} Motif نقش یا نقش مکرر. (۵*)

آنفلوانزا ۶۸ ژن (یعنی ۳,۹٪ ژنهایش) را به بیوسنتز آمینو اسید اختصاص داده، میکوپلاسما جنیتالیوم سرمایه گذاری متفاوتی کرده است یعنی فقط یک ژن را (۰,۲٪) برای این کار کنار گذاشته است.

علاوه بر این، می توان کیت ژنها را شکافت و با روش معینی تجزیه کرد. می توان ژنی به آن اضافه کرد یا ژنی را اصلاح کرد و یا از آن حذف کرد و تاثیرات کلی این دستکاری ها قابل مشاهده است. برای مثال، تحقیقاتی که مستلزم تکه پاره کردن تصادفی ژن ساکارومیسز سروسیا هستند نشان می دهند که عملکرد زائد فراوانی دارد. در واقع در شرایط مناسب، ۷۰٪ ژنوم ساکارومیسز سروسیا را می توان دور ریخت، بدون این که در بقا او تاثیری بگذارد. بنا براین به نظر می رسد که ارگانیسم ها با ساخت سامانه های پشتیبان که حافظ وظایف اصلی هستند، خود را در مقابل خرابی و یا صدمات وارده به اجزاء اصلی کیت ژن خود بیمه می کنند. همان طور که ذکر کردیم میکوپلاسما جنیتالیوم تقریباً مثالی از حیات حداقل است که به گفته باری بلوم^{۵۶} "یاد گرفته است که از طریق اتحاد با میزبان پستاندار خود زندگی اش را آسانتر کند". درحقیقت "جالب است که یاد میگیرد که هرچه را که می تواند، دوربریزد و بازهم زنده بماند". همچنین تعجب آوراست که می توانیم ژنهای ژنوم ماهی پفکی یا مگس میوه را دور بریزیم بدون این که صفت ماهی پفکی این یک و جوهر مگسیت آن یک از دست برود.

پاسخ به این سوالها تا اندازه ای به شناسایی ویژگی های انحصاری یک گونه بستگی دارد. این ویژگی می تواند مثلاً ریخت خارجی آن، ساختار داخلی، رفتار، دینامیک سلول ها یا مسیرهای بیو شیمیایی آن و یا ترکیبی از همه این موارد باشد. مثلاً می توان یک ماهی پفکی فرض کرد که شکل ماهی پفکی است ولی مانند مگس میوه رفتار می کند با این تفاوت که به جای پرواز شنا می کند. از طرف دیگر می توان مگس میوه ای را در نظر آورد که ادای ماهی را در می آورد. نه تنها این رفتار برآورده آنها نیست، بلکه با رفتار ناجوری که دارند حتی موفق هم به نظر نمی رسند.

گرچه حل این مسائل فلسفی سخت است ولی ژنومیک تطبیقی روش قدرتمندی را برای شناسایی ژن هایی که می توانند ویژگی های یک کیت حداقل را اصلاح کنند، در پیش می گیرد. مثلاً اگر بخواهیم زنجیره ماهی پفکی را با مگس میوه مقایسه کنیم و سپس مناطقی را که در هر دو مشترک یا یکسان هستند از آن کم کنیم، باقیمانده بیت ها باید صفات انحصاری هر گونه را دربرداشته باشند. برعکس، مناطقی که شبیه هم هستند پس زمینه ثابت ژنتیک را می سازند. اما، یکی از مشکلات این نوع نگاه این است که فرض می کند برداشتن یک یا چند ژن از کیت، فقط تاثیرات موضعی به جای می گذارد و سایر مدارهای ژنتیک را دچار اختلال نمی کند.

درحال حاضر تحقیقاتی از این نوع جریان دارند. مثلاً، در مقایسه ای که بین ژنوم هموفیلوس آنفلوانزا با اشریشیا کولای انجام شده است، ۱۱۶ ژن که در اشریشیا یافت نمی شوند مشخص شده اند. فرض می شود که این ژنها بعضی از خصوصیتی را به رمز در می آورند که هموفیلوس را هموفیلوس می کند و نه اشریشیا کولای. تحقیقات مربوط به ژنوم سایر ارگانیسم ها، ژنهای "یتیم" را نشان داده اند که شباهتی به سایر ژن های شناخته شده ندارند و هیچ وظیفه ای به آنها نسبت داده نشده است. احتمالاً این ژنهای یتیم برای تعریف ترکیب انحصاری گونه های مختلف اهمیت دارند.

قبلاً دیدیم که کیت ژن در هایپرمارکت های ژنتیک به فروش می رسد و ممکن است درجات متفاوتی از کمال را نمایش دهد. مثلاً یک نفر ممکن است کیت ژن مهره داران را جمع آوری کند، در حالی که دیگران در مورد حشرات، طوطی های آمازونی، درختها یا ماهی تخصص داشته باشند. اما، اجازه دهید که اکنون از کنار هایپرمارکت عظیم سینوزن^{۵۷} که کیت ژن باکتری چاینیز^{۵۸} را انبار می کند بگذریم و در عوض وارد هایپرمارکت ژنتیکی شویم که کیت ژن حیوانات آفریقا را عرضه می کند. ممکن است که سایر شعبه های این فروشگاه کیت ژن گلهای آفریقایی و پرندگان یا گونه هایی مانند کواگا را که زمانی در آفریقا پرده می زدند ولی اکنون منقرض شده اند داشته باشند.

^{۵۶} Barry Bloom

^{۵۷} Sinogen

^{۵۸} Chinese bacteria

وقتی به داخل مغازه قدم می‌گذارم، سکه ای را در شکاف چرخ خرید می‌اندازم تا آزادش کنم و آنرا تا اولین راهرو هل می‌دهم. فوراً بسته کیت ژن‌هایی که تا ارتفاعی نزدیک سقف روی هم توده شده اند توجه مرا به خود جلب می‌کنند. وقتی دقیق‌تر بررسی می‌کنم متوجه می‌شوم که مکان این توده اصلاً اتفاقی و الله بختکی نیست. واضح است که مالک این فروشگاه می‌تواند جنس‌های بالقوه پر فروش را تشخیص بدهد. در حالی که در بیشتر قسمت‌های فضا تصویر سلطان جانوران در روی جعبه‌ها دیده می‌شود، من دو جعبه کیت برمی‌دارم و در چرخ خریدم می‌گذارم. از هرچه که بگذریم آنها درسید ویژه فروشگاه قرار دارند. در کنار کیت ژن شیر توده ای از کیت ژن گورخر کوت شده است. و نزدیک اینها کپه دیگری از کیت ژن قرار دارد که در نگاه اول به نظر می‌رسد که گورخر باشد. اما، متوجه پلاکاردی می‌شوم که از سقف آویزان است و رویش نوشته "گورخر +۱، پیشنهاد مخصوص - یک نوار مجانی در هر بسته". و وقتی برای اطمینان خودم نوارهای روی همه انواع گورخرها را می‌شمارم، به نظرم می‌رسد که نوع گورخر +۱ یک نوار اضافه دارد. بعد از عبور از اسب‌آبی، کفتار و کروکودیل، بالاخره به بخش کرگدن می‌رسم. پلاکارد دیگری اعلام می‌کند که اگر کیت ژن عقاب را از راهروی شماره ۲۴ بخرم برنده یک کرگدن +۳ می‌شوم. من به تصویر روی جعبه +۳ نگاه می‌کنم و متوجه می‌شوم که کرگدن‌های ۴ شاخ را نمایش می‌دهد.

گرچه آن‌ا مجنوب فلامینگوها می‌شوم ولی توجه اندکی هم به کیت‌هایی که در راهروی ۳۰ قرار دارند می‌کنم. بعد وارد راهروی شماره ۳۱ می‌شوم و اینک مقابل مجموعه کیت ژن پلنگ قرار دارم. تعجب می‌کنم که چقدر زیادند. بعد متوجه می‌شوم که جایی که به آن نگاه می‌کنم مطمئناً پر جلوه‌ترین و ویرین این فروشگاه است. زیرا که فقط یک نوع پلنگ ندارد بلکه برای مثال شامل انواع زیر است : +۱، +۷، -۳، -۶، و یک پلنگ صفر. به نظر می‌رسد که +۱ و +۷ به خال‌های اضافی و -۳ و -۷ به خال‌های کاسته شده اشاره می‌کنند. پلنگ صفر نمونه ای است با ظاهر غیر طبیعی که غیرممکن را ممکن کرده و کلیه خالهایش را از دست داده. چه کسی گفته که پلنگ نمی‌تواند خالهایش را تغییر بدهد؟

من اینک در باره تنوعات حیواناتی که فکر می‌کردم به خوبی می‌شناسم کنجکاو شده‌ام و وقتی که به صاحب فروشگاه برمی‌خورم، خیالم راحت می‌شود. او مرد درشت‌هیکلی است با صورت بزرگ سرخ و دستهای کوتاه چاق. بلوز موهر خاکی رنگی پوشیده و با دوربین دوچشمی و کلاه شکاری اش پز می‌دهد. سوال مرا حدس می‌زند و در جواب می‌گوید "آقا، قبل از این که کلمه ای بیان کنید، به شما جواب می‌دهم که بله همه اینها طبیعی اند. من تضمین می‌کنم، همه به طور طبیعی جهش یافته‌اند. قبول دارم که پیدا کردن ۰ و -۱۲ خیلی سخت بود. ولی بقیه آنها فقط بخشی از یک جنگل طبیعی هستند، آقا، یک جنگل طبیعی. صادقانه بگویم که اگر نگاه نکنید پیدا نمی‌کنید. در سی‌تی آفریبیستز^۹ می‌توانید آنها را بیابید (این نام یک فروشگاه بود). همین‌طور که با عجله دور می‌شود می‌شنوم که غرغرنان چیزی در باره ببرهایی که راهراه‌های اضافه دارند و عنکبوت‌هایی که ۱۶ پا دارند به زبان می‌آورد. ولی خوشبختانه صدای او در صدای اپراتور صندوق دخل خروجی محو می‌شود. دختر مسئول صندوق به من اطلاع می‌دهد که اگر وقت بیشتری صرف کرده بودم یک پلیکان ۲۴۳،۴ مجانی دریافت می‌کردم. سعی می‌کنم وسوسه نشوم و این سوال را مطرح نکنم که این عدد به چه چیزی اشاره می‌کند، ولی در این لحظه می‌فهمم که هر کیت ژن فقط می‌تواند یک موجود کلی را رمزدار کند، یعنی میانگینی آماری از ژنهای طبیعی متنوع گونه خود است. هاپرمارکتی که فقط یک نمونه از هرگونه ژنی را انبار کرده باشد چیزی جز کشتی نوح سترون پسامدرن نیست. حتی نوح هم انقدر هوش داشت که از هرگونه ای دوتا داخل کشتی بگنجاند.

یک کیت ژن تنها جز شکل عمومی گونه خود چیز دیگری را نمی‌تواند نشان بدهد، زیرا افراد یک گونه از نظر ژنتیکی نامتجانس‌اند. در نتیجه کیت ژن‌تها، در بهترین حالت می‌تواند سفیری آماری برای گونه خودش باشد. اما، تنوعات به طور یکنواخت در طول ژنوم پخش نشده‌اند و نواحی معینی، نسبت به بقیه، قابلیت تنظیم بیشتری دارند. هر چقدر گونه ای از

نظر ژنتیکی همگن باشد و هرچه تعداد افراد آن گونه کمتر باشند، تشابه آن با کیت تعمیم داده شده اش بیشتر است. اگر ژنوم همه اعضا گونه ای خاص را کنار هم در یک ردیف بگذاریم می توانیم در هر مکان، رایج ترین تفاوت های آنها را تشخیص دهیم. آنگاه می توانیم ژنومی را که نشان دهنده متوسط آماری کلیه ژنوم های آن جمعیت است بسازیم. این نوع وحشی ژنوم نمایش دهنده ژنوم متوسط یا استاندارد آن گونه می باشد. افرادی را که زنجیره شان از زنجیره ژنوم وحشی متفاوت باشد جهش یافته می نامیم. همه گونه ها، طیفی از زنجیره های جهش یافته را در بر می گیرند که حول نوع وحشی گرد می آیند.

هر شکاف در کروموزوم می تواند با یکی از شکل های دیگر همان ژن پر شود که به آن آلل^{۶۰} می گویند. آلل نسخه ای از ژن است که یک یا چند جهش در زنجیره نوع وحشی آن اعمال شده است. اما هر ارگانیسمی ممکن است فقط یک آلل از مخزن ژن ها بردارد و شکاف خاصی را با آن پر کند. در این صورت آلل برای اشغال شکاف کروموزومی مناسب، با خواهرانش رقابت می کند. در گونه هایی که از طریق جنسی تکثیر می شوند و دو کپی از هر نوع کروموزوم دارند، هر فرد می تواند آلل متفاوتی در شکاف هر کروموزوم داشته باشد. در این حالت آن فرد هتروزیگوس^{۶۱} (ناخالص) نامیده می شود، زیرا ژن مورد نظر و نیز همه سلول های آن موجود دو نسخه از یک ژن دارند. در غیر این صورت اگر عینا همان آلل در شکاف متناظر یافت شود هموزیگوس^{۶۲} (هم تخم یا خالص) خوانده می شود.

مخزن ژن را می توان مانند استخری تصور کرد که پر است از تمام ژنهای جایگزینی که توسط آن گونه قابل دسترسی هستند. می توانیم با اقتباس جالبی از نقاشی دیوید هاکنی تصور کنیم که همه اعضا یک گونه را کنار هم جمع کرده، ژنهای کروموزوم آنها را یکی یکی کنده و بعد در یک استخر شای فیروزه ای درخشان کالیفرنایی پرتاب کرده ایم. وقتی که ژنها را به نوبت جدا می کنیم می توانیم آنها را برحسب شکافی که از آن کنده شده اند مرتب کنیم. می توانیم به هر شکاف مخزن جدایی را اختصاص دهیم و فقط ژنهای خودش را داخل آن بیاندازیم و هیچ یک از بقیه ژن ها را در آن نیندازیم. می توانیم ده ها هزار بدنساز و نیزی استخدام کنیم که ژنها را کتره ای از هر مخزن با یک چوب ماهیگیری که طرح ویژه ای دارد و "چوب ژن گیری" نام دارد و "تور ژن" به انتهایش چسبیده است صید کنند. و وقتی که نمونه های متعددی از هر ژن را از استخرهای اختصاصی صید کردند، زنجیره های آنها را به کارخانه مونتاژ موجودات که دور از ساحل قرار دارد فکس کنند. دستگاه های کارخانه، موجودات جدیدی را بنا بر اطلاعات ژنتیکی که از استخرها صید شده و پایگاه داده زنجیره های ضروری تنظیم کننده دی.ان.ا. که فاقد رمزند سرهم خواهند کرد. اگر صیادان ژن بی طرف باشند و تورهای آنها واقعا به طور تصادفی نمونه ژن های مختلفی را صید کنند، موجودات ساخته شده در این کارخانه همه به طرق گوناگون با یکدیگر فرق خواهند داشت. اما اگر قلابها به نسخه های خاصی از ژنها بهتر بچسبند مخلوقات متمایل به یکسو و طرحهایشان یکنواخت تر خواهد بود.

ظهور پروژه های ردیف یابی (زنجیره یابی) ژنوم و فناوری های اصلاح شده ردیف یابی اجازه می دهد که "آبر استخرهای ژنی"^{۶۳} را مورد توجه قرار دهیم؛ یعنی مخزن ژن فرضی که حاوی ژن کلیه موجودات معاصر و شاید بعضی از موجودات منقرض شده می باشد. می توانیم تصور کنیم که، ژن هر یک از گونه های زنده، از انسان و نهنگ گرفته، تا کفشدوزک، شته، فیل، پلیکان، پنگوئن، کوسه، میمون، ماهی حوض، مار، پلانکتون، ویروس و خمیر مایه را برداریم و همه را باهم در یک پاتیل گنده ژنی بریزیم. گرچه طبیعت معمولاً اجازه تبادل مصالح ژنتیک را در گونه های مختلف نمی دهد ولی لزومی ندارد که روش های مصنوعی پیوند و دستکاری ژن ها محدود و مقید گردند. ابراستخر ژنی تخته رنگ شگرفی را برای طراحان آینده به وجود خواهد آورد تا تصاویر ژنی خود را با استفاده از ژنها رنگ آمیزی کنند. این موجودات متلون که اجزای ژنتیک شان از منابع متعدد فراهم آمده و بهم وصله پینه شده اند، به جای این که در گالری های مرسوم مورد بازدید قرارگیرند در محیط خاصی مستقر خواهند شد. سرانجام، هنرمند های واقعا خلاق ژنتیک خواهند فهمید که دلیلی ندارد خود را به مصالح

^{۶۰} ژنهای ناهمسان مجاور Allele

^{۶۱} Heterozygous

^{۶۲} Homozygous

^{۶۳} Genetic superpool

ژنتیکی که تا کنون توسط تاریخ پیشنهاد شده، محدود کنند. در عوض ترجیح خواهند داد که ژنها و عناصر تنظیم کننده دی. ان. ا. ی جدید و غیر تاریخی بسازند. این ژنهای مصنوعی و عناصر تنظیم کننده، قبل از این که سرانجام در ارگانیزم های واقعی تست شوند، باید با برنامه های کامپیوتری که عناصر زنده را شبیه سازی می کنند تست شوند.

وقتی خرید خود را با موفقیت در هایپرمارکت سی تی آفری بیستز به پایان می رسانم، سرانجام به خانه می رسم. کیت ژن پلنگ +۲ را جلویم روی میز آشپزخانه می گذارم و آماده می شوم که آنرا سرهم کنم. لکن اکنون در این اندیشه ام که بعد از ساختن +۲ ام می خواهم با آن چه کنم. چگونه با آب و هوای انگلیس کنار خواهد آمد و با چه چیزی باید او را تغذیه کنم؟ درحال تفکر به این سوالات و مسائل دیگر متوجه یادداشت کوچکی کنار جعبه می شوم. ذره بینی می آورم و از کلمات ریز آن سردرمی آورم:

سی تی آفری بیست فقط با احتمال ۲۰٪ تضمین می کند که این کیت ژن بعد از ساخته شدن می تواند پلنگ +۲ که عکس آن جلوی جعبه چاپ شده است تولید کند. گذشته از این چنانچه احتمالاً شما از نظر ظاهری شبیه موجودی باشد که جلوی جعبه است با این حال تضمینی وجود ندارد که مثل یک پلنگ معمولی رفتار کند. ما انتظار نداریم که بین رفتار جهش یافته +۲ شما و نوع مرسوم جانور وحشی فرقی وجود داشته باشد. به هر حال اگر +۲ شما رفتاری غیر عادی یا ناهنجار داشته باشد، تقاضا می کنیم که آن را به فروشگاه برنگردانید چون وجه پرداخت شده به هیچ عنوان مسترد نخواهد شد. علاوه بر این آفری بیست متأسفانه نمی تواند مسئولیتی در قبال هر گونه رفتار غیر پلنگانه که کیت ساخته شده +۲ شما نشان می دهد داشته باشد. به علاوه آفری بیست متأسف است که نمی تواند مسئولیت هیچ گونه صدمه ای را که در حین انبارکردن یا حمل و نقل به +۲ وارد شده است، یا فقدان مقاومت به عفونت ها، سایر امراض غیر عفونی یا هرگونه شرایط غیرقابل پیش بینی که ممکن است به خاطر فقدان ارتباط با سایر پلنگ ها برایش پیش آید را به عهده بگیرد. از این گذشته ما نمی توانیم مسئولیت هر گونه صدمه ای که +۲ به اموال خصوصی یا عمومی، به شما به عنوان صاحب آن یا هر فرد دیگری که با او در ارتباط است وارد بیاورد را به عهده بگیریم. گرچه مطمئنیم که +۲ شما شانس خوبی برای جفت گیری و تولید مثل به روش های مرسوم دارد ولی نمی توانیم تضمین کنیم که قادر به انجام این کار باشد. همچنین نمی توانیم تضمین کنیم که در صورت تولید مثل قادر به مراقبت از فرزند خود باشد. در هر حال برای به حداقل رساندن احتمال بالا، سی تی آفری بیست با خوشحالی اعلام می کند که تمام زنجیره به رمز درنیامده و خرده ریزها همراه با دستورالعمل چگونگی اتصال آنها به ژن های مربوطه، در کیت گنجانده شده اند. آفری بیست از این موقعیت استفاده می کند تا از شما برای خریدن این محصول تشکر کند و منتظر خرید های دانی شما در آینده می باشد. قابل توجه: "به زودی از همین مجموعه، پلنگ +۸، بدون دم +۱ و مارک ۷ (فوق سریع) در دسترس شما خواهد بود (تضمین می شود که حد اقل ۵ کیلومتر در ساعت سریع تر از نوع وحشی بود)".

بعد از چند هفته از هایپرمارکت آفری بیست خسته می شوم. انتظاراتم بیشتر می شود و می خواهم که کیت همه جانوران عجیب و غریب را بخرم. روزی به فکر پلاتیپوس^{۶۴} و پنتاپوس^۵ پا افتادم. و بعد، خفاش میوه خوار که از درخت آویزان است و بعد یک حشره چوب کبریتی شبیه چیزهایی که توی مدرسه می دیدیم. حتی احساس می کنم که به گاو میش ها هم دارم علاقمند می شوم. راستی، می دانستید که مردان قبایل تبت^{۶۵} چندین ماه از سال چیزی جز فرآورده های شیر این گاوها برای خوردن و زنده ماندن ندارند. فکر خرسهای قطبی و در حقیقت همه انواع خرس ها که قبلاً ذهن مرا اشغال کرده بود، هنوز هم ادامه دارد. و بعد نوری که از پشت دری های اتاق پذیرایی رد می شود مرا به یاد پارامسیوم جهش یافته^{۶۶} و نیز ماهی مرکبی که از استاد فیزیولوژی محبوبم قرض گرفته ام می اندازد. یک روز بعد از ظهر تصمیم می گیرم که همه این موجودات را بسازم و متوجه می شوم که فقط یک جا هست که می توانم به آن مراجعه کنم. و آن هایپرمارکتی است در شمال نزدیک نیوکاسل یا شاید

^{۶۴} پستاندار آبی و منقاردار و صدفخوار جنوب استرالیا

^{۶۵} Tibetan

^{۶۶} Prawn mutant parametium (*)

هم لیدز، که نامش چنین است "ژن ها محشرند ". بنا براین سوار اتوموبیل می شوم و در حالی که آهنگی را زمزمه می کنم و به صحبت های رادیو ۴ در باره خاریشت ها گوش می دهم ، ساعت ها در آزاد راه می رانم. وقتی به تقاطع نزدیک می شوم و علائم راهنمای "ژنها محشرند " را دنبال می کنم با خودم فکر می کنم : "بله، من حتی مایلم یکی از آنها را هم درست کنم". بالاخره می رسم و خودم را در فروشگاههای بسیار بزرگتر از " سی تی آفری بیست " می یابم.

در حالی که ریل برقی متحرک از بخش حشرات می گذرد که به نظر می رسد تا ابد ادامه دارد ، با خود فکر می کنم " این مکان واقعا عظیم است". تصاویر حشرات عجیبی که می خزند و سینه مال می روند مانند اشکال کریه ناخوشایند از کنار جعبه ها بیرون آمده اند و به من خیره شده اند و به سرعت برانگیخته می شوند. اما من تصمیم می گیرم که کیت حشره چوب کبریتی نخرم. جلوتر و جلوتر می روم و سنجاک و مورچه و کفشدوزک ها را که خالهای گوناگونی دارند پشت سر می گذارم. و بعد ساس و سوسک های دیگر و حشره بزرگ بدون بالی شبیه زنجره دیناکریدا هتراکاندا^{۱۷} که در نیوزیلند یافت می شود و پسر عمویش که روی درخت زندگی می کند به نام همی دینا کراسیدنس^{۱۸}. با نومیادی از خود می پرسم : "آیا هیچوقت تمام می شود؟" و به زودی وقت ناهار می رسد و کمی احساس گرسنگی می کنم. ولی چیزی که می ببینم فقط حشره است و باز هم حشره که در تمام جهات گسترده شده است. خانمی که نزدیک من است به شکل نگران کننده ای شروع به بیرون کشیدن کیت های کرم پروانه از داخل قفسه می کند طوری که مجبور می شوم به طرفش برگردم و بگویم " لطفاً یک کمی آهسته تر ". همچنان که ریل برقی مرا همراه می برد، بی رغبت از کنار عنکبوت ها و عقربها رد می شوم و ناچار خودم را تسلیم زمزمه خفیف ریل می کنم. کم کم آرزو میکنم که ایکاش هرگز داخل این فروشگاه نشده بودم، چون این فروشگاه کیت ژن همه گونه های زنده را دارد. کاش موقع ورود فقط یک نقشه به من می دادند. به خاطر می سپارم که شکایت نامه ای برای مدیر بفرستم ولی بعد چیز دیگری حواسم را پرت می کند. دریای پروانه ها چشمم را خیره می کند و باعث می شود که طرحهای تکه پاره شده حشرات رنگارنگ به طور عجیبی در سر من شروع به رقصیدن کنند.

هنگام عصر خیلی خسته ام. و متوجه می شوم که هنوز دارم باسرعتی ثابت ولی کم، غرغر به طرف جلو حرکت می کنم. خانم پهلویی من روی تختخواب موقتی که با جعبه های کرم صد پایش درست کرده به سرعت به خواب رفته است. با خودم فکر می کنم که چه خوب شد که قبل از این که ما به بخش هزارپا و هزارپای علف خوار برسیم او انرژی خود را برای خرید صرف کرد. سریعاً به بخش خرسها می رسیم. و بالاخره صبر من نتیجه می دهد و من آخرین کیت ژن خرس قطبی را که در فروشگاه مانده است می خرم. زیر لب غرغر می کنم : " بالاخره من هم چیزی یافتم ". ولی به نظر نمی رسد که خرید من باعث شده باشد که جعبه های هندسی که ردیف به ردیف قرار دارند، از یکنواختی در آمده باشند.

طولی نمی کشد که به بخش سگ ماهی می رسیم و من متوجه می شوم که در حال شمردن سی و پنجمین گونه هستم و شروع به تکرار نام آنها می کنم تا به این ترتیب وقت را بگذرانم. هیپوکامپوس اینژن، هیپوکامپوس ارکتوس، هیپوکامپوس زوسترا، هیپوکامپوس رایدی، هیپوکامپوس فوسکوس، هیپوکامپوس هیپوکامپوس، هیپوکامپوس کومس، هیپوکامپوس بیستریکس، هیپوکامپوس برویسیس، هیپوکامپوس براگی باتنی و غیره و غیره. یاد بازی های مهد کودک می افتم که گوسفندان را می شمردیم. به نظر نمی رسد که این صف تمام ناشدنی سگ های آبی مرا به خواب ببرد. ولی اشتباه کردم. خیلی زود چشم هایم روی هم می افتد و اسامی سگ های آبی با اسم هزاران جانور دیگر درهم می آمیزد.

وقتی صبح روز بعد بیدار می شوم، متوجه می شوم که دارم به بخش کاکتوس نزدیک می شوم ، که نفر جلویی فکر می کند این بخش به در خروجی نزدیک است. از دور، کم کم صندوق ها دیده می شوند. در واقع صدها هزار صندوق دیده می شود. پول کیت ژن خود را پرداخت می کنم و آنجا را ترک می کنم و خدا را شکر می کنم که از بخش های " دنیای درختان " و

^{۱۷} Dinacrida heteracantha
^{۱۸} Hemideina crassidens

" شهر جلبک " اجتناب کرده ام، ولی بسیار خسته و گرسنه ام. وقتی به پارکینگ می رسم متوجه می شوم که بلیطی به من داده اند. وقتی که به طرف خانه می روم با خود فکر می کنم که بهتر است سرگرمی جدیدی پیدا کنم.

موفق می شوم که برای هفته ها به کیت ژن فکر نکنم. ولی بعداً برنامه ای که از تلویزیون در باره تخم دایناسور پخش می شود علاقه مرا به حیات از دست رفته بیدار می کند و به زودی سرم انباشته از " دودو"^{۶۹}، ببر دندان شمشیری، تروسانور و ماموت می شود. فیلم پارک ژوراسیک را از مغازه ویدئو فروشی می گیرم و بارها تماشایش می کنم. واقعا دایناسورهای توانستند آنقدر تند بدوند؟ حریصانه در باره شهاب سنگها و انقراض های بزرگ و موجودات عجیب و از بین رفته کوهستان راکی که دینومیشوس^{۷۰} و ویواکسیا^{۷۱} نام داشتند واجسادی که چند ردیف ستون فقرات مطول داشتند، مطالعه می کنم. می خواهم یک تریلوبیت بسازم. مجله ای را باز می کنم و ضمن دنبال کردن مقاله ای در مورد کاسیوس^{۷۲}، یک نوع کروکودیل پوروسوس^{۷۳} که در گودالی پر از خرز زندگی می کند و بزرگترین کروکودیل در اسارت است، مقاله دیگری در باره دایناسورها می بینم. این مقاله در باره کارچارودونتوسانوروس^{۷۴} است که در صحرای آفریقا زندگی می کرده است و اسکلتی چندین اینچ بلند تر از تیرانوسانوروس رکس^{۷۵} داشته و می توانسته طعمه ای به اندازه آدم را با یک گاز بلعد.

به زودی معلوم می شود که کجا باید بروم. باید دنبال آدرس " فسیل شده ها و همه ذره هایی که به دنیا نیامدند " بگردم. ولی با وحشت متوجه می شوم که ظاهراً فقط گوشه ای از هایپرمارکت بزرگی است که " فضای ژن " نام دارد. فروشگاه همه کیت های ژن ممکن، فروشگاههای که همه انواع طرح های دی.ان.ا. موجوداتی را که روزی توانسته اند، یا شاید اکنون یا در آینده بتوانند در فضای کائنات راه بروند، بخزند، شنا کنند، شناور شوند، پرواز کنند، بلرزند، جمع شوند، بدوند، بال بزنند، وزوز کنند یا چرخ بخورند، انبار کند. توی دفترچه تلفن دنبال نشانی " فضای ژن " می گردم و می بینم که شامل چندین کشور می شود. درواقع وقتی که سوار اتوموبیل می شوم هنوز ساختن آن ادامه دارد. درواقع بخش عمده زمین های کره زمین با هایپرمارکت پوشیده شده است که اینک هستی کیت قبلی حیات را تهدید می کند. به اندازه کافی نگران پاندیت ها (فقهایی برهمایی) و چینی ها هستند و تظاهرات خیابانهای مسکو و نیز صحبت جنگ چین جریان دارد. اتوموبیل در بزرگراه با صرف مایلها در دقیقه به پایین می خزد. من برای مدتی که مانند قرون سپری می شود رانندگی و بازهم رانندگی می کنم و ناگهان خودم را در تاریکی مطلق می یابم. به نظر عجیب می رسد زیرا هنوز روز است و فقط چند لحظه قبل آفتاب درخشانی مرا محاصره کرده بود. به روبرویم می نگرم و از فاصله خیلی دور طرح یک ساختمان عظیم خاکستری را می بینم که به نظر می رسد مایلها در همه جهات و نیز در بلندای آسمان امتداد پیدا کرده است. زود متوجه می شوم که اینجا " فضای ژن " است. فروشگاه همه فروشگاهها. هایپرمارکت بزرگی مرکب از همه هایپرمارکت های کیت دی.ان.ا.

^{۶۹} Dodo (۷*)

^{۷۰} Dinomischus

^{۷۱} Wiwaxia

^{۷۲} Cassius

^{۷۳} (۸*) Crocodylus porosus

^{۷۴} Carcharodontosaurus

^{۷۵} Tyrannosaurus rex

توضیحات فصل اول

۱- توطئه باروت Gunpowder Plot

نام توطئه‌ای در ۱۶۰۵ بود که گروهی از کاتولیک‌مذهبیان قصد ترور شاه جیمز اول را در روز بازگشایی مجلس در پنجم نوامبر همان سال به وسیله منفجر کردن شبکه‌های باروت در سردابه زیر ساختمان مجلس در کاخ وست‌مینستر داشتند.

گای فاکس، سرباز انگلیسی کاتولیک‌مذهب که به دلیل تعصبات مذهبی و مورد آزار قرار داشتن کاتولیک‌ها، انگلستان پروتستانی را ترک و به ارتش اسپانیا در هلند پیوسته بود در ۱۶۰۴ به دعوت رابرت کیتسبی، آمر اصلی توطئه باروت، به او و گروهش در انگلستان پیوست و پس از اجاره سردابی که تا زیر کاخ وست‌مینستر امتداد داشت آنجا را با ۳۶ بشکه باروت (برخی منابع این تعداد را کمتر گفته‌اند) پر کرد تا آنها را در روز افتتاح پارلمان در ۵ نوامبر ۱۶۰۵ منفجر سازد. این‌حال نقشه آنها پیش از انفجار کشف و خنثی گردید و گای فاکس که دستگیر شده بود پس از تحمل شکنجه و ادار به لو دادن نام هم‌دستانش شد. رابرت کیتسبی به ضرب گلوله‌ای به‌هنگام مقاومتش در برابر دستگیری کشته شد اما دیگر دسیسه‌چینان دستگیر و همراه با گای فاکس، در ۲۷ ژانویه ۱۶۰۶ از سوی هیأتی ویژه محاکمه و محکوم به مرگ گردیدند و چند روز بعد در ۳۱ ژانویه همان سال در مقابل ساختمان پارلمان اعدام شدند.

۲- یوکاریوت

یوکاریوتها یا هوهسته‌ها یاخته‌هایی هستند که در آنها ماده ژنتیکی در یک غشا محفوظ شده که هسته نام دارد. موجودات پرسلولی همگی یوکاریوت هستند و در مقابل یوکاریوت گروهی به پروکاریوت یا پیش هسته قرار دارد که در این‌ها ماده ژنتیکی به طور آزادانه درون سیتوپلاسم قرار دارد. هوهسته‌ها دارای کروموزوم خطی هستند و اندامک‌های غشاداری مانند میتوکندری نیز دارند. ریبوزوم‌های سلول‌های هوهسته‌ای یچیدگی بیشتری نسبت به ریبوزوم‌های سلول‌های پیش هسته‌ای (پروکاریوتی) دارند و کمی بزرگترند.

۳- لنفوسیت‌های بی، B cell

لنفوسیت‌هایی از سیستم ایمنی بدن هستند که در مقابل پاتوژن‌هایی مثل ویروس‌ها پادتن تولید می‌کنند. این لنفوسیت‌ها در ایمنی هومورال نقش دارند که همراه با ایمنی سلولی، مکانیسم دفاع اختصاصی را تشکیل می‌دهند. لنفوسیت‌ها به طور اختصاصی عمل می‌کنند، یعنی یک نوع خاصی از عوامل بیگانه را شناسایی و از بین می‌برند. لنفوسیت‌های بی نقش بزرگی در ایمنی هومورال (در کنار آن پاسخ ایمنی سلولی قرار دارد که توسط لنفوسیت‌های تی مدیریت می‌شود) دارند. کارکرد اصلی لنفوسیت‌های بی تولید پادتن علیه آنتی‌ژن‌ها، ایفای نقش به عنوان سلول‌های ارایه دهنده آنتی‌ژن (ای پی سی)، و در نهایت تکامل یافتن به سلول‌های بی خاطره پس از فعال شدن توسط برهم‌کنش‌های آنتی‌ژنی است. سلول‌های

خاطره در برخورد مجدد با همان آنتیژن پادتن بیشتری را در مدت زمان کوتاه‌تری تولید می‌کنند. لنفوسیت‌های بی جزء اساسی سیستم ایمنی تطابقی است.

۴- اسامی انگلیسی مربوط به صفحه ۲۳

Saccharomyces cerevisiae
Caenorhabditis elegans
Echerchia coli
Synchocystis
Helicobacter pylori
Aquifex aeolicus
Mycobacteria tuberculosis
Treponema pallidum
Chlamydia trachomatis
Rickettsia prowazekii
Bacillus subtilis
Methanococcus jannaschii
Methanobacteriumthermoautotrophicum delta H
Archaeoglobus folgidus

۵- موتیف Motif

یک زنجیره مشخص در روی پروتئین یا دی ان ا که ساختاری سه بعدی دارد که اجازه می دهد برهم کنش های مربوط به اتصال رخ دهد.

۶- پارامسی

پارامسی‌ها پروتوزوئ‌های تک سلولی (یونی سلولار) هستند و در شاخه مژه داران و سلسله پروتیستا طبقه بندی می‌شوند. آنها در آب‌های آرام و آبگیرهای راکد زندگی می‌کنند و بخش اصلی زنجیره غذایی را تشکیل می‌دهند. آنها از پسمانده جلیبکها و سایر موجودات ریز تغذیه می‌کنند و خودشان توسط موجودات کوچک دیگر خورده می‌شوند. تمام اعضای شاخه مژه داران (سیلیوفورا) به وسیله برآمدگی‌های ریز مو مانندی که مژه نامیده می‌شود حرکت می‌کنند. پارامسی قادر نیست شکل بدنش را مانند آمیب تغییر دهد زیرا غشای (پوسته ی) بیرونی ضخیم و سختی به نام پلیکل دارد. پلیکل غشای سلولی را فرا می‌گیرد.

۷- دودو dodo

پرنده ای که قادر به پرواز نبود و اکنون منقرض شده است. این پرنده اولین بار در ۱۵۰۷ توسط ملوانان پرتغالی در جزیره موریس (جزیره ای در اقیانوس هند) دیده شد. این پرنده در ۱۶۸۱ توسط انسان و حیوانات منقرض شد. وزن آن حدود ۲۳ کیلوگرم بود و پروبال آبی خاکستری داشت.

۸- کروکودیل پوروسوس Crocodylus porosus

کروکودیل مصب رودخانه مربوط به آسیای شرقی و جزایر اقیانوس آرام

ساختار "فضای ژن"

در رویای اولم بالهای کوچکی از پهلوهام سبز می شود. مانند شخصیت کتاب کافکا بیشتر و بیشتر مسخ می شوم. تا این که بالاخره در ارتفاعات به پرواز در می آیم. در ارتفاعات *فضای ژن*. چه بلایی سرم آمده است؟ یعنی به چه چیزی دارم تبدیل می شوم؟ پاهایم به سم تبدیل می شوند و پوستم به رنگ سبز زمردی خالدار در می آید. نورچشمم را کور می کند. و بعد ناگهان از بالا و سپس از پهلو ها جوانه می زنم. هزاران تصویر پرواز کنان از کنارم می گذرند. و وقتی سرانجام متوقف می شوم با دریایی از مارهای ازکوره در رفته محاصره می شوم که تا جایی می بینم در تمام جهات می رقصدند. با چشمان جدید حشره ای خود به نظرم می رسد که دنیا به شکلی غیرقابل باور در فضایی صُلب زندانی شده است. اینک من به جای یک تصویر، هشتصد قاب پنجره با تصویر یکسان مشاهده می کنم. هربار که چشمک می زنم تعداد این تصاویر دو، سه و یا چهار برابر می شود. سعی می کنم جهت را درست کنم ولی همه چیز پشت و رو به نظر می رسد. توی کله ام دارند پتک می زنند و از وزوز حرکت بالهایم کر شده ام.

از خواب بیدار می شوم و تصاویر کم کم ناپدید می شوند و می بینم که به یک قطعه کش بی انتهای نرم چسبیده شده ام. و دارم بالا و پایین و بازهم بالا و پایین می برم. و جعبه های فراوان براق که محکم بسته بندی شده اند مثل چرخ و فلک دور من می چرخند. لحظه ای در مقابل دیواری از ببر های دندان شمشیری متوقف می شوم. در پهنه تاریک و بی کران این گنبد که در گرداگرد من، به بالا و پایین گسترده است، نیشخند موزیانه ببرها عجیب و تهدید آمیز است. یک لحظه بعد در دریایی از پرندگانی شبیه پلیکان به سرعت حرکت می کنم و بعد درون چشم اندازی هستم که مملو از موجوداتی بسیار عجیبی است که تابه حال شبیه شان را ندیده ام. و بعد، در فضای سوسک ها هستم که بدون شک کوچکترین کنج *فضای ژن* است. خودم را در دریای بیکرانی از غلاف های براق سوسک ها می بینم. شبیه کاپوت فولکس واگن خمیده است، همراه با صدهزار تریلیون پای سوسک که همه هم آهنگ ضربه می زنند. از این که می بینم در حق من یک چنین بی حرمتی را روا نداشته اند که یکی از این موجودات بخت برگشته باشم احساس آرامش می کنم.

در هر لحظه، چشم انداز جدیدی می بینم. اکنون در دیار جانوران افسانه ای هستم. مانند پرنده شکاری، بلند پرواز و چرخ زنان در آسمان بلند، به پایین و به صف بی پایان جانوران می نگرم. هر چه بالا و بالاتر پرواز می کنم هوا رقیق تر می شود. و بعد ناگاه خودم را درحال لغزیدن درون سوراخی می بینم که به جایگاه قنطورس منتهی می شود. بینایی ام به طور فزاینده ای قوی می شود تا این که می توانم جزئیات دقیق موجودات پایین پایم را ببینم. کمی جلوتر خود را در دره ای که جانوران واهی در آن سکنی گرفته اند می بینم. شیرهایی با پنجه های عقاب مانند و منقار، گرگ هایی با عاج فیل و ماهی های مارپیچ که پا و شاخهای خمیده غیر عادی دارند. در گوشه ای یک تابلوی راهنما می بینم که نوشته است: *به طرف دریای موجودات غیر ممکن*. ولی اینک زیر پای من دریایی است از جانوران شبیه میمون با کوهان هایی شبیه شتر و موهای بلند کرک شده. تعداد بیشماری از آنها مانند گله حیوانات وحشی که ناگهان در مسیر خود منجمد شده باشند به صف ایستاده اند.

با توجه به ترس وحشتناکی که دقایقی قبل بر من چیره شده بودشایسته نیست که اکنون احساس پریشانی کنم، زیرا در قفسه جلوی رویم جعبه های بی رنگ و بی شکل قرار گرفته است. روی هر یک از آنها به دنبال نام یا تصویری هستم ولی چیزی نمی یابم. سپس مدتی طولانی که به نظرم ساعتها می رسد باز هم جعبه و جعبه دیده می شود. جعبه های تیره و تار و

بدون رنگ و بدون هیچ نوشته یا تصویری. حیرانم که آیا این سفر هرگز تمام می شود یا این که تا ابد ادامه خواهد داشت. ای کاش می توانستم راه خروجی پیدا کنم. مطمئناً هر چیزی، حتی *فضای ژن* آغاز و پایانی دارد.

اکنون هوا آنقدر تاریک است که به سختی می بینم. و در این مغاک هولناک، فقدان حیات را شدیداً احساس می کنم. سکوت بر این مکان آرام و ساکن سایه افکنده است و من، به زودی باید برای پیدا کردن راه، کورمال کورمال دست به دیوار بکشم. بالهای ناقص من که اکنون دوباره پدیدار شده اند، تاب برداشته و مجاله شده و کاملاً بلا استفاده شده اند. الان نزدیک است از *فضای ژن* بیافتم. و همان طور که می افتم ذهنم تنها مجذوب یک فکر است. به سازماندهی فکر می کنم. آیا نوعی سازماندهی وجود دارد؟ هبوط من ادامه پیدا می کند و دریک آن قادر می شوم که از علامتی سر در بیاورم که نوشته "لجن بدوی". تازه می فهمم که به کجا رسیده ام. جایی نزدیک آغاز. آغاز حیات و آغاز ژن. و خودم را قانع می کنم که اگر نزدیک آغاز هستم پس شاید شانس برای فرار داشته باشم. ولی به نظر می آید دارم کوچک و کوچک تر می شوم. آنقدر کوچک که مطمئناً به زودی ناپدید می شوم.

در رویای دوم که بعداً متوجه می شوم یک اخطار قبلی بوده، به نظرم می رسد که در داخل کپسول شیشه ای در حال حرکت قطری در *فضای ژن* هستم. اما، اینجا به هیچ وجه *فضای ژن* نیست و کاملاً با آن متفاوت است. چهار مرد و یک زن داخل کپسول هستند که همه مناسب هوای آفتابی لباس پوشیده اند. خانم، کلاه آفتابی فروشگاه آسکوت را بر سر گذاشته است. مردها، به غیر از آن که لباس شب پوشیده و کراوات سیاه زده است، بقیه کلاه حصیری و کت بلیزر پوشیده اند. یک نفر ژاکت فلاتل پوشیده است. سعی می کنم قسمت سبز نوار بلیزر را بخوانم ولی نامش از چشمم دور می ماند. مردی توت فرنگی در دست دارد. دیگری به طور غیر قابل کنترلی می خندد. زن به فکر تیم ویمبلدون است. و بعد روی چمن خانه بیلاقی بد مینتون بازی می کند و لیمونادی را مزمره می کند.

در حالی که اسبها کنار رودخانه شیشه می کشند و روباه دست پاچه فرار می کند، مرد فلاتل پوش می گوید "باید روز خوبی برای تیراندازی باشد". در این حین خانم از دستشویی برگشته است. او درست در زمان مناسب برای نیمه دوم رسیده است. از بلند گو اعلام می کنند: "خانمها و آقایان، ممکن است لطف کنید و در جای خود بنشینید، چرا که به زودی نیمه دوم برنامه شروع می شود". پرده بالا می رود و زمانی که نیمه دوم برنامه "صیادان مروراید" آغاز می شود، خواننده سوپرانو در میان تماشاچیان لبخند می زند. با خودش فکر می کند که کاش کمی بیشتر نوشیده بود ولی الان هم سردماغ است. و علاوه بر آن، او از آغاز زمان مشغول تماشا کردن نیمه دوم بوده است. از این که روژ لبش را تجدید کرده خوشحال است.

وقتی پرده بالا می رود زن با خود می گوید که من همیشه با کمی روژ لب بهتر به نظر می آیم. مردی که سمت چپ او نشسته بلند سرفه می کند و زنش کفش را زیر رو می کند. اما علیرغم این که او پانزده میلیارد سال مشغول جستجو بوده، ولی چیزی را که جستجو می کند نمی یابد. مردی که بلیزر آبی کم رنگی پوشیده است زیر آفتاب دراز کشیده است. گیلای شراب سفید گازدار در دست چپ او است. پدرش در کمپاتی هند شرقی کار می کرده است. کارش را در پوندیچری^۱ شروع کرده ولی در شیکاگو به آن پایان داده بود. امتیاز صد و هجده در برابر شش است. آسمان آبی می درخشد و درختان نارون سایه های درازی روی زمین سبز پهن کرده اند. وقتی که توپزن بعدی به خط می رسد تشویقش می کند. خوب گرفتیش. به طرف تماشاچیان که در بار جمع شده اند فریاد می کشد: "هورا". در حین این که گروه شکارچی دارد روباه را گیر می اندازد و سگ های سریع شکاری باهم مسابقه می دهند، مرد فلاتل پوش به نظرش می رسد که منشوری را می بیند. همین طور که به منشور نگاه می کند نور می شکافد و تصویر رنگی چهار مرد و یک زن دیده می شود. یکی از این مرد ها تصور می کند که در یک سالن سخنرانی نشسته است. پروفیسور با عصایش به تریبون ضربه می زند و و سپس به پروژکتور بالای سر اشاره می کند. در حالی که بر کلمات "ساختار لحظه ها" در روی صحنه نورافکنده می شود، دستگاه غرغزو وزوز می کند و و ذرات گرد و خاک در نور

^۱ Pondichery. (*۱)

می رقصند. و بعد دوباره به تالار نمایش برمی گردم و درست زمانی به آنجا می رسم که می بینم خانمی از دستشویی برگشته است. لبهای قرمز زنده است. به ارکستر که مشغول کوک کردن ساز هایشان هستند گوش فرا می دهم و سپس اعلام برنامه: "خانمها و آقایان، لطف کنید و در جای خود بنشینید، چرا که به زودی نیمه دوم برنامه شروع می شود".

در رویای سوم که از همه کوتاه تر است، کیت ژنی را از قفسه بر می دارم و سخت تکان می دهم. بسیار سبک و به نحو غریبی خالی به نظر می رسد. وقتی بازش می کنم، یک ژن تنها بیرون می افتد. اینک بالهایم ناپدید شده اند و من برای این که با وسیله متداول تری جابه جا شوم فوراً تغییر شکل می دهم و وارد یکی از آسانسورهای شیشه ای می شوم. تماس پاهایم با زمین از بین می رود و به زودی شناور می شوم. وقتی در فضای ژن به بالا حرکت می کنم نمی توانم بگویم که کجا هستم. نمی توانم جای دقیقی را ذکر کنم. ولی مانند دفعه قبل، قفسه های بی شمار این بایگانی که حاوی غیر ممکن های منطقی است، پر از صد ها و هزارها جعبه بدون تصویر است. و با توجه به این که من همین اخیراً در ناحیه "لجن بلوی" بودم، حدس می زنم که هنوز در همان ناحیه هستم. ظاهراً، کتابدار های فضای ژن گروه منضبطی هستند و مجموعه ها را طوری مرتب کرده اند که هر کیت ژن با کیت ژن مجاورش مربوط باشد.

اولین و سومین رویایم اندیشه ای کلی را در مورد فضای ژن مطرح می کنند که وسوسه انگیز است. لکن دومین رویا به فضایی بسیار عجیب تر از فضای ژن اشاره می کند، چون این هابیر مارکت غیرعادی نه تنها شامل مجموعه کامل کلیه موجودات ممکن است بلکه همچنین مجموعه کامل همه رویدادهای ممکن را نیز در بر می گیرد. در فضای "کلیه رویدادهای ممکن" مجموعه مختصات ریاضی رویدادها نیز، مانند کیت ژنها ذخیره می شوند. هر جعبه شامل نسخه های متفاوتی از یک رویداد است و هر مجموعه رویداد ممکن تا ابد وجود دارد.

اکنون می خواهم آناتومی فضای ژن را مورد بررسی قرار دهم. این کار به ما کمک می کند که در پهنه وسیع و ناشناخته فضای ژن حرکت کنیم و آن را ببینیم، و فرآیندهایی را که به ما اجازه این کار را می دهند بهتر درک کنیم. گرچه فضای کلیه کیت های ژن را فضای ژن نامیده ایم، ولی اگر بخواهیم دقیق تر باشیم، باید بگوییم فضای زنجیره های دی ان اویا به طور ساده فضای دی ان ا. چون، بیشتر زنجیره های موجود در این فضا ژن را به رمز در نمی آورند. با این حال، فعلاً از اصطلاح فضای ژن که مورد قبول ماست استفاده خواهیم کرد.

اگر سوال شود که فرق بین خرس های کوالا و شترمرغ در چیست، می توان پاسخ داد که خرس های کوالا موجودات کوچک و پشمالویی هستند که روی درختان صمغ زندگی می کنند و در استرالیا یافت می شوند در حالی که شترمرغ موجود بزرگ و بد قواره ای است که پرهای سیاه و سفید دارد و در آفریقا یافت می شود. اما ممکن است شخص دیگری ترجیح دهد که پاسخ دقیق تری بدهد و به تفاوت زنجیره های دی ان ا. ی آنها با هم اشاره کند. این تفاوت ها را با دو روش ساده می توان مشخص کرد.

اولین روش این است که تعداد بازهای موجود در مجموعه کامل کروموزم های شترمرغ و کوالا را بشماریم و سپس آن ها را باهم مقایسه کنیم. در این صورت می توانیم بگوییم که تعداد بازهای ژنوم کوالا این تعداد بیشتر یا کمتر از شترمرغ است. دومین روش این است که کروموزمهای شترمرغ را بگیرم و ردیف یابی کنیم. اگر از اولی شروع کنیم، می توانیم مثل دانه های چرتکه، هر بار یکی از بازها را یکی به طرف چپ جا به جا کنیم. اگر با این روش تا انتهای گردنبند پیش برویم می توانیم نام همه بازهایی را که با آن روبرو می شویم فوراً یاد داشت کنیم. در انتها، چیزی که روی کاغذ می بینیم شبیه این است: TTGACGC و غیره. اگر طبع خلاق داشتید، می توانستید ماشینی بسازید که این کار را برای شما انجام دهد. با دادن زنجیره شترمرغ، دستگاه می تواند به طور اتوماتیک یک باز را بیرون بیاورد و بعد از ثبت ارزش آن به سراغ باز بعدی برود. زنجیره کوالا هم می تواند به همین روش وارد دستگاه شود، و بعد از این که زنجیره هر دو موجود مشخص شد می توان آنها را کنار هم گذاشت و به راحتی آنها را مقایسه کرد.

فرض کنیم که کوالا با یک ژنوم کوچک به طول شش باز مشخص می شود که عبارتند از: TTCACG در حالی که شتر مرغ با ژنومی به طول هشت باز مشخص می شود به این شکل: TTGACGAT. اگر این دو زنجیره کنار هم گذاشته شوند تفاوت های شتر مرغ و کوالا می توانند به طور واضح بیان شوند. در این مثال شتر مرغ دو باز اضافی دارد (یک A و یک T به ترتیب در مکان های ۷ و ۸) و G ی واقع در مکان ۳ ی ژنوم شتر مرغ با یک C در ژنوم کوالا جا به جا شده است.

توجه به تفاوت زنجیره دی.ان.ا ی این دو موجود، فقط به دلیل دقت ویا اقتصادی بودن آن مهم نیست بلکه از این نظراهمیت دارد که به ما اجازه می دهد گامی پیش تر بنهیم. زمانی که تفاوت های بین کوالا و شتر مرغ را مشخص کردیم به راحتی متوجه می شویم که روش معینی را برای تبدیل یکی از آنها به دیگری به دست آورده ایم. به عنوان مثال برای تبدیل کوالا به شتر مرغ تنها چیزی که نیاز داریم این است که C موجود در مکان سوم در زنجیره کوالا را با یک G عوض کنیم و یک A در مکان هفت و یک T در مکان هشت قرار دهیم. می توان فرض کرد که دستگاه تیریل کننده جهانی ژنی وجود دارد که قادر است هر باز مشخصی را در یک زنجیره با یک باز دیگر جایگزین کند. همچنین قادر است که هر تعداد باز را به یک زنجیره اضافه کند یا از داخل آن بردارد. با داشتن چنین ماشینی قادر خواهیم بود برنامه ساده ای بنویسیم که کوالا را به شتر مرغ تبدیل کند. دستگاه می تواند هر نوع زنجیره دی.ان.ا از فضای ژن را به عنوان ورودی بپذیرد. همچنین هر یک از دستورالعمل های مورد نیاز برنامه را اجرا کند. اگر زمان کافی و تعداد نامحدودی باز داشته باشیم، دستگاه می تواند هر زنجیره دی.ان.ا از فضای ژن را به زنجیره دیگری تبدیل کند. این کار را قاعده کلی قابلیت تبدیل می گذاریم .

منظور از "رویه قاعده مند" دستورالعمل هایی است که برای انجام ترادیدی ها^۲ (تغییر شکل ها) باید به دستگاه خورنده شود. این دستورالعمل ها ممکن است به شکل زیر باشند: (۱)- به مکان ۴ زنجیره برو (۲) - T را پاک کن و به جای آن A بگذار. (۳) برو به مکان ۱۲. (۴) - G را پاک کن و به جای آن C بگذار. (۵)- برو به مکان ۸۷. (۶)- چهار تا G در آن مکان بگذار. (۷) - متوقف شو. مجموعه ای از چنین دستوراتی را الگوریتم می نامند.

در مثال بالا، روند تبدیل زنجیره کوالا به زنجیره شتر مرغ، الگوریتم "کوالا به شتر مرغ" (KOCA)^۳ نامیده می شود. همچنین می توانیم الگوریتم های دیگری را فرض کنیم که توسط دستگاه ما اجرا می شوند مانند: تبدیل کرگدن به آرمادیلو (RACA) یا تبدیل زرافه به لاک پشت (GTCA)، تبدیل دندلیون به پنگون (DPCA) یا ماهی خاردار به کوسه (SSCA). در هر صورت نیازی نیست که خود را به موجودات آشنا محدود کنیم. ممکن است بخواهیم کرم شب تاب را به فلامینگدن که موجودی خیالی تبدیل کنیم که ترکیب فلامینگو و کرگدن است. معلوم نیست که دی ان ا ی چنین موجودی در فضای ژن وجود داشته باشد. اما اگر ارتباط بین زنجیره و ریخت موجودات را بهتر درک کنیم، می توانیم خصوصیات شبه فلامینگدن ها را در فضای ژن جستجو کنیم تا بتوانیم ژنوم های مناسب را صید کنیم و سپس این ژنوم ها را به کار بیاندازیم تا ببینیم چه چیزی تولید می کنند.

به این ترتیب به نظر می رسد که هر کیت در فضای ژن با همه کیت های دیگر در همین فضا توسط شبکه غول پیکری از الگوریتم های تبدیل مرتبط باشد. بنابراین، تغییر مکان در فضای ژن با اجرای الگوریتم مناسب به وقوع می پیوندد. به این ترتیب، دستگاه جهانی تبدیل ژن، موتوری است که اجازه می دهد در فضای ژن به سیاحت بپردازیم. اگر این دستگاه به اندازه کافی قدرتمند باشد می تواند مخزن عظیمی از الگوریتم های تبدیل را در باتک حافظه خود داشته باشد. ممکن است بخواهیم هنگام وارد کردن زنجیره دی ان ا ی جوجه تیغی به دستگاه، کلمه خوک را تایپ کنیم. بعد از مقداری ناله و غرغر

^۲ Transformation استحالته، تغییر شکل

^۳ Koala ostrich conversion algorithm

دندانه های دستگاه که مشغول اضافه کردن، حذف و جایگزینی هستند، کیت ژن قدیمی از بین می رود و جعبه جدیدی جای آن را می گیرد که تصویر خوک بر روی آن است.

فضای ژن شامل همه زنجیره های دی ان ا با هر طول و هر ترکیبی است. فرض می کنیم که این فضا طوری مرتب شده است که زنجیره های مشابه کنار هم و در یک خوشه جا گرفته اند. طول زنجیره های دی ان ا می تواند از یک باز تا بی نهایت باز، متفاوت باشند. گرچه در عمل احتمال دارد که فاکتورهای گوناگونی طول آنها را محدود کند. در ناحیه مربوط به زنجیره های بسیار بزرگ، در انتهایی که شامل زنجیره های کوچکتر است، با بریدن کروموزوم ها به قطعات کوچکتر مشکل طول اضافی حل می شود. ظاهراً استراتژی طبیعت نیز همین است، چون موجوداتی که ژنوم طویل دارند چندین کروموزوم دارند. اما، در انتهای دیگر این ناحیه که شامل زنجیره های بزرگتر است، محدودیت هایی جدیدی نقش بازی می کنند. مثلاً، حجم هسته تعداد دی.ان.ا های جای گرفته در آن را محدود می کند. منابعی که سلول می تواند برای اصلاح دی.ان.ا و مراقبت از آن اختصاص بدهد نیز محدود است. نتیجتاً ممکن است در ژنوم هایی که بزرگتر از اندازه مشخصی هستند بازده عمل مرمت دی.ان.ا کاهش یابد. اما، شاید بتوان اندازه هسته را طوری تغییر داد که حجم های بزرگتری از دی.ان.ا را در خود جای دهد. همچنین شاید بتوانیم به طور مصنوعی مرمت دی.ان.ا را کارآمدتر کنیم.

تعداد ترکیبات مختلفی را که با یک زنجیره دی ان ا ساخته می شوند می توان به آسانی محاسبه کرد. برای زنجیره ای با یک باز 4^1 یعنی ۴ ترکیب (T یا C یا A یا G) و برای زنجیره ای با دو باز، تعداد 4^2 یعنی ۱۶ ترکیب می توان ساخت. به روش مشابه برای زنجیره سه تایی، 4^3 یعنی ۶۴ و برای زنجیره ۴ تایی، 4^4 یعنی ۲۵۶ ترکیب می توان ساخت. اگر سلول ها فقط ظرفیت ۴ باز را می داشتند آنوقت طول زنجیره دی ان ا، ۴ می بود. به این ترتیب تعداد کل زنجیره های قابل حصول چنین خواهد بود: ۴ (تمام زنجیره های شامل یک باز) + ۱۶ (تمام زنجیره های شامل دو باز) + ۶۴ (تمام زنجیره های شامل سه باز) + ۲۵۶ (تمام زنجیره های شامل ۴ باز). جمع این اعداد، ۳۴۰، زنجیره مختلف را به دست می دهد. اما سلول های واقعی قادرند زنجیره های بسیار بزرگتری را در خود جای دهند و وقتی محدودیت طول برداشته می شود، تعداد زنجیره های ممکن نجومی می شود. برای مثال، میکوپلازما جنیتالیوم ژنومی به طول ۵۸۰۰۰۰ باز دارد. اگر بخواهیم مجموعه کاملی از تمام زنجیره های ممکن به طول ۵۸۰۰۰۰ بسازیم شامل $4^{580,000}$ ترکیب می شود. روشن نیست که چه تعداد از این ژنوم ها می توانند نمایش دهنده یک ارگانیسم زنده یا در واقع میکوپلازما جنیتالیوم باشند. معهذاً، واضح است که مجموعه زنجیره هایی که کلیه موجودات زنده یا منقرض را نشان می دهند، تنها کسر کوچکی از احتمالات **فضای ژن** را تشکیل می دهند. تاریخ، در گذشته فقط به طور سرسری نمونه هایی را از میان موجودات محتمل به وجود آورده یا در آینده به وجود خواهد آورد.

برای نشان دادن بزرگی اعداد مربوطه، توجه شما را به محاسبه مانفرد ایگن^۴ جلب می کنم که مربوط می شود به زنجیره دی ان ا ای که شامل ۱۰۰۰ باز است. تعداد ترکیبات مختلف چهار باز متفاوت در این زنجیره 4^{1000} یا (10^{602}) است. ایگن به نکته متینی اشاره می کند مبنی بر این که کل ماده موجود در جهان طابق النعل بالنعل مطابق است با کمتر از 10^{75} زنجیره ای که طولشان هزار باز باشد. بنا براین، برای ساختن حتی بخش کوچکی از این مجموعه، ماده کافی در جهان وجود ندارد.

انسانها با ژنومی مشخص می شوند که طولش حدوداً ۳٫۵ میلیارد باز است. طبق محاسبات ایگن، عدد شگفت آور (3,500,000,000) برای مجموعه کامل همه زنجیره های ممکن ژنوم انسان بدیهی است. من به جای اصطلاح ژنوم انسان از اصطلاح طول ژنوم انسان استفاده خواهم کرد چرا که بسیاری از ژنوم های طول ژنوم انسان، صفات انسان را مشخص نمی کنند. اگر احتیاطاً فرض کنیم که اندازه ژنوم های انسان فقط یک باز کم یا زیاد می شود، در این صورت تعداد ژنوم های ممکن

^۴ Manfred Eigen

که می توانند با طول ژنوم انسان ساخته شوند به عدد نجومی و باورنکردنی $4,350,000,001 + 4,399,999,999 + 4,350,000,000$ خواهد رسید.

این سوال که چند باز می توان به کیت ژن انسان اضافه یا از آن کسر کرد تا کماکان برجسب هومو ساپینس روی آن باقی بماند، معنای پیچیده ای دارد. بسیاری از این پیچیدگیها، به انتظارات حداقل ما از فکر، احساس، ادراک و نحوه رفتار انسان مربوط می شود. بقیه پیچیدگی ها مربوط می شود به معیارهای ما در باره مظاهر قابل قبول انسانی مانند شکل درونی و بیرونی انسان. علاوه بر آن تعداد دیگری نیز به این مسئله مربوط می شوند که کدام یک از بازهای خاص تغییر کرده اند. مثلاً می توان چندین میلیون باز را از ناحیه ظاهراً غیر ضروری زباله^۵، حذف کرد بدون این که تغییری در اطلاعات ضروری رمزدار ایجاد شود. در واقع ۹۷٪ ژنوم انسانی شامل زباله است، و شاید بتوان بدون مواجهه با نتایج مضر ۳,۳۹۵ میلیارد باز آن را حذف کرد. اما، حذف تنها یک باز از ژن اصلی یا ناحیه تنظیم کننده می تواند نتایج وخیمی داشته باشد. درنهایت، به نظر نمی رسد که سوال ما جواب روشن و صریحی داشته باشد. ولی زمانی که انواع زیادی از ژنوم های متفاوت تجزیه و تحلیل شوند آسانتری توان بین گونه های مختلف، به شکل منطقی تری تفاوت قائل شد.

صرف نظر از محدودیتی که به دلخواه خود برای بزرگترین و کوچکترین ژنوم انسانی قائلیم، تعداد بازهایی که می توانند به ژنوم اضافه یا از آن کاسته شوند، بدون این که تغییر محسوسی در طبیعت جانور ایجاد کنند، می تواند به دهها میلیون برسد. اگر احتمالات ترکیب شونگی این مجموعه های ژنوم به محاسبات اضافه شوند اندازه مخزن کلیه ژنوم های ممکن انسانی به عدد سرگیجه آوری خواهد رسید. اگر فرض کنیم که حداکثر جمعیت قابل تحمل روی زمین در هر زمانی به دهها میلیارد برسد در این صورت اگر متوسط عمر ثابت بماند، و تحقق همه زنجیره های دی ان ا به طور مساوی ممکن باشد، باید میلیارد ها سال سپری شود تا بخش کوچکی از مجموعه کلیه ژنوم های انسانی ممکن بتواند تحقق یابد. اما عمر کیهان تنها ۱۵ میلیارد سال است و حیات روی زمین تنها ۳,۶ تا ۳,۸۵ میلیارد سال تداوم داشته است. بنابراین، فرآیندهایی که *دریای اطلاعات* زنجیره های بالقوه دی ان ا توسط آنها کاوش می شوند و هستی می یابند، بوسیله زمان و فضا محدود می شوند.

اکنون روشن است که فضای ژن بزرگ است. در واقع آنقدر بزرگ، و تعداد زنجیره های دی ان ا ی درون آن آنقدر زیاد است، که به نظر می رسد نه تنها جای دادن ژنها در جعبه عملی نیست، بلکه از نظر فیزیکی هم غیر ممکن است. پس، فرض می کنیم که کتابداران فضای ژن به جای ذخیره کردن ژنها تصمیم گرفته اند که اطلاعات ژنها را به صورت نمادین نمایش بدهند و فقط الگوریتم تبدیل دی ان ا را داخل جعبه ذخیره کنند. آنها همچنین روش منحصر به فردی را برای فراهم کردن کیت های مورد نیاز خریداران ابداع کرده اند.

برای هر خریدار، علاوه بر یک دستگاه جهانی تبدیل ژن رایگان، منبعی از بازهای نوکلئوتید و زنجیره دی ان ا ی تریتوروس^۶ تدارک دیده می شود که ژنومی به طول حدود ۱۹ میلیارد باز دارد. مثلاً اگر بخواهید ماهی ریه دار پروتوپتروس^۷ بسازید، جعبه کیت ژن مناسب را می خرید، ولی درون کیت به جای ژنوم پروتوپتروس، الگوریتم تبدیل تریتوروس به پروتوپتروس قرارداد (TPCA). هنگام ترک هایپرمارکت باید دستگاه مجانی تبدیل ژن و مخزن بازها و دی ان ا ی تریتوروس را هم بردارید. وقتی که به خانه می رسید، ساختن پروتوپتروس کار ساده ای خواهد بود. زنجیره تریتوروس را داخل دستگاه می گذارید و سپس الگوریتم (TPCA) را از شکاف ورودی به خورد دستگاه می دهید. بعد از پر کردن دستگاه با بازها، زمانی که دستگاه مشغول انجام وظیفه است، می توانید بروید و قدم کوتاهی بزنید. طول ژنوم پروتوپتروس حدود ۱۴۰ میلیارد باز است، بنابراین علاوه بر اصلاح زنجیره تریتوروس، دستگاه باید ۱۲۱ میلیارد باز به آن اضافه کند. هر تبدیل خاص، الگوی منحصر به

^۵ junk
^۶ Triturus سوسمارآبی
^۷ Protopterus

فردی برای اضافه کردن بازها، حذف و یا تغییرات آنها دارد. برای مثال، روند اجرای الگوریتم تبدیل تریتوروس به میکوپلاسما جنیتالایوم (TMCA) منجر به از میان برداشتن ۵۸۰,۰۰۰ باز از زنجیره تریتوروس خواهد شد.

اگر بخواهیم حداکثر استفاده را ببریم، تعداد مهره‌هایی که به هر خریدار می‌دهیم، باید با فاصله زنجیره دی ان ا ی تریتوروس و ژنوم مورد نظر، متناسب باشد. فاصله زنجیره‌ها یعنی تعداد تغییراتی که باید برای تبدیل زنجیره تریتوروس به زنجیره دی ان ا ی هدف، بر موجود مورد نظر اعمال شود. همچنین این فاصله معیاری است برای محاسبه تعداد بیت‌های اطلاعاتی لازم برای انجام تبدیل مورد نظر. بنابراین، فاصله زنجیره دی ان ا بین دو کیت ژن در فضای ژن فاصله اطلاعاتی نامیده می‌شود.

با این که ممکن است برای تبدیل تریتوروس به مورچه میلیاردها تغییر لازم باشد، ولی شاید برای تبدیل شدن به قورباغه فقط چند میلیون اصلاحات نیاز داشته باشد. بنا بر این معقول تر این است که چند کیت متفاوت مرجع داشته باشیم و به همراه الگوریتم‌های تبدیل، تحویل خریداران دهیم. مثلاً اگر بخواهید هزار پا داشته باشید، شاید بهتر باشد که به جای استفاده از کیت استاندارد مرجع خرس قطبی، کار خود را با کیت ژن کرم صد پا شروع کنید. برعکس، اگر بخواهید بابون بسازید، استفاده از کیت معیار انسان، سریع تر و اقتصادی تر است تا کیت نرگس زرد. احتمالاً در فضای ژن، انواع موجودات مشابه در یک خوشه قرار می‌گیرند تا فاصله زنجیره‌های دی ان ا ی آنها از هم، نسبت به فاصله آنها از موجودات دیگر کم باشد. فاصله در فضای ژن هم منعکس‌کننده شباهت‌های منطقی بین موجودات است، هم زمان و کوشش لازم برای سفر از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر را نشان می‌دهد.

اگر بخواهیم محتویات فضای ژن را به موجودات زنده کنونی یا موجوداتی که زمانی زندگی می‌کرده‌اند محدود کنیم، فاصله اطلاعاتی بین کیت‌ها اهمیت بیشتری می‌یابد، زیرا به ما اجازه می‌دهد رابطه تاریخی احتمالی بین همه موجودات فضا را معین کنیم. جدول کاملی از فواصل اطلاعاتی بین هر زوج از موجودات، می‌تواند به ما کمک کند تا دودمان‌هایی را بسازیم که ارتباط احتمالی انواع موجودات مختلف با یکدیگر را نشان می‌دهند.

الگوریتم‌های تبدیل، نوعی نقشه جاده را در فضای ژن ترسیم می‌کنند که مسیر حرکت از A به Z را نشان می‌دهد، یعنی به ما اجازه می‌دهد، به جای این که با نومی‌دی در دریای بیکرانی از مقصدهای گوناگون گم شویم، از یک موجود به موجودی دیگر سفر کنیم. گرچه احتمالاً فقط تعداد اندکی از مسیرها به کیت ژنی که یک ارگانیزم زنده را مشخص می‌کند، ختم می‌شوند. استراتژی‌های تکامل طبیعی، برای پیمایش فضای ژن، نیاز به این دارند که تمام زنجیره‌های دی ان ا ی سر راه، موجود زنده‌ای را نشان دهند که قادر به تحمل سرشت ویژه جهان پیرامون خود است. اما فرآیندهای مصنوعی تبدیل که توسط دستگاه جهانی تبدیل ژن انجام می‌گیرند مقید به این شرط نمی‌باشند، یعنی می‌توانند بدون نیاز به تحقق زنجیره‌های میانی، از روی آنها بپرند. در نتیجه موتورهای مصنوعی کاوش فضای ژن می‌توانند بدون جریمه شدن، همه مسیرها را سفر کنند.

بر خلاف ابزارهای مصنوعی که حداکثر صرفه جویی را به عمل می‌آورند و کوتاهترین مسیر به سمت مقصد را انتخاب می‌کنند، فرآیندهای طبیعی که فضای ژن را می‌پیمایند، مسیر خود را کورکورانه انتخاب می‌کنند. قابلیت دسترسی مسیرها توسط رویدادهای تصادفی جهش و شرایط محیطی که کشف بعضی از آنها را میسر می‌کند، مشخص می‌کند. به محض این که مسیری انتخاب می‌شود، تعداد مسیرهایی که از این به بعد می‌توانند کاوش شوند کاهش می‌یابد. در نتیجه سفرهای طبیعی در فضای ژن نمی‌تواند به گستردگی سفرهای مصنوعی باشد.

سرانجام کتابدارهای فضای ژن به این نتیجه می‌رسند که طراحی سیستم ذخیره اطلاعات دی ان ا حول زنجیره تریتوروس و گروهی معیار مرجع، هم غیر عملی و هم غیر کارآمد است. بسیار اقتصادی تر است که همه الگوریتم‌های تبدیل را کنار بگذاریم و آنها را با الگوریتم ساخت جایگزین کنیم. الگوریتم‌های ساخت نیز در دستگاه‌های جهانی تبدیل ژن اجرا خواهند شد. اگر دستگاه جهانی موجودی کافی از بازهای مختلف داشته باشد، می‌تواند همه زنجیره‌های دی ان ا را با توجه به

دستورات الگوریتم سازنده آن، بسازد. الگوریتم ساخت، منطق درونی ژن را منعکس می کند و ۴ نماد یا سمبل را که در یک زنجیره یگانه ترکیب شده اند به کار می برد. این چهار نماد، حروف A، C، G و T می باشند که مربوط به بازهای نوکلئوتیدی هستند که اطلاعات دی ان ا را به رمز در می آورند. وقتی که حروف A C T C G A مربوط به یک الگوریتم ساخت، وارد دستگاه جهانی می شوند زنجیره ژنی ACTCGA سر هم می شود.

اگر چه ممکن است زنجیره ژنی و الگوریتم، یکسان به نظر برسند ولی اختلاف مهمی بین آنها وجود دارد. درحالی که الگوریتم ساخت یک زنجیره ژنتیک، اطلاعات خالصی را که مستقل از نحوه نمایش آن است نشان می دهد، درمورد ژن این مسئله صدق نمی کند. وقتی که اطلاعات مجرد الگوریتم به زبان طبیعی بازهای ACGT ی ژن اعمال می شود، الزاماً به زبان آمینو اسیدها نیز ترجمه می شود. ولی آماده سازی منطق در زبان دی ان ا و اجرای آن به زبان آمینو اسید، محدودیت های خاصی را به اطلاعات، یعنی به اظهارات ژنتیک و آمینو اسید، که بیان می شوند، اعمال می کند. به این ترتیب، گرچه به نظر می رسد که پیامی که به زبان بازهای نوکلئوتید دی ان ا به رمز در می آید، وجود آمینو اسیدها و شیمی مربوطه را که به آنها اجازه می دهد به پروتئین ها بپیوندند، می پذیرد، ولی به نظر می رسد که ژنها و مجموعه ژنهایی که درون ژنوم برهم کنش دارند، از منطق سطح بالاتری برخوردارند.

آیا می توان این سازمان یا ساختار منطقی را مستقل از مصالح ساختمانی به وجود آورنده آن بررسی کرد؟ در این صورت "شکل منطقی" موجودات زنده باید اساسی تر از جلوه های خاص آن شکل باشد، و شاید هم این شکل را بتوان توسط فناوریهای متفاوت به وجود آورد. برخی از این فناوری ها ممکن است برای دی ان ا ی تاریخی و مصالح ساختمانی آمینو اسیدها که حیات معاصر با آن آشناست، بیگانه باشند. از این رو دی ان ا و آمینو اسیدها لزوماً بهترین یا تنها مصالح ساختمانی ممکن نیستند. گرچه تطبیق پذیری آنها را نباید دست کم گرفت، اما یقیناً، تاریخ جستجوی همه جانبه ای را برای یافتن فناوریهای ممکن حیات صورت نداده است.

نمودار سیم کشی موجودات که مسیرهایی را مشخص می کند و در این مسیرها ژنهای هر کیت با روشن و خاموش شدن برنامه ریزی شده در طول زمان، به هم متصل و باهم هماهنگ می شوند، به تنهایی می تواند یک روبات مریخی باهوش را از چگونگی ایجاد حیات در روی زمین آگاه کند. گرچه ممکن است نتوانیم مستقیماً وجود آر ان ا و دی ان ا و مولکول های پروتئین را از شکل منطقی برنامه هایی که به رمز در می آورند استنباط کنیم، ولی منطق انتزاعی آن باید قادر باشد فناوری مناسب برای تحقق ساختارهای زیستی پنهان در نمودار سیم کشی معینی را نشان دهد.

لودویگ ویتگنشتاین اظهار می کند که زبان، بیان افکار را محدود می نماید. همچنین به نظر میرسد که اطلاعات به رمزد آمد در الگوریتم های ساخت ژنتیک مانند افکار هستند و ژنهامانند زبان اول یا مادری هستند که افکار با آن به راحتی بیان می شوند و همه زبانهای دیگر باید به آن ترجمه شوند، و آمینو اسید ها هم مانند زبان دوم هستند. اما برخلاف نمادهای تجریدی زبانهای نوشتاری، که واقعا سمبلیک هستند، زبان دی ان ا و آمینو اسیدها در دنیای فیزیکی-شیمیایی محصور شده اند. این مسئله محدودیت های زیادی، هم بر ماهیت اطلاعاتی که می تواند توسط این زبانها بیان شوند اعمال می کند و هم بر نحوه تغییر اطلاعات زیستی بیان شده توسط این زبانها در طول زمان. می توان حدس زد که اظهارات بالقوه فراوانی وجود دارند که با این که در الگوریتم های مجرد منطقی تعبیر مجاز دارند، ولی به دلیل محدودیت های اعمال شده توسط زبان دی ان ا ها و آمینو اسیدهای کنونی نمی توانند بیان شوند.

مهم ترین محدودیت هایی که به این زبان ها اعمال می شوند مربوط به بیست آمینو اسید مختلفی است که پروتئین های طبیعی را می سازند. خواص شیمیایی و فیزیکی آمینو اسید ها و ساختاری که تشکیل می دهند، مخرن اشکال سه بعدی یا تاخوردگی هایی را مشخص می کند که مولکول های پروتئین می توانند بپذیرند. کلیه ساختارهای پیچیده حیات باید با استفاده از

ساختارهای ممکن محدودی که آمینو اسید ها اجازه می دهند، ساخته شوند. سایروس چوتیا^۸ پیش بینی کرده است که پروتئین های کنونی تقریباً به هزار خانواده متفاوت تقسیم می شوند که هر خانواده از نظر ساختار به هم مربوطند. حتی این تعداد ممکن است به هشت هزار هم برسد. در هر حال تعداد همه خانواده های پروتئینی که در قفسه های "فضای تاخوردگی های قابل تحقق پروتئین ها" جای می گیرند بسیار بزرگتر از مخزنی است که امروزه در دسترس ماست. بنا براین طبیعت در فرآیند ساخت، از تاخوردگی پروتئین بسیار کمتری نسبت به آنچه که تنوری پیشنهاد می کند استفاده می کند، و حیات معاصر نیز فقط تعداد بسیار محدودی را به کار می برد. از آن گذشته، تاخوردگی های استفاده شده مجموعه ای جهت دار را نشان می دهند که اصولاً بعید است بتواند تنوع به کار رفته در تاریخ را به نمایش بگذارد.

احتمالاً محتویات "فضای تاخوردگی های قابل تحقق پروتئین ها" فقط کسر کوچکی از عناصر فضای فرضی تاخوردگی های پروتئین را تشکیل می دهند. اما محدودیت های فیزیکی و شیمیایی مانع تحقق یافتن شکل ذاتی آنها در دنیای ما می شوند. اگر برای ساخت آسان بعضی از این تاخوردگی ها از فناوریهای مصنوعی استفاده کنیم یا برخی از قوانین فیزیک و شیمی و یاهمه آنها را نادیده بگیریم، شاید این تاخوردگی ها ایجاد شوند. تاخوردگی های دیگری نیز ممکن است براساس قوانین فیزیک و شیمی محتمل باشند، معذالک به این علت که امکان رد فرآیندهای تکامل طبیعی وجود ندارد، تحقق نیابند. حتی اگر موانع را در نظر نگیریم، اختلاف عظیم میان تعداد واقعی تاخوردگی های پروتئین و تاخوردگی هایی که در تنوری مجاز شمرده می شوند نشان می دهد که، حداقل بخشی از ابزارهای ساختاری پروتئین ها که توسط حیات معاصر قابل دسترسی اند، توسط عاملی محدود شده است. احتمالاً مهم ترین عامل محدود کننده، شتاب تاریخ برای کاوش فضای زنجیره های پروتئین ها و نتیجتاً فضای تاخوردگی های قابل تحقق پروتئین ها است. گرچه مخزن کنونی تاخوردگی های پروتئین طی میلیاردها سال گذشته چندین نوبت گزینش شده اند ولی شکل آنها در جریان رویدادهای تصادفی که مشخصه روندهای تاریخی هستند سرو صورتی گرفته است. به اصطلاح، همه فناوریهای سنتی ساختمان حیات، به جز یکی از آنها که تا کنون بسیار موفق بوده است، بقیه به یک عادت تاریخی چسبیده اند.

حس می زنیم که الگوریتم هایی در مجموعه فرضی فضای الگوریتم های سازنده وجود دارند که زبان دی ان ا و آمینو اسیدها از بیان آنها عاجز هستند. دلیل آن می تواند این باشد که تاخوردگی معینی که الگوریتم برای پروتئین پیشنهاد می دهد، از نظر شیمیایی - فیزیکی غیرممکن است. از این رو، ممکن است تاریخ از روی اطلاعات گنجانده شده در الگوریتم های فوق با سکوت عبور کرده باشد. بنا براین، قالیچه غنی مربوط به اطلاعات الگوریتم های بالقوه فضای الگوریتم های سازنده پروتئین، تنها ممکن است به شکل بافته ناقص و سستی از رگه های تاریخ تحقق یافته باشد.

اکنون می خواهیم به جعبه های بدون تصویری که در رویای اول و سوم ظاهر شدند بازگردیم. اگر می خواستیم نقشه ای از فضای ژن بکشیم شبیه شبکه پهناور و پیچیده ای از چهارخانه های متقاطع سه بعدی می شد. هر کیت ژن درون چهارخانه متفاوتی جای می گرفت و آدرس منحصر به فردی از شبکه به آن به آن اختصاص می یافت. اما، کیت های ژن بسیار زیادند و برای نمایش مناسب آنها، واقعا باید فضایی چند بعدی داشته باشیم. برای سهولت تقسیم بندی فضای ژن به جعبه های شفاف و مرتب، به نحوی که نقشه قابل استفاده ای برای مسافران آینده فضای ژن داشته باشد، جلسه ای بین کتابدارها ترتیب داده می شود. وقتی که معلوم می شود کیت ها به صورت تصادفی انبار نشده اند بلکه به بهترین روش ممکن مرتب شده اند، همه احساس آرامش می کنند. یعنی معلوم می شود که همه کیت هایی که طول زنجیره یکسانی دارند، در یک خوشه قرار دارند و این خوشه نیز کنار خوشه ای قرار دارد که نزدیک ترین خویشاوند آنهاست. چون بین اطلاعات کیت های مجزا در هر خوشه اختلاف کمی وجود دارد، تبدیل متقاطع بین زنجیره ها امری پیش پا افتاده است.

^۸ Cyrus chotia

من اینک در مقابل ورودی هایپرمارکت فضای ژن هستم. در اولین راهرو ۴ کیت ژن می بینم که کنارهم انبار شده اند. جعبه همه این کیت ها فاقد تصویرند و فقط حاوی یک باز دی ان ا هستند. کنار این جعبه ها ۱۶ کیت دیگر قرار گرفته اند که فقط حاوی دو باز هستند و بازهم فاقد عکس هستند. همچنان که بالا، پایین، جلو، اریب و یک بری حرکت می کنم، با کیت هایی مواجه می شوم که طول ژنومشان یکسان است. جلوتر که می روم، کیت هایی می بینم که تعداد باز بیشتری دارند. هر چه تعداد بازهای کیت ها بیشتر می شود خوشه مربوطه شان بزرگتر می شود. در هر جهتی که حرکت می کنم نتیجه عیناً یکی است؛ یعنی زنجیره های گوناگون دی ان ا، بازهای بیشتر و بازهم بیشتر درون جعبه ها و فقدان یک پارچه تصاویر روی جعبه ها. بالاخره بعد از پیمودن مسافت زیادی خوشه هایی از جعبه ها را پیدا می کنم که تصویر دارند. بعضی از اینها مانند جزیره هایی در میان دریای جعبه های بدون تصویر هستند. بقیه جعبه های مصور مانند رگه زغال در معدن به جمعیتی از جعبه های عکس دار مختلف منتهی می شوند. تصمیم می گیرم که برای هر کیتی که با آن مواجه می شوم یک چوب خط بیندازم و یادداشت کنم که جعبه اش تصویر دارد (مصور) یا بی تصویر است (ساده). این اطلاعات را بعداً در نقشه ام جای خواهم داد. اگر با یک جعبه ساده (بدون تصویر) روبرو شوم، خانه مربوط به آن را در نقشه ام با مداد سفید پر می کنم. و اگر با جعبه مصور روبرو شوم خانه آن را سیاه می کنم.

با وجود این که موانع فیزیکی اندازه زنجیره دی ان ا های واقعی را محدود می کنند، فضای ژن بی نهایت بزرگ است. بنابراین حتی بهترین نقشه کش ها نیز از کشیدن نقشه نهایی آن عاجز خواهند بود. اما داشتن نقشه ناقص بهتر از نداشتن آن است. ثابت شده است که پرسه زنی با پای پیاده در فضای ژن طاقت فرسا و پردردسر است. به همین دلیل وقتی که کتابدارها یک کپسول فضایی برایم تدارک می بینند که اجازه می دهد با سرعت نور حرکت کنم خیالم راحت می شود. من نیز مانند زنبوری که مشغول معاینه و بازدید خانه های کندوی عظیمی است، می توانم وضعیت هر یک از خانه های نقشه سه بعدی ناتمام خود را بررسی کنم. غالب موجوداتی که حین سفر با آنها مواجه می شوم برایم نا آشنا هستند. زرافه هایی به اندازه برج پستخانه^۹ و موجودات بیشمار که خارج از محدوده تجربه من است. همین طور که با سرعت در فضای ژن حرکت می کنم، هر جعبه ای را که می بینم، سریع روی یک تکه کاغذ یادداشت می کنم که مصور است یا نه. وقتی به خانه باز می گردم شروع به نقاشی چهارخانه ها روی نقشه ام می کنم که کار خسته کننده ای است. جعبه های مصور را سیاه می کنم و جعبه های ساده را سفید.

بعد از ساعتها نقاشی، نقشه ناتمام چهارخانه سه بعدی فضای ژن تمام می شود. نقشه بسیار بزرگ است و برای درک کامل نقشه پیچیده خانه های سیاه و سفیدی که به وجود آورده ام، مکعب پلاستیکی شفاف عظیمی می سازم که به حجره های زیادی تقسیم شده است. هر حجره نشان دهنده یکی از چهارخانه های نقشه من است که آن هم به نوبه خود نشان دهنده یک جعبه کیت ژن است. با توجه به اطلاعات رنگی روی نقشه ام، به رنگ کردن خانه های مکعب با رنگهای سیاه و سفید ادامه می دهم. چون مکعب شفاف است، می توانم شکل تمام خانه های سیاه و سفید سرتاسر فضای ژن را بازرسی کنم و چیزی که می بینم، بسیار جالب است. شبکه به هم پیوسته ای از خانه های سیاه در دریایی از خانه های سفید پراکنده شده اند، و این خانه های سیاه در تمام مکعب گسترش یافته اند و طرح سه بعدی پر پیچ و خمی را تشکیل می دهند. این کوره راههای شاخه شاخه سیستم پیچیده جاده های متقاطع و دوربرگردان ها را به یاد من می آورد. پهنا و عمق خطوط از مکانی به مکان دیگر فرق می کند، ولی همه آنها به هم وصلند. بعضی از این راهها بن بست اند، در حالی که برخی دیگر پیچ خورده اند و به طرف بالا، پایین، در عرض، جلو و یا به طرف بیرون شاخه داده اند، و به صداها و هزارها مسیر فرزند انشعاب یافته اند که آنها نیز همین به همین شکل انشعاب یافته اند.

اکنون تصور می کنم که در حال دورزدن در مسیریکی از این جاده ها هستم. اما، در مکعب پلاستیکی، برخلاف دورزدن عادی، می توانم پایین یا بالا بروم، اریب و یک بری حرکت کنم، هم چنین به طرف جلو و یا عقب دوربزنم. از هر جا که

^۹ Post Office Tower. (۲*)

شروع کنم، می توانم دوربزنم و با رجوع به نقشه فضای ژن خود، راه مناسب را بیابم و با دنبال کردن این راه به هریک از خانه های سیاه برسم. برخی از راهها ممکن است بالنسبه مستقیم باشند در حالی که بقیه ممکن است پرپیچ و خم باشند. اما، اگر در مسیر خود خیلی به راست یا چپ بروم، خود را در لبه دریای سفیدی خواهم یافت. هیچ میابری در سراسر این دریای ممنوعه وجود ندارد، نتیجتاً نمی توان تغییر مسیر داد. هر از گاهی راه اشتباهی را بر می گزینم و می بینم که در کوچه بن بست می هستم که به دریای سفیدی منتهی می شود.

جعبه های مصور، کیت ژن موجودات بالقوه ای را نشان می دهند که تا کنون ساخته شده اند، اما جعبه های ساده این طور نیستند. جاده های سیاه که دنباله پیوسته ای از جعبه های مصوری را نشان می دهند که در دریای جعبه های بدون تصویر محاط شده اند، طناب نجات را مجسم می کنند. این طناب بالقوه نجات، به دریای سفید سترون منتهی می شود و شبه جزیره سه بعدی وسیعی را تشکیل می دهد که کلیه حیات ممکن را در بر می گیرد و حاشیه ای دندان دندانه دارد که تنها در میان پهنه وسیع دریای سفیدی تمیز داده می شود. این راهها، مقر جعبه های مصور برتر بهم پیوسته اند که ترتیبی منطقی دارند و قابلیت دارند که نیروی حیات را در اختیار بگیرند. اما جعبه های ساده قادر به این کار نیستند. استعداد آنها برای مهار نیروی حیات را می توان، با شمردن خانه هایی که کوتاه ترین مسیر را تا نزدیک ترین جعبه مصور دارند، تعیین کرد. این فاصله معادل فاصله اطلاعاتی بین جعبه ساده و نزدیک ترین جعبه مصور است. در فصل بعد، به جستجوی تاریخی طبیعت برای یافتن بعضی از چهارخانه های سیاه چند شاخه در فضای ژن خواهیم پرداخت. اما فعلاً مواردی را در این ارتباط مورد ملاحظه قرار خواهیم داد.

اولین مورد مربوط به این می شود که، مواجهه با اولین جعبه مصور در هنگام پرسه زنی اکتشافی ما در دریای سفیدی غیرمنتظره بود. اهمیت اولین جعبه مصوری که می یابیم این است که، نشان دهنده نقاط بالقوه گذار از غیرحیات به حیات است. بنابراین، این سوال تاریخی و فرضی پیش می آید که چگونه ناگهان، کیت ژنی که بالقوه موجود زنده ای را مشخص می کند می تواند از دریای عاری از زندگی جعبه های غیر مصور پدید آید. در واقع، سوال این است که مشخصات ژنتیک موجود زنده در ابتدا چگونه پدید می آید. اجداد آنها چه هستند و کجا ممکن است یافت شوند؟ این مسئله به این سوال عمومی مربوط می شود که چگونه موجودات زنده می توانند از عناصر غیر زنده به وجود آیند و همچنین به فرآیند تاریخی آغاز حیات روی زمین ربط پیدا می کند.

می خواهم بگویم که، انتقال ناگهانی و غیر منتظره از جعبه های سفید به جعبه های سیاه، و ظهور ناگهانی حیات در فضای ژن، بی شباهت به کارهای مصنوعی نیست. این نظر از این حقیقت ناشی شده است که ما تا کنون مطالعه در مورد حیات را به کیت های ژن که منحصر از دی ان ا ساخته شده اند و در فضای ژن جای دارند محدود کرده ایم. در حقیقت فرض کرده ایم که اطلاعات موجودات زنده باید درون ژن به رمز در آیند و ژنها هم باید از دی ان ا ساخته شده شوند. اما این فرضیه لزوماً فرضیه معقولی نیست. مثلاً اظهار شده است که، امکان دارد موجودات اولیه اطلاعات ضروری خود را در بلورهای خاک رس به رمز در آورده باشند. چون فضای ژن فقط کیت های ژن ساخته شده از دی ان ا را در خود جای می دهد، پیشگامان اولین جعبه های مصور وقتی در فضای ژن یافت می شوند که کیت ژن باشند و از دی ان ا ساخته شده باشند. هر جنسی را باید در فضای مناسب خودش جستجو کرد. منظور این که، ما در مغازه میوه فروشی دنبال اسباب بازی و یا در کتابفروشی دنبال وسایل باغبانی نمی گردیم.

اما، اولین جعبه های مصوری که در فضای ژن با آنها روبرو می شویم ممکن است به رشته ای از نخ های نامرئی متصل باشند که شبکه دیگری از راهها را می سازند. این راهها شبیه طناب نجات فضای ژن هستند ولی لبه های آن را می پیمایند و در مکانی ماورای فضای ژن که آن را فضای شیمی می نامیم پایان می یابند. این فضا مجموعه کامل همه واکنش های شیمیایی را در خود جای می دهد. به دلیل این که ژنها موادی شیمیایی هستند و اضافه یا کم کردن یک باز به زنجیره آنها

مستلزم تبدیل شیمیایی است، فضای ژن باید زیر مجموعه ای از فضای شیمی باشد. با استفاده از مدل مکعب، فضای ژن، مکعب کوچکی است که درون مکعب بزرگتری قرار گرفته است که فضای شیمی نام دارد و در این فضا ما باید نخستین مظاهر حیات را جستجو کنیم. نمونه های اولیه موجودات، اجداد بالقوه و گاهی نیاکان واقعی و تاریخی ساده ترین جعبه های مصور فضای ژن هستند. می توانیم خانه های پیشقراولان داوطلب را به رنگ سبز در بیاوریم.

سرانجام می خواهیم گره موجود در تاریخ حرکت حیات در فضای ژن و فضای شیمی را بکشاییم. ولی قبل از این که جلوتر برویم می خواهم نکته ای پایانی را عنوان کنم. در بحث قبلی فرض کردیم که می توانیم تعیین کنیم که کدام یک از جعبه ها لایق تصویرند. ولی کتابدارهای فضای ژن هنگام ساختن مجموعه همه کیت های ممکن ژن، چگونه می توانستند بفهمند که کدام یک از جعبه ها قادرند موجودات بالقوه را به رمز در بیاورند و نتیجتاً نیازمند تصویرند. ممکن است سوال کنیم که این کتابدارها بدون ساختن کیت ها و درک این که این موجودات به چه چیزی شبیه هستند چگونه توانسته اند روی جعبه ها نقاشی کنند. در اینجا تاریخ می تواند کمی به آنها کمک کند، چون کتابدارهای فضای ژن سابقه تمام جعبه های کیت ژنی را که باز شده اند، نگاهداشته اند. این بایگانی، گزارش کاملی از الگوریتم های ساخت که تاکنون اجرا، آزمایش و تست شده اند را ارائه می دهد. کتابدارها می دانند که این کیت ها در شرایط مناسب، قابلیت ساخت موجودات زنده را دارند. اما در مورد جعبه هایی که تاریخ فراموششان کرده است چه می توانیم بگوییم؟ جعبه های مصوری که تاکنون باز نشده اند و ممکن است هیچوقت باز نشوند. چگونه مطمئن باشیم اگر روزی آنها را امتحان کنیم الگوریتم های ساخت آنها خواهد توانست موجودات زنده تولید کند؟ جواب این سوالات به هیچ عنوان آسان نیست، و نظر من به قرار زیر است.

ممکن است روزی بتوانیم منطق صوری حیات را تعریف کنیم، یعنی نوعی منطق ساخت که در همه موجودات زنده مشترک باشد. هنگامی که تعداد زنجیره های کامل ژنوم در پایگاه داده زیاد می شود، فناوری های زیست اطلاعات کمک می کند که مجموعه اصلی ژن های مشترک نوع خاصی از موجودات را تعریف کنیم. جستجوی این ژن ها راهبردی را برای شناسایی فضای ژن جعبه های مصور داوطلب تشکیل می دهد. اما، این فرض که موجودات بالقوه در فضای ژن همه از مجموعه ژن یکسانی استفاده می کنند، نامعقول است. حیات می تواند با استفاده از مجموعه های متفاوت ژن ها هم ساخته شود.

در آینده این امکان وجود خواهد داشت که نقشه فعالیت ژن موجودات زنده را به تفصیل نشان دهیم. اما ممکن است راهی برای پیش بینی این نقشه، و یا مجموعه ای از نقشه های احتمالی ژنوم، وجود داشته باشد. نقشه موجودات زنده یا بالقوه زنده، به احتمال زیاد، با نقشه موجودات غیر قابل حصول تفاوت خواهد داشت. اگر ژنوم و نقشه استنتاج شده فعالیت ژن موجود مفروضی را به ما نشان می دادند، می توانستیم تشخیص بدهیم که مربوط به یک موجود زنده است یا نه. اما موجوداتی که از مخزن ژن متفاوتی استفاده می کنند نقشه ای کاملاً متفاوت با نقشه موجودات زنده آشنا به وجود می آورند.

زمانی که ساختمان منطقی موجود محرز شود، این ساختمان بینشی در مورد شکل احتمالی آن به ما می دهد و به این ترتیب می توانیم تصویری تقریبی روی جعبه های مصور نقاشی کنیم. اما، تا وقتی که موجودی ساخته و آزمایش نشده است، این تصاویر، محض امتحان باید روی جعبه باقی بمانند. ممکن است لازم باشد که بسیاری از تصاویر را بعد از ساختن موجود، پاک کنیم و دوباره بکشیم. در بعضی از موارد ممکن است لازم باشد تصویر را برای همیشه پاک کنیم. همچنین مشکل دیگری نیز در مقابل ما قرار دارد. زیرا، برای تصمیم گیری در مورد این که جعبه باید مصور باشد یا نه، باید بدانیم که آیا کافی است که موجود ساخته شود و چند ساعت یا چند روز زنده بماند یا این که باید مدت طولانی تری زندگی کند و اولادی از خودش باقی بگذارد؟ گذشته از این، هریک از موجودات را در چه محیطی باید آزمایش کرد؟ ایده آل آن است که هر یک از کیت ها در همه محیط های ممکن آزمایش شوند، گرچه، ژنوم خود می تواند سرنخ هایی بدهد که نشان دهد بهترین محیط کدام است.

اما، صحبت در مورد فضای ژن و دریای لایتنهای کیت های ژن یک چیز است و تایید این نکته که هیچ کدام از آنها وسائلی برای اجرای خود ندارند، چیز دیگر. برای پیاده سازی دستورالعمل های نوشته در برنامه های دی ان ا درون کیت ژن،

دستگاه ترجمه لازم است. همان طور که قبلاً ذکر کرده ام، در گونه هایی که تولید مثل جنسی دارند، دستگاه تولید مثل هم درون تخمک حاوی کیت ژن قرار دارد و هم در علائم القایی وجود دارد که توسط سلول های فولیکولی احاطه کننده نطفه درحال رشد تحویل داده می شود. ولی *فضای ژن* حاوی تخمک یا علائم القایی فولیکولی نیست. بنابراین کماکان لازم است که مجموعه دیگری از خطوط متقاطع نامرئی را مطرح کنیم، که در این جا به زیر ناحیه ای از فضای شیمی منتهی می شوند که آن را فضای تخمک و *فضای نقشه علائم القایی فولیکولی* خواهیم نامید. این فضا، فضای تمام دستگاه های احتمالی است که قادرند دستورالعمل های درون دی ان ا ها را بخوانند و حیات کیت ژن را استارت بزنند. بنابراین همه کیت های *فضای ژن* با نخ نازکی به هر تخمک در فضای تخمک و به هر نقشه علائم القایی در *فضای نقشه علائم القایی فولیکولی* متصل هستند. اما، فقط بعضی از این جفت شدگی ها می توانند ترجمه معناداری از اطلاعات کیت ژن را به دست دهند. بنا براین وقتی یاد داشت می کنیم که کدام یک از جعبه ها لایق تصویر است، باید کیت را مکرراً آزمایش کنیم تا این که همه جفت شدگی های بالقوه با تخمک ها و علائم القایی فولیکولی متفاوت را بتوانیم ارزیابی کنیم. علاوه بر این، اطلاعات انباشته در تخمک و نقشه های علائم القایی فولیکولی تنها منابع اطلاعات اساسی فرا ژنتیک^{۱۰} نیستند. غشاء حول سلول واحدی که در نتیجه آمیزش اسپرم و تخمک تشکیل شده است، خود نیز از تخمک مشتق شده است. بنابراین، سازمان این غشای سلولی از قبل موجود، الگویی می شود برای ساختمان همه غشاهای سلولی بعدی. از این رو می توان فضای دیگری را به نام *فضای همه غشاهای سلولی ممکن* در نظر گرفت. احتمالاً فقط تعداد کمی از این غشاهای سلولی با کارکردهای عادی سلولی سازگار هستند.

با توجه به این پیچیدگیها، باید با احتیاط پیش برویم و به جای اصطلاح *جسورانه* "موجودات زنده"، از اصطلاح "موجودات بالقوه زنده" استفاده کنیم. شاید در پایان، حداکثر بتوانیم ادعا کنیم که کیت ژن خاصی احتمال معینی برای تولید موجود زنده دارد. ولی همیشه درجه ای از عدم قطعیت وجود دارد، و احتمالاً فقط آزمایش دقیق اجازه خواهد داد که کیت ژن در محیط تخمک و مجموعه علائم القایی فولیکولی خاصی ساخته شود. منطق موجود بالقوه زنده و دستگاهی که مسئول رمزگشایی این منطق است، می توانند در زمان و مکان واقعی، یا با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری آزمایش شوند. اما، تا رسیدن چنین زمانی مجبوریم علامت سوالی بر روی همه جعبه های باز نشده قرار دهیم و هر تصویری را با جملاتی مانند "احتمالاً چنین یا چنان موجودی را می سازد" و یا چیزی شبیه این، شرح دهیم.

در این مدل محاسباتی، مخلوقات زنده چیزهایی هستند که توسط زنجیره های ژنتیک شان محاسبه می شوند. ژنهای موجود در اعضای جنسی تولید مثل، برنامه، و تخمک و علائم القایی فولیکولی سخت افزاری هستند که برنامه در آن اجرا می شود. اما، کورت گویدل^{۱۱} نشان داده است که بعضی موضوعات منطقی وجود دارند که پلاتکیلف اند؛ ساختارهایی وجود دارند که با کمک رویه های محاسباتی هرگز نمی توان ثابت کرد که صحیح هستند یا غلط. اگر می خواستیم در *فضای ژن* پیش برویم و برنامه ژنتیک همه موجودات بالقوه را به طور منظم به کامپیوتر تغذیه کنیم، باید انتظار برنامه هایی را می داشتیم که کامپیوتر قادر نباشد جواب قطعی مشابه جواب زیر به آنها بدهد: "بله، این برنامه اگر اجرا شود قادر به ساخت یک موجود زنده است"، یا "خیر این برنامه موجود زنده تولید نمی کند". از این رو بعضی از موجودات بالقوه زنده احتمالاً قابل محاسبه نیستند و نتیجتاً این موجودات در زیر مجموعه ای از *فضای ژن* که ما آن را *باغ وحش دی ان ا های ممکن غیر مسلم* می نامیم جای می گیرند. چهار خانه های متناظر این کیت ها به جای رنگ معین سیاه یا سفید باید به رنگ خاکستری دربیایند. تنها راه برای حل این عدم قطعیت ها این است که موجود را درست کنیم و ببینیم که چه اتفاقی می افتد. باید به یاد داشته باشیم که جعبه مصوری که امروز قادر به تولید حیات است، دلیلی ندارد که فردا هم این توانایی را داشته باشد. کیت های ژن در خلا ساخته

^{۱۰} Extra-genetic
^{۱۱} Kurt Godel

نشده اند و ناچار باید در ناحیه معینی از دنیای معینی به دنیا بیایند. حتی در این صورت، هرگز تصویر روی جعبه نمی تواند به دقت منطقی داخل کیت را نمایش دهد، چون اگر بخواهد چنین کند، محیط آن باید با دقت بی نهایت مشخص شده باشد.

توضیحات فصل دوم

۱- پوندیچری Pondichery یا پودوچری Puducherry

سابقا خطه ای از هند بود. کلنی سابق فرانسه که شامل ۴ ناحیه غیر همجوار بود که بزرگترین شان پوندیچری نام داشت.

۲- برج بی تی یا برج پستخانه BT Tower

برج بی تی ساختمانی استوانه ای در لندن است. برج سابقا به نام برج پستخانه نامیده می شد. ساختمان اصلی ۱۷۵ متر بلندی دارد که با آنتن هوایی آن به ۱۸۸ متر می رسد.

کروکودیل نفسش را حبس می کند

آیا تا به حال از خودتان پرسیده اید که چگونه کروکودیل نفسش را انقدر طولانی زیر آب حبس می کند. رودخانه نیل کروکودیلی دارد به نام کروکودیلوس نیلوتیکوس^۱ که حقیقتاً می تواند بیش از یک ساعت زیر آب باقی بماند، بدون این که لازم باشد به روی آب بیاید. اگر بد شانس بیایید و در میان آرواره های قوی این موجود گرفتار شوید متوجه می شوید که کروکودیل ها، به جای این که به روش متداول و اندکی دلرحمانه تر، پاهای طعمه را چنگ زده، خود را سریعاً بچرخانند تا پای قربانی کنده شود، بیشتر مایلند که قربانیان بزرگتر را غرق کنند. احتمالاً، این مسئله که کروکودیل به جای مثله کردن شکار خود علاقه دارد که آن را غرق کند، به این دلیل است که این کار ریسک از دست دادن غذا را هنگامی که می خواهد با آرواره هایش تیر خلاص به قربانی بزند، کم می کند.

از یک منبع غیر موثق شنیده ام که، اگر تصادفاً زمانی گرفتار یک کروکودیل شدید و اول سرتان بلعیده شد، می توانید جانوردرنده نادان را گول بزنید و روی دستش بلند شوید. ظاهراً فقط لازم است که دستتان را جلو ببرید و هر چقدر که می توانید زبان کوچک او را، که تکه بافت کوچک و صورتی رنگی است که در پشت گلوی او آویزان است و در ریه هایش را می پوشاند، محکم بکشید. اگر کار را درست انجام دهید، این حيله باعث غرق شدن کروکودیل خواهد شد. می گویند که ماهیچه های کشنده، که آرواره های کروکودیل را ناگهانی و با قدرت غیرقابل باور می بندند، بسیار قوی تر از ماهیچه های ربانده ای هستند که آرواره اش را بازمی کنند. بنا براین اگر موفق شوید خودتان را از دست آرواره های کروکودیل رها کنید و از دومین گاز اجتناب ناپذیرش احتراز کنید، دراصل می توانید آرواره هایش را محکم بسته نگاهدارید. خوشبختانه من در موقعیتی نبوده ام که هیچیک از این روش های نجات را امتحان کنم و بنابراین نمی توانم تضمین دهم که مفید باشند.

شماره جدید مجله پزشکی استرالیا راهنمایی مفیدی را منتشر کرده است به این مضمون، که اگر از منطقه سکونت کروکودیل ها دیدن می کنید باید از فعالیت زیردوری کنید: پارو زدن کرجی های سبک، شنا، راه رفتن در آب کم عمق، تمیز کردن ماهی در لیه آب و چادر زدن در نزدیکی ساحل رودخانه. همچنین، با استناد به موفقیت کلی راهبردهایی که بر مقابله به مثل تکیه دارند، تاکتیک های دفاعی فوق را زیاد نافذ نمی داند. این مسائل در اظهاراتی که سه قربانی نجات یافته در خطه شمالی استرالیا نموده اند مطرح شده است. هر سه مدعی شدند که توانسته اند با فروکردن انگشت در چشم و منخرین کروکودیل، فرار خود را از آرواره های کروکودیل تسریع کنند. سه قربانی دیگر نیز توانسته بودند از طریق کشمکش طولانی خود را رها کنند و دونفر دیگرشان هم از دوستی که در صحنه حاضر بود کمک گرفتند. اگر بدانیم که در خطه شمالی استرالیا، حداقل کمیسیون حفظ منابع طبیعی به دنبال انتقال کروکودیل های مشکل سازی که در مناطق توریستی یافت می شوند به نواحی دیگر روستایی است، قوت قلب می گیریم.

در مورد خودم حدس می زنم که اگر شرایط مناسب باشد، بتوانم نفسم را برای سه دقیقه حبس کنم. اما، به جای حدس زدن، خودم را امتحان کرده و فهمیده ام که متأسفانه فقط از پس ۴۶ ثانیه برمی آیم. بد نیست که سری به باشگاه بدنسازی

^۱ Crocodylus niloticus

بزنم. اما غواصان حرفه ای، می توانند با یک نفس شیرجه بزنند و تا عمق صد متری شنا کنند و تا ۴ دقیقه هم ادامه بدهند. بهترین غواص ها با تکیه بر تکنیک هایی مانند یوگا، درجه سوخت و ساز بدن و در نتیجه مصرف اکسیژن را پایین می آورند. علت این که انسان و بسیاری از مخلوقات دیگر می توانند نفس خود را حبس کنند، وجود پروتئینی به نام هموگلوبین است که قادر به اتصال و رها کردن اکسیژن است. هموگلوبین توسط گلوبولهای قرمز خون که آکنده از پروتئین هموگلوبین هستند ذخیره و سپس منتقل می شود. وقتی ذخیره اکسیژن کم است، هموگلوبین می تواند همه یا مقداری از ذخیره ملکولهای ۴ اکسیژنی خود را رها کند. ولی پروتئین های هموگلوبین وقتی که در معرض مقادیر بالای اکسیژن ریه ها قرار می گیرند مقدار جدیدی از اکسیژن را در خود ذخیره می کند. بنابراین هر پروتئین هموگلوبین مانند ریز دستگاهی است که اکسیژن را گردآوری و توزیع می کند. این مسئله که هموگلوبین قادر است ابتدا اکسیژن ذخیره کند و بعدا آنرا رها کند ممکن است متناقض به نظر برسد. راه حل این معما توسط ماکس پروتز^۲ ارائه شد که ساختارهای سه بعدی مولکولهای هموگلوبین مملو از اکسیژن و نیز خالی را توضیح داد. این ساختارها چگونگی تاثیر هندسه منحصر به فرد هموگلوبین را در رفتار آن شرح می دادند و اولین نظریه را در مورد طرح دستگاه پیچیده پروتئین فراهم کردند.

هموگلوبین از ۴ زنجیره شامل دونوع آمینو اسید متفاوت تشکیل شده است. این زنجیره ها به ۴ زیر واحد تقسیم می شوند و هر کدام تا می خورند و همه شکل مشابهی دارند. زیرواحدها مانند یک پازل سه بعدی، به دقت در هم بافته شده اند. هر زیر واحد یک جایگاه اتصال^۳ اکسیژن دارد که "هم"^۴ نامیده می شود و می تواند یک مولکول اکسیژن تنها را در خود جای دهد. آزمایشات نشان داده اند که هر ۴ "هم" قادرند با هم ارتباط برقرار و همکاری کنند. گرچه هموگلوبین اولین "هم" را با اکراه پر می کند، ولی بعد از پر شدن اولین "هم"، اشتهايش برای مولکول های اکسیژن به نحو شگفت انگیزی بیشتر می شود. بالعکس، گرچه هموگلوبین اولین مولکول اکسیژن را با اکراه رها می کند ولی بعد از رها کردن اولین اکسیژن سه تای باقیمانده را با میل واگذار می کند. ماکس پروتز به شباهت بین این حالت و تمثیل زیر اشاره کرده است که "هرچی بیشتر داشته باشی خدا هم بهت بیشتر می ده، اما اگر نداشته باشی، همان را که نداری ازت می گیرد".

ساختارهای سه بعدی مولکول های هموگلوبین خالی یا پر از اکسیژن، به خوبی این پدیده را توضیح می دهد. به نظر می رسد که هموگلوبین قادر است شکل خود را تغییر دهد و مانند یک بند باز سیرک به جلو و عقب برود و اشکال مختلف سه بعدی به خود بگیرد. زمانی که در ریه ها، آرایش آرمیده^۵ R^۵ را به خود می گیرد قادر به بارگیری اکسیژن است. اما، زمانی که به بافت های سوخت و ساز می رسد آرایش تنیده^۶ T^۶ را می پذیرد. این کار، تخلیه اکسیژن را آسان می کند، چرا که وابستگی هموگلوبین به اکسیژن را تا ۲۶ برابر کم می کند. فرآورده هایی که در جریان سوخت و ساز در خون انباشته می شوند اجازه می دهند که گذار از یک آرایش به آرایش دیگر به آسانی رخ دهد. این تعدیل کنندهای شیمیایی شامل: بی فوسفو گلیسرات، یون های کلراید، اسیدها و دی اکسید کربن هستند. انباشته شدن اسید در بافت های سوخت و ساز، آرایش T را تحکیم می بخشند، در حالی که زمانی که خون در شش ها کمتر اسیدی است، آرایش R تثبیت می شود.

انسان و سایر مخلوقاتی که به هموگلوبین به عنوان منبع اصلی مولکولهای اکسیژن تکیه دارند، قادرند نفس خود را تا زمانی که ذخیره اکسیژن آنها به انتها برسد، حبس کنند. اما، بعضی از موجودات راهبردهایی ابتکاری برای ذخیره اکسیژن به وجود آورده اند. شاه پنگوئن^۷ ها اجازه می دهند درجه حرارت شکمشان به ۱۱ درجه سانتیگراد برسد و به این ترتیب مصرف اکسیژن خود را کاهش می دهند. این کار، میزان سوخت و ساز آنها را پایین می آورد و آنها را قادر می سازد که تا ۷ دقیقه و

^۲ Max Perutz

^۳ Binding site (۱*)

^۴ Heme رنگ دانه آهن دار قرمز به فرمول C34H32N4O4Fe

^۵ Relaxed

^۶ Tense

^۷ (۲*)

نیم زیر آب بمانند. از طرف دیگر، نهنگ ها، سگ ماهی ها و بسیاری از دیگر پستاندارانی که به زیر آب فرو می روند، ذخیره هموگلوبین خود را با استفاده از موجودی زیاد پروتئینی به نام میوگلوبین تهیه می کنند که اتصال اکسیژن^۸ دارد و به قول جان کندرو^۹، نسبت خانوادگی دوری هم با هموگلوبین دارد. میوگلوبین به جای ۴ زنجیره فقط یک زنجیره آمینو اسید دارد و نتیجتاً فقط یک "هم" دارد. میوگلوبین در بافت ماهیچه ذخیره می شود و به عنوان مخزن یدکی مولکول های اکسیژن عمل می کند که با اکسیژن های متصل به هموگلوبین حمل شده از شش ها پر می شود.

وقتی نهنگی شیرجه می زند، به سرعت ذخیره اکسیژن متصل به هموگلوبین آن به انتها می رسد و به سراغ مخزن یدکی متصل به میوگلوبین خود می رود که مانند ریه ای شیمیایی عمل می کند و برای بافت های درحال سوخت و ساز، اکسیژن آزاد می کند. کروکودیل ها تقریباً صد بار کمتر از نهنگ ها میوگلوبین دارند. هیچ دلیل واضحی در دست نیست که نشان دهد چرا کروکودیل ها امکان سیستم ذخیره اکسیژنی مانند میوگلوبین را بررسی نکرده اند. اما، سیر تکامل، برای آنها سازوکار کاملاً متفاوت ولی در عین حال موثری را تدارک دیده است تا ظرفیت تحویل اکسیژن را بیشینه کنند. هموگلوبین کروکودیل دو ویژگی طراحی منحصر به فرد را ترکیب کرده است. اولاً، به بیوکربنات، که در اثر حل شدن دی اکسیدکربن در آب تولید می شود، بسیار حساس است. وقتی که کروکودیل زیر آب است، بیوکربنات در خون انباشته می شود و به یک نقطه تنظیم کننده متصل می شود، که میل ترکیبی هموگلوبین به اکسیژن را کم می کند. ثانیاً، هموگلوبین کروکودیل، حتی در غیاب بیوکربنات، آماده تحویل اکسیژن است، چون در مقایسه با هموگلوبین انسان، نهنگ، سگ ماهی یا شاه پنگون، میل ترکیبی کمتری به اکسیژن دارد.

زمانی می توانیم اثر بیوکربنات در تحویل اکسیژن را بهتر درک کنیم که به جای پروتئین های تنها، جمعیتی از مولکولهای هموگلوبین را در نظر بگیریم. همان طور که دیدیم مولکول های هموگلوبین دارای ۴ "هم" هستند، که هر یک از آنها می تواند به یک مولکول تنهای اکسیژن متصل شود. در حالت T، همه چهار "هم" می توانند خالی باشند، در صورتی که در حالت R همه چهار "هم" می توانند پر باشند. بعضی از پروتئین های هموگلوبین در حالت گذار بین T و R خواهند بود و فقط دو یا سه مولکول اکسیژن متصل خواهند داشت. اندازه مخزن مولکولهای هموگلوبین، هم در کروکودیل و هم در انسان بزرگ است. ولی بگذارید فرض کنیم که این مخزن فقط حاوی ده مولکول هموگلوبین است و سرجمع ۴۰ "هم" دارد. اگر همه ۴۰ "هم" اشغال شده باشند، جمعیت صد در صد اشباع شده است. اگر هیچکدام اشغال نشده باشند، جمعیت ۰٪ اشباع شده است. در انسان، اشباع اکسیژن جمعیت مولکول های هموگلوبین می تواند بین ۹۷٪ تا ۷۵٪ باشد. اگر این نسبت را برای مخزن مفروض ما که ده هموگلوبین دارد در نظر بگیریم، در هر زمان فقط حداکثر ۱۰ "هم" می توانند خالی باشند. بنابراین بقیه سی مولکول اکسیژن متصل می مانند و بنابراین غیر قابل دسترسی اند.

اثر بیوکربنات در کروکودیل به این شکل است که به آنها اجازه می دهد که به بعضی از مولکول های اکسیژن که معمولاً در دسترس نیستند، دسترسی پیدا کنند. به این ترتیب که با جهت دار کردن مولکول های هموگلوبین، احتمال مواجه شدن مولکول خاصی را با حالت "T" بسیار افزایش می دهد. در این روش جمعیت مولکول های هموگلوبین اجازه می یابد که به سطوحی از اشباع برسد که بسیار پایین تر از حد مجاز انسان است. چنین روشی برای پیدا کردن اکسیژن، در کنار میل ترکیبی هموگلوبین کروکودیل به اکسیژن، کروکودیل ها را قادر می سازد که نفس خود را بیش از یک ساعت حبس کنند که تقریباً ۶۰ برابر طولانی تر از حد متوسط حبس تنفس در انسان و ۱۵ برابر طولانی تر از شاه پنگون است.

نوبورو کومیاما^{۱۰} و کیوشی ناگای^{۱۱}، ژن هموگلوبین انسان را با کروکودیل مقایسه کرده و ناحیه مجزایی را در ژن هموگلوبین کروکودیل تشخیص داده اند، که مسئول اثر بی کربنات است. با تشخیص مکان های متفاوت ژن ها، آنها ژن کروکودیل را در این ناحیه کنترلی، مشابه ژن انسان کردند. اگر در نقطه ای، زنجیره کروکودیل AAGACA باشد و با ژن

^۸ Oxygen-binding
^۹ John Kendrew
^{۱۰} Noburo Komiya
^{۱۱} Kiyoshi Nagai

انسان که AACACA است مقایسه شود، G در زنجیره کروکودیل به C تبدیل می شود. این روند تکرار شد تا وقتی که فقط ۳۶ اختلاف باقی ماند. ژن پیوندی، پروتئینی واهی را به رمزدر می آورد که پاره ای انسان و پاره ای کروکودیل است و به نام هموگلوبین "اسکوبا"^{۱۲} نامیده شده است. این ژن، نسبت به بیوکربنات، تقریباً رفتاری مشابه رفتار نوع وحشی هموگلوبین کروکودیل نشان داد. بنابراین، به نظر می رسد که توانایی کروکودیل ها برای ماندن طولانی زیر آب، فقط با وارد کردن ۳۶ تغییر یا کمتر در زنجیره هموگلوبین انسانی حاصل می شود. مکان اتصال^{۱۳} بیوکربنات در فصل مشترک ۴ قسمت زیرین هموگلوبین قرار دارد. این قسمت ها روی هم سر می خوردند و مسنول جا به جا کردن پروتئین بین دو آرایش متفاوت هستند. بیوکربنات مانند یک گیره مولکولی عمل می کند که حالت T را محکم حفظ می کند و نتیجتاً اجازه می دهد که ریز دستگاه هموگلوبین، اکسیژن تحویل دهد.

تغییرات معدودی در مکان های کلیدی زنجیره ژن هموگلوبین، کروکودیل ها را قادر ساخته است که به راز جهان زیر آب دست پیدا کنند. اگر اوضاع به شکل متفاوتی پیش رفته بود، ممکن بود که ما با دوستان کروکودیل خود به گردش زیر آب بپردازیم، و شاید پهلوی آنها در مرداب ها، دریاچه ها، رودخانه ها، خورها و سواحل آفریقا، آسیا، استرالیا، شمالی، مکزیکو، آمریکای مرکزی، هند غربی و آمریکای جنوبی زندگی می کردیم. احتمال دارد در آینده ژنهای هموگلوبین انسان به طور عادی "کروکودیلی" شوند، تا ما هم بتوانیم نفس مان را برای یک ساعت نگه داریم. در حقیقت هموگلوبین هر جانوری می تواند با اعمال تغییرات کمی، یعنی معادل ۴,۲٪، بر روی حدود ۸۶۱ بازی که زنجیره پروتئین هموگلوبین را به رمز در می آورند، ساخته شود، تا بتواند مانند هموگلوبین کروکودیل رفتار کند. از این رو انسان کروکودیلی شده، می تواند با گریه ها و خفاشهای کروکودیلی شده پیوند داشته باشد. ولی لازم نیست خود را محدود به قرض گرفتن زنجیره از ژنهای هموگلوبین کنیم. روزی ممکن است سائل های مد، مجموعه های متنوعی از ژن های طراح را بفروش برسانند. مثلاً اگر کسی بتواند پوست خودش را به شکل پولک های سبز جذاب در بیاورد، چرا باید کت پوست کروکودیل بخرد؟ وانگهی چرا باید به دهان دو بعدی راضی باشد در حالی که می تواند آن را به پوزه ای که یک ردیف دندانهای تیز گیرا دارد ارتقاء دهد.

مجموعه کروکودیل های امروزی بسیار متنوع است. برای مثال، کروکودیل رودخانه نیل به نام کروکودیلوس نیلوتیکوس و کروکودیل های مصب رودخانه به نام کروکودیلوس پوروسوس، ممکن است طولی حدود بیست پا داشته باشند. از طرف دیگر، کروکودیل کوتوله اوستنولاموس تتراسپیس^{۱۴}، فقط ۶ پا طول دارد. در حالی که کروکودیل آمریکایی کروکودیلوس اکوتوس^{۱۵}، دارای پوزه بلند، لاغر و نوک تیز است، پوزه کیمن کروکودیلوس^{۱۶} کوتاهتر و گردتر است. معذالک بیست و یک گونه مختلف کروکودیل های موجود، فقط نشان دهنده نمونه کوچکی از مجموعه کامل همه کیت های ممکن ژن کروکودیل است که در فضای کروکودیل قرار دارند، که خود آن هم زیر مجموعه ای از فضای ژن است. بسیاری از این کیت ها کاملاً با همتایان امروزی خود متفاوتند. ولی علیرغم عمق، پرمایگی و وسعت دریای امکانات کروکودیل ها، فقط تعداد کمی از این کیت ها زمانی بازخواهند شد و نور روز را خواهند دید.

مدارک باستان شناسی تصدیق می کنند که بعضی از کیت های کروکودیل در گذشته از دریای ژن گزینش شده اند. آن ها کیت هایی هستند که زمانی سرهم شده و آزمایش شده اند ولی در نتیجه روند انقراض، نهایتاً دوباره از هم باز شده و به قفسه های شلوغی که از آغاز از آنجا آمده بودند بازگشته اند. پروتو سوچین^{۱۷} ها گروهی از کروکودیل ها بودند که حول و حوش صد و نود تا دویست میلیون سال پیش در باتلاق های عصر تریاس پسین^{۱۸} سکونت داشتند. این جانوران باستانی

^{۱۲} Scuba

^{۱۳} Binding site

^{۱۴} Osteolameus tetraspis

^{۱۵} Crocodilus acutus

^{۱۶} Caiman crocodilus

^{۱۷} Protosuchian

^{۱۸} Upper Triassic یکی از دوره های زمین شناسی. (*۳)

استثنائاً پوزه های کوتاه داشتند که خلاف قاعده کروکودیل های فعلی است. رفتار کروکودیل های باستانی که متاسفانه سنگواره نشده اند و فقط از طریق ساختار آنها قابل استنباط است نیز احتمالاً با همتایان کنونی آنها متفاوت است. مثلاً، پروتوسوچوس^{۱۹} ها، به احتمال قریب به یقین در خشکی زندگی می کرده اند. سایر کروکودیل های منقرض شده شامل، مزوسوچین^{۲۰} هاست که مربوط به عصر ژوراسیک^{۲۱} و کرتاسه اند، و حدود ۶۵ تا ۱۹۰ میلیون سال قبل زندگی می کرده اند. یکی از اینها به نام برنيسارتيا^{۲۲}، در بلژیک و انگلستان زندگی می کرد و فقط دو پا طول داشت. ایوسوچین^{۲۳} ها که در دوره دوم ژوراسیک^{۲۴} ظاهر شدند شامل داینوسوچوس^{۲۵} بودند که به معنی کروکودیل ترسناک است. این کروکودیل هم چنین فوبوسوچوس^{۲۶} هم نامیده شده است که به معنی کروکودیل وحشت است. داینوسوچوس، تا انتهای دوره کرتاسه در باتلاق های تکراس زندگی می کرده است و احتمالاً طولش به حدود پنجاه پا رسیده است. ولی فوبوسوچوس تنها کیت کروکودیل غول پیکری نیست که در تاریخ ساخته شده است. به نظر می رسد که رامفوسوچوس^{۲۷}، که از روی یک استخوان آرواره آنها، مربوط به عصر پلیوسن^{۲۸}، در هند شناخته شده، حداقل به بزرگی داینوسوچوس بوده باشد. کروکودیل دیگری از نوع ایوسوچین به نام پریستی چامپسوس^{۲۹} در دوره ایوسین زندگی می کرده که مانند پروتوسوچوس ساکن خشکی بوده است. پریستی چامپسوس، برعکس کروکودیل های امروزی پاهای درازی داشت که مناسب دویدن بود و به جای پنجه، سم داشت.

ولی در کنار مجموعه کوچکی از کیت ژن کروکودیل هایی که توسط تاریخ گشوده شده اند، با وحشت زندگی کرده و مزه خون را چشیده اند، مجموعه بسیار بزرگتری از جعبه های مصور کروکودیل ها در عمق فضای کروکودیل پراکنده شده که زمان آنها را نادیده گرفته است. چه کسی می داند که چه رازهایی در این جعبه های باز نشده و گرد و خاک گرفته پنهان شده است؟ کروکودیل هایی به اندازه بچه قورباغه، کروکودیل های بالدار، کروکودیل هایی که از درخت بالا می روند، یا کروکودیل هایی که مثل فیل عاج دارند یا مثل ببر راهراه هستند. کروکودیل هایی که دم ندارند و مانند کانگورو می جهند یا مانند کفتار زوزه می کشند، یا کروکودیل هایی که مثل حشره ها صد پا دارند. کروکودیل های پشمالو، کروکودیل های آبی رنگ، کروکودیل دو سر و کروکودیلی که مانند ماهی، فلس نقره ای دارد. مطمئناً گشت زدن در فضای کروکودیل کار خسته کننده ای نیست.

تاریخ تنها به شکلی ابتدایی و ناقص این فضا را کاوش نموده است. در حقیقت، باتلاقها، رودخانه ها، دریاچه ها، ساحلها و مصب رودخانه های زیاد، همچنین زمان بسیار زیادی لازم است تا بخش کوچکی از کروکودیل های بالقوه ای را که زیر گنبد فضای کروکودیل قرار دارند، آزمایش کنیم. گرچه غالب آنها هرگز ساخته نخواهند شد، ولی مشخصات ژنتیک آنها به صورت ریاضی و مستقل از تحقق فیزیکی آنها، تا ابد وجود خواهد داشت. مثلاً اگر باقیمانده فسیل های به پروتوسوچوس را پیدا نکرده بودیم هیچوقت نمی توانستیم حدس بزنیم که موجودی شبیه آن هرگز می توانسته وجود داشته باشد. اما چون می دانیم که این موجود زمانی وجود داشته است و با کیت ژن پروتوسوچوس مشخص می شده است، می توانیم محتوای کیت را استنباط کنیم و به سرعت آن را بسازیم. گرچه اکنون هیچ نوع پروتوسوچوسی زمین را مورد لطف خود قرار نمی دهد ولی قابلیت تولید دوباره آن همیشه وجود دارد، یعنی اطلاعات آن به صورت مشخصاتی ریاضی ذخیره شده است که تخطی ناپذیر است. اما بعید است که همه اطلاعات آن به صورت ژنتیک به رمز درآمده باشد. برای تولید دوباره یک پروتوسوچوس معتبر تاریخی، باید گشت و گذار خود را به فضاهای اطلاعاتی ماورای فضای ژن توسعه دهیم.

^{۱۹} Protosuchus (۴*)
^{۲۰} Mesosuchian
^{۲۱} Jurassic (۵*)
^{۲۲} Bernissartia
^{۲۳} Eusachian
^{۲۴} upper jurassic
^{۲۵} Deinosaurs
^{۲۶} Phobosuchus
^{۲۷} Ramphosuchus
^{۲۸} pliocene
^{۲۹} Pristichampsus

در حین بازدید کوتاه از فضای کروکودیل، تصویرهای روی جعبه های کیت ژن صورت ظاهری داشتند و همه کروکودیل های ممکن طوری به نظر می آمدند انگار فقط شکل خارجی دارند. اگر دو جعبه مصور تصویر مشترکی داشتند یکسان در نظر گرفته می شدند. اما، توصیف ما از هموگلوبین کروکودیل نشان می دهد که تغییرات کوچک در ساختار داخلی یک موجود می تواند به اندازه تغییرات ساختمان ظاهری آن عمیق و حاد باشد. گرچه تصویر روی جعبه کیت ژن شکل ظاهری موجود را نمایش می دهد، ولی در مورد ترکیب داخلی آن چیزی نمی گوید. نماد تصویر روی جعبه ها در واقع دو بعدی است. از این گذشته، کروکودیلی که هموگلوبین انسانی داشته باشد از نظر ظاهری عیناً مانند کروکودیلی با هموگلوبین کروکودیل یا هموگلوبین اسکوبا، به نظر خواهد رسید. وقتی که در فروشگاه فضای کروکودیل راه برویم جذابیت آنرا خیلی کمتر از آن که انتظار داشتیم بباییم، متوجه یکنواختی در بُعد ساختمان داخلی آنها خواهیم شد. نه به این دلیل که تنوع ندارند، چون یک به یک جعبه های مصور کروکودیل، همان قدر که فکر می کردیم سرگرم کننده اند، ولی یکنواختی به خاطر فواصل طولانی ایست که مجبوریم ببیماییم تا عکس روی جعبه ها تغییر کند. برای مثال، هنگام ورود به ناحیه داینوسوچوس در فضای کروکودیل، میلیاردها کیت در راهروها هستند که عکس همه یکسان است. راهنمای مقتصد تور که در بروشورهای خود نوشته: "شانس مادام العمر" برای سفر به فضای کروکودیل، بی درنگ متوجه می شود که مسافران از ظاهر تکراری تصاویر خسته شده اند. از این گذشته، چه کسی برای ورود به نمایشگاهی هنری که همه تصاویرش یکسان است، پول پرداخت می کند؟ راهنما جلسه ای با مدیران شرکت فضای کروکودیل تشکیل می دهد و پس از آن بازدیدی برای ما ترتیب داده می شود که نشان می دهد فقط بخش کوچکی از کل جعبه ها تصویری متفاوت از بقیه دارند. بعد پیشنهاد می کنند که فضای کروکودیل را کاهش دهند و کیت های تکراری را حذف کنند؛ ولی به خاطر سرمایه ای که باید هزینه شود، این پیشنهاد رد می شود. متصدی که مایل است کار مهمی انجام دهد، پیشنهاد میکند که، برای اجتناب از نواحی تکراری، مسافران را با اتوبوس از یک ناحیه به ناحیه دیگری در فضای کروکودیل ببرد. او، چون نقشه مخصوص نقشه بردارها را در اختیار دارد، تضمین می کند که در هر سفر به فضای کروکودیل بیش از ده هزار نوع کروکودیل را می توان بازدید کرد. در سفرهای قبلی اگر در یک گردش تنها بیش از ۴ نمونه را می دیدید شانس می آوردید. بعد از اجرای یک برنامه تبلیغاتی، تور جدید شروع می شود. بعد از مشاهده فقط یک نمونه از یک کروکودیل خاص، کرکره های اتوبوس پایین کشیده می شوند و چراغها خاموش می شوند و از بازدیدکنندگان با تازه ترین فیلم ها پذیرایی می شود. هنگام رسیدن به ناحیه جدید، کرکره ها بالا کشیده می شوند تا نوع بعدی کروکودیل مشاهده شود، و از آن عکس و فیلم تهیه کنند. بعد از چند دقیقه دوباره کرکره ها پایین کشیده می شوند تا در نمایش فیلم وقفه ای نیفتد. در اتوبوس، برای کسانی که گرایش دانشگاهی دارند، سخنرانی نمایشی کوتاهی تدارک دیده شده که در آن پروفیسوری به بررسی رفتارهای کروکودیل های بالقوه ای را که می توانستند در تاریخ تحقق یابند می پردازد.

در حقیقت، همان طور که می دانیم، جعبه های مصوری که ظاهراً یکسان به نظر می رسند، در سطح زنجیره های دی ان ا یکسان نیستند و تغییرات بسیاری را در ریخت داخلی نشان می دهند که بر ظاهر خارجی کروکودیل اثری ندارند. برای مثال در قفسه تصویرهای کروکودیلوس نیلوتیکوس، طیف کیت ژن های متفاوتی که تصویر یکسان دارند، ممکن است شامل کروکودیلی باشد که ژن هموگلوبین انسانی دارد. این کروکودیل که صفت انسانی دارد، چون فاقد ژن هموگلوبین کروکودیل است، بعید است که بتواند نفسش را بیشتر از ۴ دقیقه نگاهدارد و نتیجتاً ممکن است قادر نباشد قربانیان آتی خود را غرق کند. کیت دیگری ممکن است معرف کروکودیلی انسانی باشد که ژن هموگلوبین ندارد ولی به جای آن، ذخیره میوگلوبینی معادل نهنگ گوزپشت دارد. گرچه این کروکودیل ممکن است بتواند یک ساعت زیر آب بماند، ولی بعید است که بتواند به اندازه کروکودیلی که ژن هموگلوبین کروکودیل و نیز ژن های افزایش دهنده ذخیره میوگلوبین دارد، زیر آب بماند. کیت کروکودیل دیگری ممکن است که شامل یک ژن هموگلوبین باشد که پروتئین آن توانایی اتصال و تحویل اکسیژن را ندارد. ممکن است این کروکویل ها فقط بتوانند نفس شان را به مدت چند ثانیه حبس کنند. اگر این موجودات زمانی به وجود آمده بودند احتمالاً کروکودیل های نفس

بریده نامیده می شدند. همه این کروکودیل های بالقوه، با وجود تفاوت های شایان توجه در نحوه زندگی و توانایی زنده ماندن، احتمالاً ظاهر یکسانی دارند.

بنابراین ما برای اولین بار دلیلی پیدا کرده ایم که شک کنیم که آیا تصاویر روی جعبه های کیت ژن، موجود مورد ادعای خود را به درستی نمایش می دهند یا نه. اگر به شکل ظاهری کروکودیل کاری نداشته باشیم، زنده ماندنش به این حقیقت وابسته است که ساختمان داخلی رابطة مهمی با آب دارد. اگر کروکودیل توان غرق کردن قربانی های بزرگ را نداشت، ممکن بود غالباً گرسنه باشد و گاهی از گرسنگی بمیرد. از این رو باید تغییرات قابل توجهی در ساختمان آن داخلی ایجاد می شد بدون این که بر ریخت خارجی آن تاثیر بگذارد. بنابراین، دو فسیل ظاهراً یکسان ممکن است موجودات کاملاً متفاوتی را نمایش دهند. اما، تغییرات ساختمان داخلی یک موجود محدود به ژن همگلوبین نیست. همه نواحی ژنوم، چه رمزدار و چه فاقد رمز، جهش پذیرند، گرچه بیشتر جهش ها نه تاثیری در ساختمان داخلی دارند و نه در ساختمان خارجی. برای تعیین تمام اثرات جهش لازم بود فهرستی از تمام وجوه موجود جهش یابنده تهیه کنیم. این فهرست باید موارد زیر را در بر می گرفت: ریخت شناسی خارجی، ریخت شناسی سلولی و زیر سلولی، آناتومی (اندام شناسی)، فیزیولوژی، بیوشیمی و آسیب شناسی و برخی چیزهای دیگر.

ما دلایل بیشتری خواهیم داشت تا سوال کنیم که آیا تصویر روی جعبه کیت ژن می تواند نمادی از موجودی باشد که توصیف می کند. اما، فعلاً جنبه دیگری از ساختمان داخلی را در نظر می گیریم که در ساختمان خارجی منعکس نمی شود. برای انجام این کار ردیفی از کروکودیل های بالقوه را در ناحیه کروکودیلوس نیلوتیکوس از فضای کروکودیل فرض خواهیم کرد. با وجود این که این کروکودیل ها با هم قطارهای خود یکسان به نظر می رسند و به طور طبیعی ظرفیت غواصی زیر آب را دارند، ولی یکی از این کروکودیل ها بسیار با دیگران متفاوت است، چون مشکل بزرگی دارد. مشکلش این است که از آب می ترسد، مخلص کلام این که از آب گریزان است. به خاطر این که بحث پیش برود، فرض می کنیم که اکراه این کروکودیل از نزدیک شدن به آب، ناشی از این است که در ژن مفروض علاقه به آب این موجود، یک جهش خاص رخ داده است. گرچه ممکن است که آب-هراسی او را محترم بشماریم ولی این مسئله برای کروکودیل مرگ آور است. و به این دلیل به نظر می رسد که یک کروکودیل آب-هراس را به سختی می توانن یک کروکویل واقعی به شمار آورد. چون، همان طور که قبلاً دیده ایم حیات کنونی کروکودیل ها بسیار با آب مرتبط است. گرچه کروکودیل ها از خوردن ماهی لذت می برند ولی حیوانات خاکزی بخش عمده ای از غذای روزانه آنها را تشکیل می دهند. به این ترتیب، رفتارهای مربوط به شکار، متضمن این است که کروکودیل ها به آب علاقه داشته باشند، یا حداقل نسبت به آن بی تفاوت باشند.

حیلة مطلوب کروکودیل برای شکار، این است که به آرامی در سطح آب شناور می ماند به طوری که تقریباً از یک کُنده بی حرکت قابل تشخیص نیست. او سپس صبورانه منتظر می ماند تا جانوری شنا یا پرواز کند یا از کنار او بگذرد. بعضی مواقع ممکن است در لبه آبشخور بدون حرکت منتظر بایستد تا طعمه اش پایین بیاید و آب بنوشد. اگر شکارموفقی داشته باشد، ممکن است که با دم خود ضربه ای به جانور از همه جا بی خبر بزند و او را به داخل آب بکشد و زیر آب ساقطش کند. کروکودیل آب-هراس نخواهد توانست با هیچیک از این استراتژی ها شکار کند. و اگر از شدت گرسنگی نمیرد مطمئناً اولادی از خودش باقی نمی گذارد، چون جفت گیری کروکودیل ها منحصر در آب صورت می گیرد.

سرمه کردن و ساختن پروتئین خیلی شبیه ساختن یک عمارت میکروسکپی است، و جهش دادن ژن، مثل تغییر یکی از اجزاء نقشه معمار است. اهمیت تغییر به مکان آن بستگی دارد. فرض کنید مشغول ساختن برج ایفل هستیم. تغییر در بخشی از نقشه که مربوط به اجزاء بالای برج است بعید است که برماهیت کلی ساختمان نهایی تاثیر بگذارد. اما اصلاح بخش فونداسیون و یا ستون های حمال، منجر به سقوط برج به پایین و یا حداقل کجی آن خواهد شد. پروتئین ها، نسبت به تغییرات ساختاری بسیار حساسند. آمینواسیدهای خاص و یا بعضی از زنجیره های آنها که در موقعیت کلیدی استراتژیک قرار دارند نقشی حیاتی در ساختن ساختار منحصر به فرد به پروتئین دارند. سایر زنجیره های آمینو اسیدها یا منظومه های آمینواسید در

فضای سه بعدی با یکدیگر خوشه تشکیل می دهند و جایگاه های شناسایی^{۳۰} مهم را می سازند. پروتئین ها واسطه بین اطلاعات ژنها و دنیای بیولوژیک هستند. آنها مانند ارز رایج جهانی هستند که در ساختمان حیات روی زمین استفاده می شوند. ساختار پروتئین ها عملکرد آنها را معین می کند و یک تغییر خاص در ژن می تواند عمیقاً بر ابعاد بالاتر ساختمان پروتئین تاثیر بگذارد. پروتئین ها از زنجیره های یک بعدی آمینو اسیدها ساخته شده اند که آمینو اسیدها نیز با زنجیره های یک بعدی ژن مشخص می شوند. گرچه اصولاً زنجیره های آمینواسیدها می توانند خود را به طرق مختلف تنظیم کنند، اما در حقیقت فقط دو طرح بنیادی متفاوت را می پذیرند. این الگوهای دو بعدی به نام های مارپیچ آلفا و صفحه های بتا^{۳۱} نامیده می شوند. مارپیچ های آلفای منفرد و صفحه های بتا با بندهای کوتاه زنجیره آمینو اسیدهای اصلی به هم متصل شده اند. تعداد این عناصر، همراه با ساختمان ثانویه پروتئین، و شیوه به هم جفت شدن آنها، توپولوژی نامیده می شود. اگر توپولوژی پروتئین ها کاملاً تصادفی می بود انتظار می رفت که مخلوط هایی از مارپیچ های آلفا و صفحه های بتا داشته باشند. اما به نظر می رسد که بیشتر پروتئین ها در یکی از چهار دسته بندی زیر قرار بگیرند ۱: عمدتاً مارپیچ های آلفا ۲: عمدتاً صفحه های بتا، ۳: ترکیب متناوبی از مارپیچ های آلفا و صفحه های بتا، یا ۴: ترکیبات مجزای مارپیچ های آلفا با هم و صفحه های بتا با هم.

زنجیره اولیه پروتئین شامل همه اطلاعات لازم برای تشخیص طرح های ابعاد بالاتر ساختار پروتئین است. کلاً به نظر می رسد که همه آمینواسیدها ترجیح می دهند در ساختارهای ثانویه معینی ظاهر شوند. اما در هر حال، این رجحان طبیعی می تواند توسط محیطی که در آن قرار می گیرند تغییر داده شود. برای مثال آمینواسیدهای والین، ایزولوسین، ترئونین، فنیل آلانین، تریوسین و تریپتوفان اغلب در صفحه های بتا یافت می شوند و به یک معنی برای بتا بودن زاده شده اند. از طرف دیگر، آلانین، آسپاراتات، گلیسین و پرولین به ندرت در صفحه های بتا یافت می شوند. معذالک شواهد نشان می دهند که فقط تعداد نسبتاً کمی از آمینواسیدهای زنجیره اصلی پروتئین، در ساخت الگوهای مراتب بالاتر مشارکت عمده دارند. در واقع، ظاهراً مکان بسیاری از آمینواسیدها کاملاً تصادفی است. ساختار زنجیره های اصلی طوری است که این تصور را در ما به وجود می آورد که زنجیره هایی تصادفی هستند که در نواحی حیاتی اصلاح شده اند تا "تا خوردگی" مرکزی ایجاد کنند. زنجیره ها را بعداً می توان با تغییرات اضافی تزئین کرد، و بعضی از آنها می توانند موتیف هایی ایجاد کنند که عملکرد نظارتی داشته باشند. لین ریگان^{۳۲} و همکارانش در دانشگاه ییل نشان داده اند که می توان پروتئینی را که اصولاً از صفحات بتا تشکیل یافته است، با تغییر ۵۰٪ آمینواسیدهای زنجیره اصلی آن، به پروتئینی تبدیل کرد که دارای ۴ مارپیچ آلفاست. مطالعات ساختاری نیز مثال هایی از پروتئین هایی را فراهم آورده اند که خصوصیات زنجیره اولیه آنها به هیچ عنوان بهتر از زنجیره هایی که به طور تصادفی انتخاب می شوند نیست، ولی معذالک طرحهای نسبتاً یکسانی از ابعاد بالاتر را می پذیرند.

ترکیبات صفحات بتا و عناصر ساختمانی مارپیچ های آلفا، می تواند خم شود، به هم دوخته شود و یکی روی دیگری تا شود تا طرحهایی در ابعاد بالاتر^{۳۳} به وجود آورد. این معماری های سه بعدی به نام ساختار ثالث پروتئین شناخته می شوند. در برخی موارد زنجیرهای آمینو اسیدها از نظر ساختاری ناهماهنگ به نظر می رسند و بین دو یا چند ساختمان ثالث متناوب نوسان می کنند. برخی از پروتئین ها از بیش از یک زنجیره سه بعدی آمینو اسید تاخورد ترکیب شده اند. به عنوان مثال هموگلوبین از سرهم شدن ۴ زیر واحد مجزا ترکیب یافته است. ترتیب چفت شدن هر یک از این ۴ زیر واحد در ساختارهای ثالث زیرواحدهای دیگر نیز، سطح دیگری از پیچیدگی را تولید می کنند که ساختار (مرتبه) چهارم نامیده می شود.

بعضی از پروتئین ها ساختار معماری ثالث یکسانی دارند ولی در توپولوژی^{۳۴} متفاوت هستند. وجود تفاوت های توپولوژیک نشان می دهد که توپولوژی پروتئین ها بهینه سازی شده است. در عین این که سازمان توپولوژیک متفاوت عناصر

^{۳۰} recognition site (۶*)

^{۳۱} .Beta sheets (۷*)

^{۳۲} Lynne Regan

^{۳۳} بیش از سه بعد

^{۳۴} جای شناسی، مکان شناسی

ساختارهای آلفا و بتا به طور یکسان در فضای سه بعدی پراکنده شده اند ، احتمالاً تاخوردگی پروتئین را کارآمد تر می کنند و به این ترتیب اجازه می دهند طرحی فضایی از مرتبه بالاتر ایجاد شود. سیر تکامل ممکن است که توپولوژی های متفاوتی را بر پایه کارایی نسبی تاخوردگی آنها انتخاب کرده باشد. هم چنین احتمال دارد که توپولوژی هایی را انتخاب کرده باشد که کمترین محدودیت را بر معماری های بالقوه ای که در آینده به وجود می آیند تحمیل کند. این توپولوژی انعطاف پذیر تضمین می کند که تاخوردگی های بالقوه به حداکثر ممکن برسند.

در غیاب مواد شیمیایی که ساختار را اصلاح می کنند و با دانستن اطلاعات کافی در باره محیطی که قرار است پروتئین در آن یافت شود، اساساً باید بتوان طرح های ابعاد بالاتر پروتئین را از زنجیره اولیه استنتاج یا محاسبه کرد. از این رو متخصصینی که می توانند ساختارها را پیش بینی کنند پی می برند که بسیاری از ساختارهایی که آنها پیش بینی کرده بودند به خوبی با ساختارهایی که به طور تجربی مشخص شده اند مطابقت دارند. در حال حاضر الگوریتم های قدرتمندی وجود دارند که قادرند طبیعت تاخوردگی احتمالی تولید شده توسط زنجیره اولیه را به دقت پیش بینی کنند. این الگوریتم ها و قوانین تاخوردگی مربوط به پروتئین ها که تا کنون فقط بخشی از آن شناخته شده است، نهایتاً باید اجازه دهد که تاخوردگی پروتئینها با استفاده از اصول اولیه به دقت پیش بینی و طراحی شوند. اما، در مورد برخی از پروتئین ها، لازم است که از مساعدت پروتئین های متخصص مراقب^{۳۰} و آنزیم های تاکنده برای تسهیل تاخوردگی صحیح استفاده کرد. سایر پروتئین ها به درستی در متن پروتئینی که با آن ترکیبی دائمی می سازند تا می خورند .

مشاهده کردیم که چگونه طرح های سطح بالاتر مولکول هموگلوبین به آن اجازه می دهد مانند ریز دستگاه ها عمل کند. اما، ساختمان مرتبه چهارم بیشترین مشارکت را در پیچیدگی لازم برای تولید آناتومی اصلی دستگاه دارد. روشی که در آن ۴ زیر واحد ساختمانی مرتبه سوم هموگلوبین می چرخند و روی یکدیگر می لغزند و به این ترتیب ساختارهای مرتبه چهارم متفاوتی را می سازند، تاثیری حیاتی بر پیوند یا شکند (گسست) ملکول های اکسیژن در چهار جایگاه اتصال که در شکاف هایی نزدیک سطح خارجی پروتئین مستقر هستند، دارد. پس چگونه کروکودیل قادر است عمل دستگاه هموگلوبین را که منتقل کننده اکسیژن است ، تنظیم و تعدیل کند و عملکرد آن را تا اندازه ای بهبود بخشد؟

جهش های ژن هموگلوبین کروکودیل فقط دوازده آمینو اسیدی را که در فصل مشترک دو زیر واحد آن قرار دارند، تغییر می دهد، و یک جایگاه اتصال بی کربنات می سازد. زمانی که کروکودیل با آرواره های قلاب شده دور شکار خود ، به زیر آب می رود، یون های بی کربنات در خون او انباشته می شوند. وقتی که یون های بی کربنات به نقاط تنظیم کننده متصل می شوند، تغییری را در ساختار مرتبه چهارم آن ایجاد می کنند که موجب می شود اکسیژنی بیش از حد نرمال تحویل داده شود. این سازو کار به مولکول های هموگلوبین منفرد اجازه می دهد که تارو پود دنیای خارج را حس کنند و به آن پاسخ دهند. از این رو نقاط پیوند بی کربنات مانند حسگر اکسیژن عمل می کنند که می تواند دستگاه هموگلوبین را از وضعیت نرمال به وضعیت مضیقۀ اکسیژن، انتقال دهد. کنش- از- راه دور بین دو نقطه فضایی مجزا در یک پروتئین، مثلاً بین یک جایگاه اتصال بی کربنات و چهار "هم" یا بین هر "هم" جدا با سه هم دیگر، برهم کنش آلوستریک^{۳۱} نامیده می شود. ایجاد اثر آلوستریک در هموگلوبین کروکودیل نیل به او اجازه داده است که در رفتار خود، گامهای بلندی به خطه ممنوع قبلی بردارد. این عمل فقط با انجام اصلاحات کمی در ژن هموگلوبین کروکودیل ممکن شده است. ایجاد اثر آلوستریک به روش مقتصدانه، نشان دهنده قدرت طبیعت است در یافتن راه حل های برازنده و اقتصادی جهت برطرف کردن مشکلاتی که رام نشدنی می نمایند.

موفقیت تشکیل خود به خود ساختارهای بیولوژیک بر قابلیت انعطاف و قابلیت تکامل آنها متکی است. ممکن است چنین به نظر برسد که پروتئین ها آماده تغییرند و از میان بقیه عناصر، به خاطر ساختار شکل پذیر و تلون مزاج شان انتخاب شده اند. بنابراین برای موفقیت در تاریخ عناصری ساختمانی لازمند که نه فقط برای عملکرد کنونی بهینه شده باشند، بلکه

^{۳۰} Chaperone مراقب مولکولی. (*۸)
^{۳۱} Allosteric دگر ریختار. (*۹)

قابلیت تغییر در آینده را نیز داشته باشند. به نظر می رسد که طبیعت برای انجام چنین تغییر شکل هایی، به موجودات اجازه می دهد که در فضای کلیه مکانهای گذران زندگی که آن را فضای کنام (طاقچه)^{۳۷} خواهیم نامید گامهای بلند بردارند، و در فضای ژن و فضای زنجیره آمینو اسید و فضای مقررات ژن، پاورچین قدم بردارند.

برای نشان دادن این که راه حل آلوستریک طبیعت برای تجهیز هموگلوبین با یک خاصیت جدید، به منظور اصلاح آن، عملی اقتصادی است، می توان آن را با راه حل دیگری برای همان منظور مقایسه کرد. به این منظور نیاز به مهندسی مصنوعی هموگلوبین داریم، یعنی باید اجازه دهیم که هموگلوبین به جای این که ساختارش را به انتخاب خود تغییر دهد، با دستورالعمل ما تغییر دهد، و به جای این که ساختار اصلاح شده اش را با ساختن مخزنی از متغیرهای تصادفی و سپس انتخاب آنهایی که خود را بهتر برای بقا وفق داده اند، تکمیل کند، آن را دوباره با استفاده از اصول اولیه طراحی کند. گرچه انتخاب تنوعات در یک زمینه تاریخی، از دانشی که در طی میلیونها سال تجربه قبلی جمع آوری شده، بهره می برد، ولی طراحی مجدد از اصول اولیه این چنین نیست. راه حل طراحی مجدد به شرطی می تواند موفق باشد که معیار های زیر را در نظر داشته باشد: تعداد تغییرات ژنتیک لازم برای اجرای آن، سرعت انجام تغییر، اندازه ای که آن راه حل نیازمندی های پیچیده مختلف را برآورده می کند، و کارایی و قابلیت انعطاف نسبی آن.

اکنون اجازه دهید خودمان را به درون سلطنت خیالی پادشاه کروکودیل های خشکی بیافکنیم. پادشاه پرستیکامپسوس خسته است. خسته از خشکی و احساس زمین سخت زیر سم های خود، و خسته از دوستان زمینی اش. واقعا دلش می خواهد بتواند مانند ماهی شنا کند. البته او نمی خواهد کاملاً زندگی روی خشکی را از دست بدهد ولی به نحو دائم التزایدی بی قرار است. چقدر آرزو دارد که عمق رودخانه ها را جستجو کند، گربه ماهی ها را دنبال کند و در تابستان در آبهای خنک و تاریک باتلاقها غوطه ور شود. درحالی که عمر خود را با ورزش های مورد علاقه اش مانند شکار و مثله کردن سپری می کند، ممکن است بقیه سالهای آن را برای این قصیده زیر آبی صرف کند. لمیده بر تخت با لباسی بنفش، معمار دربار، کروتوپوس را که "پا گنده" می خواندش، فرا می خواند. کروتوپوس سرمهندس ژنتیک اوست، صنعتگر و طراح معتبر. کروتوپوس که با تواضع در حضور شاه ایستاده است، وقتی مورد خطاب قرار میگیرد با احترام چشمانش را بر می گرداند. شاه می خواند:

"پولم تمام شده و وقتم هم تمام شده،

ولی بسیار دوست دارم که برای ناهار

آن ماهی نقره ای کوچک براق را بخورم

که بدون شک غذایی کامل است"

معمار علاقمند به نظر می رسد. شاه به طور خلاصه ادامه می دهد

"سه روز فرصت داری و مبلغی کم

تا بزرگترین آرزوی مرا بر آورده سازی، که گونه ای کروکو ماهی باشم

کافی است بگویم، اگر شکست بخوری

دندانها و قیّه هایت را به چهار میخ می کشم."

کروتوپوس در حالی که چاپلوسانه لند لندی کروکودیلا نه می کند عقب می کشد و سُم هایش ناشیانه روی قالی قرمز سر می خورد. تقریباً تخت پادشاهی را ترک کرده است که شاه می ایستد و نسبتاً با تهدید می افزاید "مهم تر از همه این که کارآمد باشد". کروتوپوس تعظیمی کروکودیلا نه می کند و ازدروازه هلالی عقب عقب بیرون می رود و در اعماق کاخ ناپدید می شود.

و اکنون کروتوپوس با یک پارادوکس مواجه است. شاه می خواهد شنا کند، شاه می خواهد ماهی شکار کند، شاه می خواهد نوعی کروکودیل- ماهی باشد. اما شاه عجله دارد و می خواهد کم خرج کند. کروتوپوس روی تخته طراحی اش مشغول کار می شود. در حالی که کاملاً به عظمت کار خود و محدودیت های زمانی و مالی اش واقف است، تشخیص می دهد که تنها شانس او این است که روی یکی از عناصر دستگاه سوخت و ساز پادشاه متمرکز شود یعنی پروتئینی که توسط یک ژن به رمز در آمده است. کروتوپوس به فکر هموگلوبین می افتد ولی می داند که پادشاه دمدمی مزاج است. گرچه امروز به شکار گربه ماهی رودخانه قانع است ولی فردا به راحتی به این نتیجه می رسد که گربه ماهی ها خسته کننده اند و او واقعاً دلش می خواهد که در ژرفای دریاها به شکار بپردازد. اگر کروتوپوس طرح خود را بر شکار گربه ماهی متمرکز کند، یک ساعت زیر آب ماندن کفایت می کند. از طرف دیگر ماهیگیری در اعماق دریا موضوع کاملاً متفاوتی است و بدون داشتن نگاه نافذ و سرعت پنگون، به سه ساعت زیر آب ماندن نیاز خواهد داشت. بنا براین مسئله مهم استفاده شاه از زبان ابهام است، یعنی به جای دستورالعمل های مستقیم و شفاف، ابیات رازآلود کروکودیل (کالریج)^{۳۸} شاعر را ترجیح می دهد. از این گذشته طراحی هموگلوبین شاه، فقط یکی از چندین راه حل جایگزین است، که هر کدام از این راه حل ها باید با توجه به صرفه جویی نسبی، راحتی انجام کار و عواقب احتمالی شان بررسی شوند. که موجودی لایق و صالح است با دانستن ضعف شاه، فهرستی از صفاتی را که پروتئین جدید باید ترکیب کند تهیه می کند.

کروتوپوس، به خاطر محدودیت های ذکر شده، بر خلاف معمول تصمیم می گیرد که از ملاحظات زیبایی شناسی و هنر صرف نظر کند. بنابراین گرچه او به امروزی بودن و شجاعت مشهور است، همچنین قادر به سنت شکنی است و اظهاراتش قابل اعتماد است، ولی اکنون باید همه این موارد را کنار بگذارد. باید عملگرا و دقیق باشد و به دنبال کارایی و سودمندی باشد. تغییراتی که می تواند اعمال کند محدود است، چون، اصلاح، اضافه و یا کم کردن هر کدام از باز ها در ژن مستلزم مخارجی است. به هر حال مهم ترین مسئله این است که، پروتئین جدید باید نسبت به هموگلوبین کروکودیلی فعلی قادر به ذخیره و تحویل اکسیژن بیشتری باشد.

اما، متأسفانه راه حلی که در کوتاه مدت مقرون به صرفه و سودمند است، ممکن است در دراز مدت غیر اقتصادی باشد. اگر کروتوپوس قادر بود عملکرد هموگلوبین کروکودیل وحشی را بهتر کند، می توانست کارکرد آنرا درست به اندازه ای که شاه برای زندگی در چکامه آبی اش لازم دارد، اصلاح کند. چه خوب بود اگر می توانست این کار را با هزینه نسبتاً کمی انجام دهد. اگر کروتوپوس مثل سیاستمدار غرغروی عمل کند که موانع به ارث رسیده از پیشینیانش را وصله کاری می کند و حریصانه به دنبال فواید کوتاه مدت است، ممکن است مشمول الطاف ملوکاته شود. ولی با این کار، ناخواسته مانع این می شود که شاه در آینده بتواند به سهولت خودش را مهندسی کند. چرا شاه به ماهیگیری در آبهای عمیق علاقه پیدا کرد؟ آیا احتمال دارد او نتواند با هیچ روشی سه ساعت کارایی هموگلوبین برای شاه فراهم کند، تا او بتواند به ماهیگیری در عمق آب سرگرم باشد.

بنا براین، گرچه وررفتن با هموگلوبین می توانست در کوتاه مدت سودمند باشد ولی ممکن بود توانایی آن برای این کار محدود باشد. و وقتی که کروتوپوس یا هریک از اخلافتش تا نهایت پیش می رفتند، ممکن بود روزی مجبور شوند عقب گرد کنند و پروتئین انتقال دهنده اکسیژن را از ابتدا طراحی کنند. این کار هم گران و هم شدیداً خسته کننده بود. به خصوص اگر قرار بود که مسئولیت آن را به گردن او بیاندازند. اگر طراحی او به بن بست منتهی می شد، این مسئله به شهرتش هم صدمه می زد. کروتوپوس دلش نمی خواست که در تاریخ از او به عنوان طراحی یاد شود که نمی توانست تشخیص دهد هموگلوبین قطعه ای از مد افتاده و ناقص از دستگاه است. نه، او کروتوپوس بود. بصیر و خلاق، و طراحی بود که به جای دنباله روی از مد، خودش مد را بوجود می آورد. طراحی بزرگ با طرحهایی عظیم. و طرحهای کروتوپوس برای تداوم داشتن به وجود می آمدند.

^{۳۸} Coleridge شاعر رمانتیک قرن ۱۹ انگلیس

جزئیات طرح کروتوگلوبین فقط دو روز بعد به شکلی مناسب، در خواب به ذهن کروتوپوس متبادر شد. در خواب دید که ماری به دمش ضربه می زند و وقتی که بیدار شد تشخیص داد که هر یک از زیرواحدهای کروتوگلوبین باید به شکل C دربیاید و اکسیژن ها منظم در مرکز آن قرار گیرند. بلکه من عمداً از عبارت جمع استفاده کردم و گفتم اکسیژن ها. برای این که هر زیرواحد کروتوگلوبین قادر بود نه فقط یک میوگلوبین شبیه مولکول اکسیژن را، بلکه دوتا از آنها را درخود جای دهد. زیرا کروتوگلوبین به جای ۴ زیر واحد از هفت زیرواحد مستقل ترکیب شده بود و ظرفیت تحویل ۱۴ ملکول اکسیژن را داشت. یک مولکول برای هر یک از حروف نام شاه. کروتوپوس وقتی که نقشه ها را روی میز می انداخت با خودش خندید و گفت: "پروتینی بزرگ برای طراحی بزرگ، که قادر است اکسیژن کافی برای حداقل ۴ ساعت زیر آب غوطه زدن تهیه کند." و شاهکار اصلی او، که معرف ساختار نیوگ او بود؟ کروتوگلوبین به جای این که مثل معماری هموگلوبین به روش الوستریک، فقط بین وضعیت T و R جا به جا شود، سومین انتقال الوستریک یا وضعیت C را نیز در نظر می گیرد. کروتوگلوبین، هنگام انتقال از قواره T به قواره C، می تواند همه ۱۴ ملکول اکسیژن را تحویل بافت های نیازمند بدهد.

برای کروتوپوس، سفر از اتاق خود به کاخ کاملاً خاطره انگیز بود. به نظر می رسید که حتی پرندگان به خاطر ابداع جدید و زیبای او با شادی آواز می خوانند. در حقیقت به نظر می رسید که تمام جهان فریاد مدح بی حد و حصر سرداده است. "کروتوپوس، بزرگترین طراحی که جهان تا کنون به خود دیده است." کروتوپوس، در حالی که دشت و صحرا ناپدید می شد از پنجره کالسکه به بیرون نگاه می کرد. او در صندلی مخملش فرو رفت و چشمانش را بست. نزد خود، همه فن حریفان جهان را تحقیر می کرد، طراحان کوتاه فکری که به قراردادهای می چسبیدند. حقه بازها و کارشناسانی که راه حل هایشان را از تاریخ می دزدیدند. چقدر آسان می توانستند راه حل میوگلوبین را از اسناد مهر شده بریابند و یا ترکیبی از هموگلوبین / میوگلوبین بسازند. ولی ساختن فرمی نو در اقدامی شجاعانه، با استفاده از استعداد و ژرف اندیشی فکر محض؛ فقط می تواند از شناخت و درک عمیق و مفصل ساختمان طبیعت ناشی شود. این کار به مشارکت و همدلی با همه پیچ و مهره های هستی نیاز دارد. این نوع بصیرت فقط به افراد کمی دست داده است و از کنار بسیاری افراد دیگر بدون این که اثری روی آنها بگذارد گذشته است. باید باور کنیم که به او، یعنی به کروتوپوس، فرزند فروتن ماهیگیر، یک چنین توانایی اعطا شده است.

دلجان ایستاد، دروازه های کاخ روی پاشنه چرخیدند و کروتوپوس به زیر آمد. پوشیده در مخمل سبز و کلاهی سرخ و ارغوانی به درون اتاق پادشاه خرامید. کروتوپوس پوزخندی کروکودیلی زد. تصاویری از ترفیع گرفتن، هدایای فراوان و مدافعه در سرش شناور شد. شاه چگونه او را خواهد ستود؟ آقای کروتو پوس، وارد شوید! جمعیت چگونه هورا خواهند کشید و گیلای هایشان را با تحسینی پرشور بالا خواهند برد. به سلامتی کروتوپوس، بزرگترین معماری که جهان تاکنون به خود دیده است. ایستاد، و در حالی که سم هایش به سنگینی روی کف مرمرین کوبیده می شد تعظیمی کروکودیلانه نمود.

در حالی که دندانهای بسته اش قرچ و قروچ می کرد و چشموهای زردش به اطراف اتاق می پرید، با لحنی شیوا و فصیح گفت: "اعلیحضرت، اعلیحضرت همایونی بزرگوار." شاه نزدیک تخت گام بر می داشت و به نظر می آمد که فکرش مشغول است. کروتو پوس صدای خود را بلند کرد. "من خبر های خوبی آورده ام. خبرهای حقیقتاً خیلی خوب." شاه بی صبرانه نگریست و با خودش زیر لب زمزمه ای کرد و با شتاب چیزی روی یک تکه کاغذ نوشت. کروتوپوس با چاپلوسی ادامه داد و خروشید "آقا، حضرت اجل"، "اجازه دارم که برای اولین بار در تاریخ کروکودیل ها، اعلیحضرت، کروتوگلوبین را معرفی کنم، پادشاه، اعلیحضرت، شما به مخترع آن التفات خواهید فرمود. که البته اعلیحضرتا، کسی نیست جز خدمتکار حقیر و مطیع و وفادار شخص شما، یعنی کروتوپوس. البته این طرحی جدید است. و اگر جنابعالی فقط وقت کمی را در اختیار من می گذاشتید، اعلیحضرتا، من می توانستم طرز کار آن را توضیح بدهم. ولی در این هنگام شاه به سرعت به خواب رفته بود و چنان که به نظر می رسید آنقدر زنده نمی ماند که حتی جزئیات کامل طرح کروتوگلوبین را بشنود.

اخبار ناسلامتی پادشاه روز بعد، صبح زود رسید. شایع بود که رنگ پریده و کم نفس است و سردردهای وحشتناک دارد. دو روز بعد نورهایی را می دید که چشمک می زدند و از ضعف در ناحیه دُم خود شکایت داشت و روز سوم مرد. ملکه

ساماته اولین کسی بود که اظهار داشت، ممکن است مرگ نابهنگام پادشاه و عوض کردن ژن هموگلوبین او با ژن کروتوگلوبین به نحوی با یکدیگر مرتبط بوده باشند. این مسئله بعداً توسط فیزیکیان های دربار تایید شد، و آنها تشخیص دادند که فشار خون بالا و ناگهانی عامل تسریع مرگ او بوده است. آزمایشات بعدی نشان دادند که کروتوگلوبین بر خلاف هموگلوبین، قادر به اتصال اکسید نیتریک، یعنی ماده ای شیمیایی که برای تنظیم فشار خون حیاتی است، نمی باشد. کروتوپوس، با تمرکز صرف بر روی خاصیت انتقال اکسیژن هموگلوبین و بهینه سازی آن، فراموش کرده بود که هموگلوبین بیش از یک عملکرد سودمند دارد. بیچاره پریستیکامپسوس. به هرحال سرنوشت او این نبود که کروکوماهی بشود.

از این لحظه همه چیز به سرعت تغییر کرد و ملکه ساماته کروتوپوس را به مرگ محکوم کرد. محاکمه کروتوپوس توسط دادگاه عالی کروکودیل ها، رویدادی تاسف بار بود. قاضی لینوس زمانی که گفت "لطفا متهم قیام کند" جدی به نظر می رسید. صداها و فریادهای "عدالت برای شاه" و "کروتوپوس پادشاه را کشته است"، فضای دادگاه را انباشته بود. قاضی در هنگام نتیجه گیری گفت که همانا طبیعت معماری بهتر از کروتوپوس بوده است. او اضافه کرد که کروتوپوس طرّه طلایی تاریخ را پاره کرده است و نقش هستی کروکودیل را دست کاری کرده است. انبوه مردم در خیابانها برای تماشای کروتوپوس فلک زده که با زنجیر کشیده می شد و سم هایش حتی ناهنجارتر از قبل به زمین کوبیده می شد، به صف ایستادند. او روی نوک قله کوهی قرار داده شد و تا صبح توسط گرگها تکه تکه شد. کروتوپوس در راه دگرگون کردن پادشاه، ناخواسته، نابودی خودش را ترسیم کرده بود.

توضیحات فصل سوم

۱- جایگاه اتصال Binding site

در بیوشیمی جایگاه اتصال ناحیه ای است روی پروتئین، دی ان ا یا آر ان ا که مولکول های مشخص دیگر و یون ها در زمینه ای به نام لیگاند یا به طور مشخص پروتئین های لیگاند یک اتصال شیمیایی را تشکیل می دهند.

۲- شاه پنگون King Penguin

از نظر بزرگی دومین گونه پنگون هاست که حدود ۹۰ سانتیمتر قد دارد و وزنش حدود ۱۱ تا ۱۶ کیلوگرم است.

۳- تریاس پسین Late Triassic

دوره تریاس دومین دوره از دوران مزوزوئیک که در حدود ۲۵۱-۱۹۹٫۶ میلیون سال پیش بوده است و با ۴۰ میلیون سال کوتاهترین دوره در دوران مزوزوئیک است. نام این دوره اولین بار در سال ۱۸۳۴ (میلادی) و توسط دانشمندی در آلمان بکار گرفته شد. سبب نامگذاری این دوره به تریاس این است که رسوبات این دوره از سه قسمت کاملاً مشخص به نام های کوپر، موشل کاک و بونت ساندشتین تشکیل شده است که به ترتیب بخش بالایی، میانی و زیرین را تشکیل می دهند. این دوره به سه قسمت پیشین، میانه و پسین تقسیم گشته است. در دوره تریاس آب و هوا بسیار گرم بوده است و بیابان ها گسترش یافتند. دلایل نشان دهنده این گرما نیز ترک های گلی در رسوبات، رسوباتی چون نمک و گچ که از حاصل از تبخیر هستند و اکسید شدن فلزات و مواردی دیگر هستند. در میان تنوع زیستی در این دوره بی مهرگانی مثل نوعی آمونیت و همچنین خزندگان بسیار فراوان شدند. با وجود آب و هوای خشک، سرخس و درخت آروکاریاس در خشکی و جلبک در دریا نیز از گیاهان متداول آن دوره هستند. همچنین اولین حشره و اولین پستاندار در این دوره بوجود آمدند. در این دوره خشکی بزرگ پانگها به دو خشکی بزرگ یعنی گندوانا و لوراسیا تقسیم شد.

۴- پروتوسوچوس Protosuchus

طبقه ای از کروکودیل ها بود که در دوره ژوراسیک پسین زندگی می کردند. این اسم به معنی اولین کروکودیل است و جزو اولین کروکودیل هایی است که به وضوح به شکل کروکودیل قابل شناسایی هستند. در حدود یک متر طول داشت و حدود ۴۰ کیلوگرم وزن.

۵- ژوراسیک Late Jurassic

ژوراسیک یکی از دوره‌های زمین‌شناسی در دوران میان‌زیستی است. طول زمانی این دوره به ۱۴۵,۵-۱۹۹,۶ میلیون سال پیش برمی‌گردد و به سه دوره ژوراسیک پسین، میانی و پیشین تقسیم می‌شود و نام خود را از کوه‌های ژورا در آلپ گرفته است. اولین پرندگان در این دوره بوجود آمدند. همچنین مهره‌داران نیز مانند ماهی و دایناسور و... در این دوره فراوان بودند. اولین قورباغه مانند قورباغه‌های امروزی در این دوره ظهور کرد و وجود این میزان تنوع زیستی نشان از هوای معتدل این دوره است. از لحاظ جغرافیایی نیز این دوره تغییر چندانی نسبت به دوره قبل از خود نکرد.

۶- جایگاه شناسایی یا زنجیره شناسایی

زنجیره شناسایی یک موتیف پروتئین اتصال دی ان ا که گاهی به عنوان جایگاه شناسایی از آن نام برده می‌شود، که مشخصات اتصال آن را نشان می‌دهد به زنجیره دی ان ا ای اشاره می‌کند که دامنه مشخصی دارد. زنجیره شناسایی از دوسر متقارن است.

۷- صفحه های بتا Beta sheet

صفحه های بتا که همچنین صفحه های چین خورده بتا هم نامیده می‌شوند شکل دوم ساختمان ثانوی عادی پروتئین ها هستند. شکل اول مارپیچ (حلزون) آلفا نام دارد که شامل رشته های بتا است که به طور عرضی توسط سه پیوند هیدروژن یا بیشتر به یکدیگر متصل هستند که تشکیل یک صفحه تابیده چین خورده را می‌دهد.

۸- مولکول های مراقب Chaperone (protein)

در بیولوژی مولکولی مراقب ها پروتئین هایی هستند که به تاخوردگی کووالانسی یا باز شدن آن کمک می‌کنند یا به سرهم شدن و یا از هم باز شدن سایر ساختارهای ماکرومولکولی، ولی وقتی که این ساختارها پس از انجام کارهای مربوط به تاخوردگی یا مونتاژ، مشغول انجام فعالیت های عادی بیولوژیک هستند، در این ساختارها رخ نمی‌دهند.

۹- دگرریختار allosteric

وابسته به پروتئین هایی که عمل اصلی آنها توسط يك مولکول كوچك دگرگون مي‌شود.

دگرریختاری یا آلوتریسم از مفاهیم بیوشیمی است.

آنزیم‌های دگرریختار آنزیم‌هایی هستند که علاوه بر جایگاه ویژه اتصال زیرلایه (سوبسترا)، جایگاهی برای اتصال مولکول‌هایی دارند که میزان واکنش آنزیم را افزایش یا کاهش می‌دهند.

آنزیم‌های دگرریختار دارای تفاوت‌هایی با آنزیم‌های ساده‌اند:

- آنزیم‌های دگرریختار به صورت بسیار پیتیدی هستند یعنی همیشه بیش از ۲ زنجیره پیتیدی در ساختمانشان وجود دارد در حالی که آنزیم‌های ساده فقط دارای یک زنجیره پیتیدی‌اند.
- آنزیم‌های دگرریختار هم جایگاه ساده دارند هم جایگاه ناظم دارند اما آنزیم‌های ساده فقط جایگاه ساده دارند. (فقط دارای یک جایگاه فعال هستند).

بازدید از دریای اطلاعات

در آغاز احتمالات ریاضی وجود داشت. پانزده میلیارد سال پیش در اولین لحظات تکوین کائنات دریایی عمیق با بینهایت بعد، از نیستی سر برآورد. آبهای رنگ پریده آن، سبز و آبی فیروزه ای، درخشیده در نور ناموجود خورشیدی ناموجود، توسط مهتاب ناموجود ماهی ناموجود سرد شدند. و در عمیق ترین ژرفای آن، نظم از آشوب متبلور شد. اگر چه دریای اطلاعات دریایی غریب بود. غریب به این دلیل که عاری از مکان بود، آبکی ولی در عین حال ناتوان از این که کسی را خیس کند. دریایی که شخص می توانست عمری را در جستجوی آن صرف کند، ولی هرگز یافت نمی شد. دریایی که همزمان همه جا بود ولی هیچ جا نبود. دریایی که عریان بود و عاری از شکل. دریایی حقیقتاً عجیب.

دنیا را تا انتها جستجو کنید، عمیق ترین غارها، انبوه ترین جنگل ها، دورترین سرزمین ها، کلهکشان های دور را کندو کاو کنید. ولی این دریا، گریزان مانند ببر، با لایه های نرم نهفته در کف جنگل، اسارت را به چالش می طلبد. ولی با وجود این چقدر عجیب است که در دریایی چنین بی تکلف، چنین مبهم و نامفهوم، قابلیت همه چیز نهفته است. زیرا درون این دریا نه تنها تو و من، نه فقط امروز یا دیروز بلکه همه چیز و همه روزهایی که زمانی بوده اند، هستند یا خواهند بود، قرار دارد. نبردها و ارتش ها، پیروزها و مغلوب ها، شیرین ترین اصوات و تلخ ترین اشک ها. موجوداتی چنان غریب که به سختی می توان آنها را در تصور آورد و حوادثی چنان شگفت آور که قابل درک نیستند.

دریای اطلاعات دریایی فرضی است. دریایی انتزاعی و با این حال، دورنمای ریاضی آن به اندازه مناظری که بر حسب اتفاق در آلپ سویس یا در کانال های ونیز و یا در خیابانهای پاریس می بینیم، حقیقی است. این مناظر به اندازه میدان پیکادلی یا ترافالگار واقعی هستند و نیش های ریاضی موجودات درنده خوی آن به اندازه زهر سمی ترین مارها کشنده است. در فصل بعد واقعیت فیزیکی و ملموس این منظره های ریاضی و انتزاعی را با پژوهش قاعده مند برخی نواحی از گستره بیکران آنها نشان خواهیم داد. اما، این کار با کاوش طبیعی و تاریخی حاصل نمی شود، بلکه با استفاده از کاوش های مصنوعی و غیرتاریخی و ترسیم دورنما انجام می شود. ولی وجود واقعی *دریای اطلاعات*، هرگونه که باشد، حقیقی یا تخیلی، محل توجه کنونی ما نیست. در واقع باعث شرمندگی است اگر اجازه دهیم که اختلاف نظر درمورد وجود یا عدم دریای اطلاعات، حواس ما را از موضوعات مهم تر پرت کند. نتیجتاً ما در بیشتر بخش های آینده، خود را به بررسی معنای دقیق مفهوم دریای اطلاعات محدود خواهیم کرد.

اما، قبل از پیشروی بیشتر، باید توضیح دهیم که منظور ما از اصطلاح *دریای اطلاعات* چیست؟ در یکی از فصل های قبلی درمورد فضایی فرضی صحبت کردیم که آن را *فضای ژن*، *فضای زنجیره های دی ان ا* یا به طور مختصر *فضای دی ان ا* نامیدیم. ارزش فضای دی ان ا در این است که اجازه می دهد مجموعه کامل مشخصات ژنتیک همه موجودات زنده ممکن را که داده های بنیادی آنها در دی ان ا به رمز در می آید، شرح دهیم. ضمناً تاکید کردیم که مشخصات مربوط به ساخت یک موجود بالقوه که در ریزدستورالعمل های دی ان ا وجود دارد، برای توصیف کامل موجود کافی نیست. در حقیقت گرچه برنامه های نوشته شده در دی ان ا برای ساخت موجود زنده، داده های بنیادی ضروری آن موجود را رمزدار می کند، ولی

قسمت قابل توجهی از اطلاعات موجودات پیچیده، در سطوح فراژنی^۱ فراهم می شود. این سطوح شامل رشد، آموزش و در بعضی موارد فرهنگ می شود. اگر تصمیم داشتیم توصیف کاملی از موجودی پیچیده را فرمول بندی کنیم لازم بود که اطلاعات ذخیره شده در هر یک از سطوح مناسب، هم در سطح ژن و هم در سطح فراژنی را مشخص کنیم. گرچه بخش های مختلف اطلاعات موجودات به زبانهای مختلفی به رمز در می آید، ولی همین اطلاعات خام نوعی زبان بین المللی را تشکیل می دهد که می تواند همه بخش ها را توصیف کند. از این رو، می توان شکل کامل اطلاعاتی یک موجود را به دقت توصیف، تعریف و در فضای چند بعدی اطلاعات جای داد. می توان فرض کرد که داده های فضای دی ان ا، به سادگی در این فضا جای می گیرند، اما بخش بینهایت کوچکی از پهنشت بیکران آن را اشغال می کنند. این فضای اطلاعاتی توصیف کاملی از همه موجودات بالقوه زنده و غیرقابل حصول را به دقت فراهم می کند. این فضا شامل بسیاری چیزها، منجمله موجودات ناهنجاری است که طرح های معماری مورد قبول دارند ولی رفتارشان نامناسب و بی معنی است.

ولی اگر می خواستیم وضوح تصویر بیشتر و در حقیقت بینهایت ارانه بدیم چه باید می کردیم؟ اگر اصرار داشتیم که توصیف ما از ژن و عناصر تنظیم کننده فاقد رمز، نه تنها شامل زنجیره دی ان ا، بلکه شامل جزئیات ساختمان اتم های سازنده بازها نیز باشد، چه می شد؟ در آن صورت، تعریف واقعاً دقیق یک موجود می توانست شامل اطلاعات بسیار جزئی باشد که چنانچه به خورد یک دستگاه فرضی مونتاژکننده اتم داده می شد، می توانست رونوشت تمام عیاری از آن موجود تولید کند. در مورد انسان، این توصیف می توانست شامل بسیاری چیزها منجمله محتوای جریان آگاهی و اطلاعات فرهنگی کسب شده در دوران زندگی او باشد. این توصیف همچنین می توانست شامل آگاهی از نتایج آخرین مسابقات فوتبال، شعرهای کیتز، شاعر انگلیسی، رویدادهای سریال های آبکی تلویزیونی، اطلاع از آهنگ های روز، هنر استفاده از موبایل، علاقه به آجیو، تهیه غذاهای هندی و لذت بردن از خودروهای کروکی براق خوشرنگ باشد. همچنین می توانست شامل اطلاعات کتابهای موجود در قفسه ها، یا مجموعه صفحات موسیقی، سی دی یا نوارهای کاست یا کتابهای کتابخانه های محلی دردسترس، البته به شرط داشتن کارت عضویت، باشد.

اما برای این که توصیفی واقعاً کامل باشد باید شرح لباس هایی که پوشیده می شود و مدل موها و نیز جزئیات همه جانبه محیط آنها را نیز دربرگیرد. اندازه وضوح تصویر کاملاً اختیاری است. یک نفر می تواند استدلال کند که شرح کامل یک موجود باید شامل جزئیات بی نهایت از اکوسیستمی باشد که احاطه اش کرده است. شخص دیگری ممکن است استدلال کند که مشخصات ژنتیک کافی است. حتی ممکن است به این نتیجه برسیم که نیازی به تعریف موجود خاصی نیست و به شرحی کلی از تمام گونه های ممکن بسنده کنیم. نتیجتاً درجه وضوح توصیفات باید طبق نیاز ما تغییر کند.

ولی تمام این اطلاعات را چگونه می توان فهرست بندی کرد؟ چگونه، دانش یک فرد از قوانین تنیس، یا علاقه او را به پاستای غذای دریایی و یا حتی این واقعیت را که درهمین لحظه که او را توصیف می کنیم، او در نور شمع مشغول شنیدن سمفونی شماره یک الگار است، می توان هم عرض زنجیره ژنوم او قرارداد؟ مانند قبل، جواب این است که هر یک از اجزاء توصیفات را در زبان بین المللی اطلاعات که مستقل از محیط است ذخیره می کنیم. زمانی که زبان اختصاصی دی ان ا، قوانین تنیس، علاقه یک فرد به پاستای دریایی، و اطلاعات مربوط به نور شمع و موسیقی، به زبان ریاضی اطلاعات ترجمه شوند، این گونه توصیفات ناهمسان می توانند در فضای یکسانی ذخیره شوند. درست همان طور که همه زنجیره های دی ان ا، داخل فضای دی ان ا جای گرفته اند. بنابراین همه بیت های اطلاعاتی ممکن درون فضای اطلاعات جای می گیرند که ما آن را دریایی اطلاعات نامیده ایم. این فضا، همه اجزاء توصیفات بیشتر در باره وضعیت جهان در هر لحظه از گذشته، حال یا آینده را در خود جای می دهد. مخزن بی انتهای از این گونه شرح و وصف ها می تواند اطلاعات لازم برای ساخت هر لحظه ای از تاریخ را در بر گیرد. همچنین می تواند اطلاعات لازم برای تولید نسخه های دیگری از تاریخ و در حقیقت هر نسخه جایگزین دیگری برای

^۱ Extragenetic

گذشته، حال یا آینده را فراهم کند. هر بخش مشخصی از تاریخ واقعی یا احتمالی مانند اثر انگشتی منحصر به فرد، به شکل ریاضی توصیف می شود.

به این ترتیب *دریای اطلاعات* فضایی است شامل همه فضاها، ریاضی، و فضای فرضی اطلاعات است، که شامل مجموعه کامل همه کتابخانه های غول آسایی است که وضعیت های ممکن جهان را با بیشترین درجه وضوح توصیف و مستند می کند. توضیحات ریاضی درون کتابخانه ها، همه احتمالات را تعریف می کنند. مجدداً یادآور می شوم که اذعان به این مطلب که مخازن بی انتهای توضیحات ریاضی می توانند وجود داشته باشند، به هیچ عنوان به این معنی نیست که می توان مو به مو جزئیات آنها را تشریح کرد. با این حال، این حقیقت که نمی توان آنها را جزء به جزء شرح داد نیز وجود آنها را نفی نمی کند. هم چنین، گرچه مجموعه تعاریف ریاضی موجود در *دریای اطلاعات*، داده هایی را نگه می دارند که اصولاً می توان از آنها برای بازسازی دقیق وقایع تاریخی استفاده کرد، ولی در عمل، تعاریف ریاضی متوالی که تغییرات تاریخی را توضیح می دهند، هیچ ردپایی از خود باقی نمی گذارند و با هیچ نوع روش قطعی نمی توان آنها را از تعریف مقدماتی استنتاج کرد. از این رو گرچه می توان ساخت نمونه وار لحظه ای تاریخی را در تصور آورد، ولی به هیچ وجه نمی توان تشخیص داد که واقعه ساخته شده با واقعیت رخ داده در تاریخ وفق دارد یا نه.

صرف نظر از نظریه خاصی که می توان با توجه به وجود عینی *دریای اطلاعات* پذیرفت، بهتر است بدون بحث فرض کنیم که دنیای مادی بی طرفانه در مجموعه عظیم احتمالات ریاضی، که توصیفات عینی و بعضاً ناشناخته آن در *دریای اطلاعات* جای دارند، کاوش می کند. *دریای اطلاعات* چیزی مشابه مخزن ژن است. اما به جای استخرشای فیروزه ای درخشان کالیفرنایی مملو از ژن، اقیانوسی بی انتهاست که لبالب از اطلاعات خام است. به نظر می رسد که همه موجودات و تاریخچه واقعی یا تاریخچه های دیگر حیات آنها را می توان رسماً توسط مجموعه ای از موجهای متحرک جوهر ریاضی *دریای اطلاعات* توضیح داد.

دریای اطلاعات لزوماً توسط یک ساختار ریاضی تعریف و پشتیبانی نمی شود. در حقیقت توصیف کامل دنیای مادی ممکن است به عناصری نیاز داشته باشد که ورای تعاریف ریاضی قرار می گیرند. سرانجام معلوم نیست که کائنات تاروپود ریاضی داشته باشند، که در این صورت دریای اطلاعات که ترکیب ریاضی دارد، دریایی ناقص خواهد بود. ریاضیات نمی تواند بیش از مدل یا تصویری منطقی از حقیقت عینی زیرین باشد. زبانهای دیگری هم می توانند برای بیان واقعیات وجود داشته باشند که با تاویل آنچه که از صافی ریاضیات می گذرد باعث ارتقای مدلهای ریاضی شود. در هر صورت، چون زبان مناسب دیگری نداریم که بتواند جایگزین ریاضیات شود، فرض می کنیم که *دریای اطلاعات* ساختار ریاضی دارد، که این ساختار نه تنها حقایق عینی را به تصویر می کشد بلکه خود نیز جلوه گر عینی احتمالات آن می باشد. از این رو می توانیم به درستی *دریای اطلاعات* را فضای ریاضی بنامیم.

پس چگونه می توان مخزن کلیه توصیفات ریاضی ممکن را سازمان داد؟ *دریای اطلاعات* را می توان ترکیبی از دو قسمت تصور کرد که درهم قفل شده اند؛ که یکی دریای بی انتهایی از واقعیت ها است و دیگری فضایی منطقی که در آن وقایع به نظم در آمده اند. به هر واقعیت می توان به شکل ذره ای تجزیه ناپذیر از اطلاعات راجع به دنیا نگاه کرد، واقعیت هایی مثل "آسمان آبی است"، "گره سیاه است" یا "این اتم در این موقعیت قرار دارد". رابطه بین واقعیت های تجزیه ناپذیر در فضای منطقی مو به مو بیان می شود. با درست قراردادن *دریای واقعیات* در فضای منطقی، همه روابط منطقی ممکن بین همه واقعیات های ممکن می توانند به دقت تشریح شوند. هر حالت خاصی از هر دنیای ممکن درون فضای منطقی، با طرح خاصی از واقعیت ها نشان داده میشود. الگوی پویای واقعیتهای که مرا پشت میزم در یک لحظه خاص از امروز توصیف می کند، متفاوت از واقعیتهای است که مرا، فردا یا دیروز یا روزهای دیگر در پشت همین میز وصف می کند. اگر می توانستیم از ارتفاع بالا به *دریای اطلاعات* به دقت بنگریم و هر واقعیت را به رنگی در آوریم، طرح های تولید شده در هر موقعیت، به راحتی از

یکدیگر قابل تمیز می بودند. تاریخ حیات، و همه گزینه های دیگر آن و حتی احتمالات تحقق نیافته آن می تواند توسط مجموعه ای نامتناهی از " فیلم های واقعی " نمایش داده شود، که فرض می شود همه این فیلم ها در پهنه عظیم دریای اطلاعات قرار دارند.

در مدلی که از دریای اطلاعات ارانه دادیم، واقعیت ها عبارتند از واحدهای تجزیه ناپذیر بنیادی که جهت توصیف به کار می روند. چون این واقعیت ها تجزیه ناپذیر هستند، نمی توانند به واقعیت های کوچکتر تقسیم شوند. از این رو هر واقعیت تکه ای از اطلاعاتی است که برای مشخص کردن جزئی از دنیای مادی لازم است. هر واقعیت، بخشی از واقعیت جامع تری است که عینیتی را می سازد و این عینیت به طور کلی و به نحوی از انحاء نشان دهنده جهان فیزیکی است. این جهان می تواند جهان آشنای ما باشد، ولی در عین حال می تواند جهانی بیگانه باشد. مثلاً جهانی شبیه نپتون یا ونوس یا جایی که در آن قوانین فیزیک آشنای ما کارایی ندارند.

ارانه یک واقعیت یا مجموعه ای از واقعیت ها در جهان مادی، می تواند مانند تصویر آن واقعیت به نظر آید. سمبل، مانند واقعیت های عینی که در زیر آن جاری است، اطلاعات نهفته در منطق را مجسم می کند. مجموعه اطلاعات موجود در فضای منطق، شکل واقعی ساختار مورد نظر و همچنین پیوندهای میان واقعیت ها یا همان "شکل منطقی" آنها را شرح می دهد. از همه اینها گذشته، سودی ندارد اگر تلی از استخوان داشته باشیم ولی نتوانیم آنها را به صورت یک واحد یک تکه منطقی سرهم کنیم. تکه های اطلاعات لازم برای تشریح مجموعه استخوانها مانند واقعیت ها هستند، در حالی که دستورالعمل های لازم برای متصل کردن استخوانها، منطق آنها را در بر می گیرد. برای سرهم کردن یک ساختمان نمادین در جهان مادی، ترکیب واقعیت و منطق ضروری است. همه چیزهایی که تا کنون، در این جهان یا هر جهان دیگری، وجود داشته اند یا در آینده وجود خواهند داشت، می توانند با مجموعه کاملی از واقعیت های مرتبط به هم و نیز مجموعه ارتباطات منطقی بین این واقعیت ها، به طور کامل توصیف شوند.

دریای اطلاعات به دلیل این که می تواند همه تکه های اطلاعات خاص را به هر روش خاصی تهیه کند، بدون تغییر باقی می ماند. سابقاً گفتیم که این دریا، فضایی است ریاضی که همه اطلاعات ممکن و همه پیوندهای متقابل منطقی را که می تواند بین واقعیت های تجزیه ناپذیر وجود داشته باشد در بر می گیرد. مجموعه ای از واقعیت های تجزیه ناپذیر را که از نظر منطقی به هم مرتبط هستند، خوشه اطلاعاتی می نامیم. خوشه های اطلاعاتی تجزیه ناپذیر را نیز که از نظر منطقی با یکدیگر مرتبط باشند، ابر خوشه اطلاعاتی یا واقعیت مولکولی می نامیم. واقعیت مولکولی می تواند به واقعیت های تجزیه ناپذیر یا اتمی تشکیل دهنده اش تجزیه شود. چون هیچ واقعیتی به صورت مستقل نمی تواند وجود داشته باشد، به نظر می رسد که هر واقعیت اتمی داخل دریای اطلاعات با هر یک از واقعیت های دیگر درون این دریا به نوعی مرتبط باشد. بنابراین هر تکه از اطلاعات همزمان عضو تعدادی واقعیت های مولکولی مجزاست که باهم، هم پوشی دارند. ولی با وجود این که واقعیت های ممکن، قابلیت بالایی برای ارتباط متقابل دارند، قدرت ارتباط های مختلف می تواند بسیار با یکدیگر تفاوت کند.

حال اجازه دهید خود را به دنیای تخیلی بازی لگو بیافکنیم. دنیای بازی لگو از یک کیت لگو که ۱۰۰۰ قطعه (آجر) گوناگون در رنگ های گوناگون دارد، تشکیل شده و یک صفحه که هر مدل لگو را می توان روی آن بنا کرد. در این دنیای بازی، مکان هر قطعه لگو یک واقعیت اتمی است. رابطه هر قطعه با ۹۹۹ قطعه دیگر نشان دهنده ناحیه ای از فضای منطق آن است که در آن قرار دارد. هنگامی که مدلی را با استفاده از چند آجر یا همه آجرهای کیت می سازیم آجرهایی که بخشی خاص از مدل را تشکیل می دهند خوشه اطلاعاتی هستند یعنی مجموعه ای از واقعیت های تجزیه ناپذیر به هم پیوسته هستند. اگر دو مدل مجزا روی یک صفحه بسازیم، خوشه های اطلاعات نمایش داده شده توسط هر دو مدل قسمتی از یک واقعیت مولکولی را تشکیل می دهند.

ارتفاع این دنیای اسباب بازی عبارت است از حداکثر ارتفاع ممکن که از طریق چیدن همه ۱۰۰۰ آجر روی هم، به دست می آید. اندازه افقی این دنیا عبارت است از حداکثر فاصله ای که از کنار هم چیدن همین ۱۰۰۰ آجر، در یک خط به دست

می آید، به طوری که انتهای یکی به سر دیگری متصل شود. تعداد روش هایی که می توان هزار آجر را چید بسیار زیاد ولیکن متناهی است. آرایش های دیگر را نیز می توان دقیقاً با شماره گذاری آجرها از یک تا هزار و سپس ثبت مختصات فضایی هر یک در *دنیای بازی لگو* توصیف کرد. مجموعه همه این زیرمجموعه های مختصات ریاضی، کتابخانه ای از توصیفات را تشکیل می دهد که همه احتمالات فضایی داخل *دنیای بازی لگو* را مستند می کنند. اگر فهرست این توصیفات را تهیه کنیم می توانیم همه مدل های ممکن لگو را که با مختصات انتزاعی ریاضی وصف شده اند بسازیم. با انجام این کار دو چیز را کشف خواهیم کرد. یکی این که اکثریت این توصیفات انتزاعی ریاضی چیزی را که حتی به طور مبهم نشانی از یک ساختمان یا یک شیء قابل تشخیص داشته باشد را توصیف نمی کنند و دوم این که تعداد زیادی از آنها چیزهایی را توصیف می کنند که حتی از نظر اصولی قابل ساختن نیستند، مثلاً سازه هایی را توصیف می کنند که تحت تاثیر نیروی جاذبه به زمین می افتند. به جای آزمایش همه گونه ها، باید سعی کنیم که ساختارهای ثابت و پایدار را از میان توصیفات که ساختارهای نامربوط یا غیر ممکن را نشان می دهند، بیرون بکشیم. سپس می توانیم از این توصیفات برای نمایش همه توصیفات ساختمانی مدلهای لگو استفاده کنیم، و آن ها را از همه توصیفات که اشیاء مورد قبول را در بر نمی گیرد، بپالاییم. به این ترتیب، احتمال این که یک مدل قابل دوام بسازیم، زیاد می شود و می توانیم توصیفات نامربوط و غیر محتمل را در سطل زباله بیاندازیم.

دریای اطلاعات را می توان مانند نوعی *دنیای بازی لگو* بزرگ تصور کرد. اما، روشن است که *دنیای بازی لگو* که هم اکنون تشریح کردیم، وضوح تصویر کمی داشت. واقعیاتی که موقعیت هر آجر را تشریح می کردند، برای تعریف وضعیت دقیق *دنیای بازی لگو* در هر لحظه ضروری بودند. ولی این واقعیات به معنای دقیق کلمه تجزیه ناپذیر نبودند، زیرا اگر بیشتر دقت می کردیم می توانستیم موقعیت هر یک از ملکول های داخل آجر را نیز بیان کنیم. حتی برای توصیفی دقیق تر می توانستیم موقعیت هریک از اتم ها را در داخل آجر ثبت کنیم یا حتی برای وضوح بیشتر، موقعیت هر جزء زیر اتمی در داخل آجر را بیان کنیم. به طور کلی، یک توصیف کامل باید به زبان مجموعه ای از واقعیات های تجزیه ناپذیر نوشته شود. اما، به هیچ ترتیبی نمی توان مطمئن شد که، علی الاصول می توان توصیفی عینی از چنین جریانی را فرموله کرد.

ظاهراً این عدم قطعیت ناشی از این واقعیت حیرت انگیز است که، قوانین فیزیکی که در اجسام بزرگ مقیاس کاربرد دارند، مثلاً در توپ کریکت یا آجرهای لگو یا راکت تنیس، برای اجسامی در اندازه های اجزاء زیر اتمی کاربرد ندارند. وقتی که آجرهای لگو در *دنیای بازی لگو* آشیانی بزرگ مقیاس را در جهان ماکروسکوپی نمایش می دهند، می توان مکان دقیقی را به هر آجر تخصیص داد، و آن را اندازه گرفت. اما وقتی که آجرهای لگو پیک هایی از اجزای زیر اتمی دنیای میکروسکوپی هستند، اتفاق بسیار عجیبی می افتد. در اینجا دیگر نمی توانیم بگوییم که آجر معینی در این مکان قرار دارد یا در آن مکان، و در عوض باید این حقیقت گیج کننده را بپذیریم که هر آجر، همزمان همه مکانها را در داخل *دنیای بازی لگو* اشغال می کند. در این حالت، مکان یک آجر معین توسط برهم نهش^۲ کلیه مکان های فضایی آن توصیف می شود. این توصیف ها طوری میزان می شوند که آجر در برخی نواحی زیاده نمایی می شوند و در برخی نواحی کم نمایی^۳. از این رو ما باید به اصطلاحاتی نا آشنا رو بیاوریم و این تصور نسبتاً مضحک را بپذیریم که آجرهای لگو در مکان های مجزا قرار ندارند بلکه در تمام فضای لگو پخش شده اند.

این برهم نهش عجیب و موزون مکان های فضایی آجرها در مکانیک کوانتوم با تابع موج یا حالت کوانتومی توصیف می شود. عجیب است که، ظاهراً وقتی سیستم مشاهده یا اندازه گیری می شود حالت کوانتومی آن در یک آن نابود می شود (فرو می ریزد). اگر سرپوش *دنیای بازی لگو* را برداریم و سعی نکنیم که مکان همه آجرها را اندازه گیری کنیم، حالت کوانتومی سیستم دست نخورده باقی می ماند. اما به محض این که سرپوش را برداریم و سیستم را به منظور اندازه گیری حالت کوانتومی آن، مشاهده کنیم، تابع موج آن فرو می ریزد و وضعیت کوانتومی اش فرو می پاشد. وقتی که این اتفاق می افتد آجر ها دیگر

^۲ Superposition
^۳ Under-represented

مانند اشیای میکروسکوپی رفتار نمی کنند بلکه مانند اشیای ماکروسکوپی رفتار می کنند. ماده هر آجر در فضا فشرده می شود و فقط به یکی از صورت های تعریف شده در تابع موج آن کاهش می یابد. در لحظه ای که اندازه گیری یا مشاهده متوقف می شود آجرها دوباره شروع به پخش شدن می کنند و بار دیگر به حالت کوانتومی واقعی خود رجوع می کنند، که غیر قابل اندازه گیری است.

از این رو *دریای اطلاعات* دریایی است از نوع مکانیک کوانتومی، که از مخازن بی انتهای توصیفات کوانتومی در هم تنیده تشکیل شده است. گرچه این توصیفات چالش برانگیزند، اما با این حال کاملاً عینی به نظر می رسند و با اندازه گیری قابل تشخیص هستند. ممکن است توصیف غائی حقیقت به زبان تابع موج مکانیک کوانتوم نوشته نشده باشد. در حقیقت توابع موج کوانتومی ممکن است خود تصاویر ناتمامی از تعاریفی بنیادی تر باشند. ولی تا زمانی که تئوری کوانتوم اطلاع شود یا جایگزینی برای آن پیشنهاد و اثبات شود، مجبوریم که تصویر آشفته ای را که تئوری کوانتوم از واقعیت ارائه می دهد، که در عین حال از نظر تجربی قابل تایید است، قبول کنیم.

به نظر می رسد که اولین گام به سوی حیات را در روی زمین، می توان به آغاز تصویر سازی یا منشأ اولین سمبل (نماد) ربط داد. یعنی زمانی اولین قدمها به سوی حیات برداشته شد که اولین داده های (فاکت) اتمی و مولکولی که در *دریای اطلاعات* قرار داشتند در عالم فیزیکی واقعیت یافتند. فضای حقیقی در مقابل فضای انتزاعی. می توان تاریخ این رویداد را منشأ عالم و همه ماده درون آن دانست. در آن لحظه بود که، با خلق فضای واقعی، ماده و زمان حقیقی، امکان تصویر سازی به وجود آمد. ممکن است وسوسه شویم و فکر کنیم که شاید منشأ *دریای اطلاعات* مقدم بر منشأ عالم باشد. ممکن است قابلیت خلق کائنات، نیز درون کتابخانه های بی انتهای ریاضی *دریای اطلاعات* قرار داشته باشد. اما چنین تصویری زیاد منطقی نیست و بیشتر به نظر می رسد که فضا، ماده، زمان و *دریای اطلاعات* همزمان به عرصه ظهور در آمده باشند. اما، با طرح این سوال، ممکن است ریسک کنیم و این احساس را تقویت کنیم که *دریای اطلاعات* چیزی است بیش از یک مفهومی کمکی.

پس وقتی لاجرم طبق تعریف، این فضای اطلاعات نامتناهی قرار است انتزاعی، غیرقابل درک و ناملموس باقی بماند، چرا خود را با فکر *دریای اطلاعات* آزار بدهیم. یک دلیل این است که ظاهراً ساختارها و فرآیندهای معرف حیات طوری رفتاری می کنند انگار که *دریای اطلاعات* وجود دارد. از این رومی توان تصور کرد که همه موجودات بالقوه زنده و همه رویدادهایی که این موجودات در آنها شرکت داشته یا دارند یا خواهند داشت، توسط طرح های ریاضی به هم پیوسته مرتبی درون *دریای اطلاعات* کاملاً توصیف شده اند. به این ترتیب *دریای اطلاعات* پناهگاه غائی توصیفات است و بنیانی منطقی برای بازنمایی نمادها فراهم می کند. این دریا مکانی است که در آن، شکل منطقی و واقعی همه موجودات ممکن می تواند به طور قاعده مند عریان شوند و به تعاریف ریاضی صرف تنزل یابند. از یک موجود زنده گرفته تا یک روز داغ تابستان، موقعیت یک ذره زیر اتمی، یا ساختمان یک کتری، تعریف کامل ولی غیر قابل دستیابی مکانیک کوانتومی همه موارد بالا، می تواند در اعماق ژرف این دریا یافت شوند. از این رو *دریای اطلاعات* بوته آزمایشی است که اطلاعات همه عناصر ساختاری جهان مادی می تواند در آن گداخته شود. به این ترتیب توصیفات که به شکل اطلاعات محض ریاضی، تهیه و بیان می شوند زبانی جهانی برای توصیف تمام هستی اند. در واقع تمام هستی با الگوهای لرزانی از تعاریف مختلف درون ابعاد نامتناهی *دریای اطلاعات* تعریف می شود.

مجموعه همه طرح های محلی موجود در زمان و فضای چند بعدی به طرحی از مرحله بالاتر تبدیل می شود که " نشان اطلاعاتی" به همراه دارد. هر چه تعداد بیت های لازم برای تشریح وجهی از جهان مادی بیشتر باشد، آن وجه به مخازن مختلف یا واقعیت های مولکولی بیشتری منشعب می شود و طرح مرتبه بالاتر آن پیچیده تر است. اگر کسی می توانست بر فراز *دریای اطلاعات* پرواز کند و همزمان به همه ابعاد آن خیره بشود، می توانست هر چیز یا مجموعه ای از چیزها را، همچنین رویداد یا مجموعه ای از رویدادها را با یک ردیابی مشخص در دیار نامشهود خیالی اطلاعاتی، تشخیص دهد. اما، چون ما حتی

مجاز به بازکردن جعبه بی پایان حاوی *دریای اطلاعات* نیستیم، بگذارید از پرواز بر فراز آن صرف نظر کنیم، جزئیات دقیق تر این ردیابی ها نیز برای همیشه پنهان خواهد ماند.

دریای اطلاعات پارادوکس جالبی را به نمایش می گذارد. از یک طرف مجموعه بینهایت گسترده ای از توصیفات خام ریاضی را که همه احتمالات را تعریف می کنند در خود جای می دهد. از طرف دیگر آنقدر کوچک به نظر می رسد که هیچ فضایی را اشغال نمی کند. پس چگونه چیزی فاقد اندازه، می تواند قابلیت همه چیز را در خود داشته باشد. اگر بخواهیم از روش های امروزی ذخیره اطلاعات یعنی روش دو دویی (باینری) استفاده کنیم، حتی برای ذخیره کوچک ترین بخش از اطلاعات لازم برای توصیف کامل سیستم های کوانتومی پیچیده مانند گربه، کلیسای سن پل، یا یک مسابقه فوتبال، و سیستم هایی که با آنها درهم تنیده اند، به حافظه عظیمی نیاز داریم. و برای این کار باید فرض کنیم که می توان حالت کوانتومی را بدون نابود کردن آن اندازه گرفت. اما این پارادوکس، قلبی است، یعنی اصلاً پارادوکسی وجود ندارد. نیازی نیست که هیچ یک از اطلاعات داخل *دریای اطلاعات* ذخیره شوند، چون هیچکدام واقعا وجود ندارند. تنها چیزی که وجود دارد قابلیت ریاضی برای این اطلاعات است. هر توصیف ممکن از هر چیز ممکن، چون فقط به صورت بالقوه ذخیره شده، می تواند در نقطه کوچکی مثل سر یک سوزن خلاصه شود. یعنی در نقطه ای آنقدر کوچک که هیچ اندازه ای نداشته باشد و در واقع اصلاً وجود نداشته باشد. چقدر شگفت انگیز و کنایه آمیز است که بزرگترین و پیچیده ترین چیز کائنات هیچ فضایی را اشغال نمی کند و مکانی که اطلاعات همه چیزهای عالم را در میان آن جستجو می کنیم، خود یافت نمی شود.

دریای اطلاعات وجود ندارد و نمی توان آن را یافت، چون خارج از زمان قرار دارد. فقط در جریان بازنمایی است که اطلاعات در دسترس قرار می گیرند و بخش کوچکی از *دریای اطلاعات* در زمان تحقق می یابد و به طور غیرمستقیم قابل مشاهده می شود. برای هر پاره از اطلاعات در طول زمان، فقط یک سمبل می تواند وجود داشته باشد. ولی نابودی یک سمبل به معنی نابودی قابلیت آن اطلاعات نمی باشد. قابلیت اطلاعات یک سمبل، بدون توجه به خلق یا نابودی بخش هایی از زمان که در نتیجه خلق یا نابودی سمبل آن اطلاعات رخ می دهد، بدون تغییر باقی می ماند.

این مسئله نتایج جالبی برای مفهوم سفر در زمان در بر دارد. زیرا *دریای اطلاعات* حقیقتاً دریایی کامل است که اطلاعات ضروری برای تشریح حالات کوانتومی کلیه احتمالات را دربر می گیرد، بنابراین کل تاریخ و تمام تاریخ های جایگزین احتمالی باید درون آن قرار گیرند. برای مثال، توابع موجی که نبرد هیستینگز^۴ در سال ۱۰۶۶ میلادی را درست همان طور که اتفاق افتاده، توصیف می کنند، در اعماق پنهان *دریای اطلاعات* قرار دارند. همچنین توابع جایگزین دیگری هم وجود دارند که نبردهای بی شمار دیگری را شرح می دهند که در تاریخ به تحقق نپیوسته. در یکی از این نبردها ممکن است ویلیام توسط تیری که به چشمش فرو رفت کشته شده باشد و هارولد ممکن است فاتح از میدان خارج شده باشد. در نبرد دیگری، ویلیام فاتح " که تقریباً موفق شده بود، ولی نه کاملاً " به جای رسیدن و آتش زدن کشتی هایش ممکن است در مورد تهاجم به انگلیس تغییر عقیده داده و به نرماندی بازگشته باشد. در کنار نسخه های متفاوت نبرد هیستینگز، انسان می تواند مجموعه کاملی از تاریخ های جهان را بیابد؛ یعنی روایت های دیگری از رویدادهای کلیدی تاریخ و یا قرانن ناشی از آن. تاریخ چه بازیهایی می توانست بکند.

پس به نظر می آید که سفر در زمان می تواند به مسئله جستجو تقلیل یابد؛ چالشی که پیش ما قرار دارد، عبارت است از بازیابی ساختارهای اطلاعاتی صحیح از میان کتابخانه های لایتنای که همه واقیعت های ممکن را در بر می گیرند. ولی برای سفر در زمان، ابتدا باید بیرون از زمان سفر کرد و از دورنمای بی انتهای ریاضی *دریای اطلاعات* عبور کرد. به محض این که مجموعه ای از توصیفات کوانتومی مناسب انتخاب شدند، می توانیم بدون اجبار به دیدن سمبل ها، برای این حالت ها سمبل هایی

^۴ Battle of Hastings. (*۱)

^۵ در تاریخ واقعی، تیر به چشمان هارولد فرو رفت و ویلیام پیروز میدان بود.

بسازیم. اما نمی‌توانیم مشخص کنیم که مجموعه توصیفات کوانتومی که از زیر کلاه کوانتومی دریای اطلاعات بیرون کشیده ایم، از نظر تاریخی نسخه‌های معتبری از حوادثی که مدعی آن بوده‌اند هستند یا نه.

منظور از نسخه‌های معتبر، نسخه‌های صحیح است. فرض کنیم فقط یک نبردهیستینگز وجود داشته است. توصیف کامل کوانتومی این واقعیت، تمام واقعیت‌های اتمی ضروری برای بازسازی دقیق آن را در بر می‌گیرد. و این توصیف باید شامل تعریف بسیاری چیزها، منجمله‌الگویی که نوروں‌ها در مغز هر سرباز برمی‌انگیزد، فعالیت‌های سارکومرها^۶ در ماهیچه‌های سربازان و همچنین تعریف موقعیت و طبیعت هر برگ چمن در میدان نبرد و هر دانه‌شن در ساحل باشد. همچنین تکان برگ روی درختان، مکان و نوع ابرها و غیره، همه را باید در بر گیرد. دو نسخه از یک نبرد ممکن است فقط از این نظر متفاوت باشند که برگ خاصی در روی درخت خاصی در لحظه خاصی ذره‌ای حرکت کرده. هر چقدر هم این تغییر ناچیز به نظر برسد، اما در تاریخ فقط یک توصیف صحت دارد.

اگر ماشینی داشته باشیم که بتواند به طور سیستماتیک ناحیه‌ای از دریای اطلاعات را برای یافتن نسخه‌های احتمالی نبرد هیستینگز جستجو کند، و نیز دستگاه دیگری داشته باشیم که بتواند این اطلاعات را به نمادهای تصویری ترجمه کند، در این صورت علی‌الاصول می‌توانیم خروجی‌های این دستگاه را در بخشی از فضای خالی به اجرا در آوریم، و این نبرد را مشاهده کنیم. با بازسازی یک واقعه تاریخی می‌توانیم همان نتیجه‌ای را به دست بیاوریم که انگار در زمان سفر کرده ایم. راه حل دیگر این است که اطلاعات حسی مناسب را مستقیماً در اختیار مغزمان قرار دهیم؛ این کار به ما امکان می‌دهد نبرد هیستینگز را بدون نیاز به حضور در آن، تجربه کنیم. اگر چه توصیف کامل کوانتومی نبرد هیستینگز حقیقی، جایی درون دریای اطلاعات قرار دارد، ولی بسیار بعید است که بتوانیم زمانی آن را بازیابی کنیم. معه‌ذاً ممکن است نسخه‌ای از این نبرد را بیابیم که با وجود نقیصه‌های تاریخی، به اندازه کافی به نبرد واقعی نزدیک باشد. بنابراین، قدرت الگوریتم جستجوی ما در تشخیص ساختمان‌های اطلاعاتی مناسب متفاوت، و ناتوانی ذاتی ما در تخمین واقع بینانه اعتبار تاریخی این نسخه‌ها، سفر ناقص ما را در زمان، محدود می‌کند.

تحقق یک واقعیت به معنی تکوین تصویر آن است. این اتفاق وقتی رخ می‌دهد که سمبلی در دنیای واقعی مانند سفیری از توصیفات ریاضی زیر بنایی عمل می‌کند. هر سمبل یا تصویر در دنیای واقعی متناظر است با توصیفی در دریای اطلاعات. ولی گرچه تصویر موجود در فضای واقعی و خوشه‌های اطلاعاتی که این تصویر نماینده آنهاست، شکل منطقی مشترکی دارند، نباید یکی را با دیگری اشتباه بگیریم، چرا که ممکن است خوشه‌هایی اطلاعاتی باشند که نتوان آنها را به فرم سمبلیک نمایش داد. موانع موجود بر سر راه تحقق این واقعیت‌ها، هم نتیجه ماهیت این زبانهای بیولوژیک تاریخی است که اطلاعات آنها را بیان می‌کنند و هم نتیجه آن فرایندهای طبیعی تاریخی که دریای اطلاعات را کاوش کرده‌اند. می‌توان تصور نمود که مجموعه این خوشه‌های اطلاعاتی ممنوعه یا تحقق ناپذیر در زیر ناحیه‌ای از دریای اطلاعات قرار گرفته که دریای ناشناخته یا سری نام دارد.

واقعیت‌های درون دریای اطلاعات هم نسبت به ماهیت نمادهایی که آنها را به تصویر می‌کشند و هم نسبت به محیطی که در آن نمایش داده می‌شوند، بی‌طرف هستند. به عنوان مثال، گرچه دریای اطلاعات تعریفی در باره سیبی که از درخت بر روی سر نیوتون می‌افتد در خود دارد، از سیبی نیز که از درخت می‌افتد و در فضا به بالا پرتاب می‌شود تعریفی دارد. منطق ساختارهای اطلاعاتی، وجود گرانش را فرض نمی‌گیرد. دریای اطلاعات می‌تواند توصیفی از جهان دارای گرانش و همچنین جهان بدون گرانش داشته باشد. دریای اطلاعات هم چنین حاوی اطلاعاتی در مورد موجودات بالقوه‌ای است که وجودشان در روی زمین قابل تصور نیست. مثلاً، مخلوقات عجیبی که می‌توانند در فضای بیرون از زمین، یعنی جایی که نیروی گرانش ناچیز است رشد کنند، ولی در محیط گرانشی نامعقول به نظر رسند. از این رو شرایط پیرامونی، در تعیین این که کدام

^۶ Sarcomeres. (۲*)

یک از نمایش های بالقوه قابل قبولند، نقش مهمی برعهده دارند، و این نمایش ها تا اندازه ای توسط روابطی منطقی که با خوشه های اطلاعاتی پیرامون خود دارند تعریف می شوند. *دریای اطلاعات* خود هیچ تجربه مستقیمی از جهان مادی ندارد. منطق آن ماوراء هستی قرار دارد، همان طور که ساختار آن وامدار گفتگوی طولانی پاتزده میلیون ساله اش با جهان مادی نیست.

اکنون ممکن است از خود بپرسیم که اطلاعات چگونه در *دریای اطلاعات* پخش شده اند. آیا اطلاعات جای گرفته در فضای منطق به طور منظم مرتب شده اند یا به طور کتره ای و تصادفی؟ آیا می توان *دریای اطلاعات* را بر حسب موضوع به ناحیه هایی تقسیم کرد و آیا این نواحی فرضی طوری سازماندهی شده اند که زیر ناحیه های آنها به هم مرتبط باشند؟ آیا هر ناحیه مجزا است و یا این که مرز بین نواحی پیوسته است؟ حتی ممکن است سوال کنیم که آیا می توان وسعت *دریای اطلاعات* را محدود کرد یا نه. یعنی، وقتی که وارد گستره ریاضی *دریای اطلاعات* شدیم، علی الاصول می توانیم جستجوی جامعی در محتویات آن انجام دهیم؟

چون *دریای اطلاعات* مخزن بالقوه اطلاعات است و خارج از جهان فضا و نماد ها قرار دارد، بود و نبود نظم در سازمانش بی اهمیت است. فاصله بین هر جفت از واقعیت ها، فارغ از این که چقدر با یکدیگر تفاوت دارند، یکسان است. بهتر است فرض کنیم که واقعیت های مشابه موجود در ساختارهای منطقی مشابه، به جای این که تصادفی در سرتاسر دریا پخش شده باشند، طوری سازماندهی شده اند که در گروه های یکسانی قرار می گیرند. نتیجتاً می توان فرض کرد که *دریای اطلاعات* به زیر بخش هایی تقسیم شده است که اطلاعات مشابه در یک بخش جای گرفته است. اطلاعات، به جای دسته بندی زمخت و غیر دقیق، به خوبی مرتب می شوند، به طوری که توالی ملایمی بین خوشه اطلاعاتی اول با خوشه بعدی وجود دارد. چون *دریای اطلاعات* حاوی تعاریف ریاضی همه چیزهای ممکن است، هرچیز در جهان مادی می تواند فقط مثالی از مخزن ریاضی اقلام مربوط به هم باشد. و هر یک از این مخازن باید در ناحیه مناسبی از *دریای اطلاعات* یافت شوند.

مخزن اقلام مرتبط ممکن است زیر مجموعه کوچکی از مجموعه عناصر رده بالا باشد. برای مثال، توصیف یک گربه منکس^۷ ممکن است در فضای گربه منکس یافت شود. ولی این فضا خود ناحیه کوچکی از فضای بسیار بزرگتری به نام فضای گربه باشد. اما، فضای گربه فقط ناحیه کوچکی از فضای خانواده گربه ها است که آن هم به نوبه خودش ناحیه ناچیزی از فضای همه گونه های پستانداران است. این فضا هم ناحیه ای بسیار کوچکی از فضای همه چیزهای زنده است، که آن هم به نوبه خود ناحیه ای کوچک از فضای همه موجودات زنده ممکن، می باشد. عروسک های روسی را به یاد می آورد که هر کدام به سلسله مراتبی از عروسک های بزرگتر و کوچکتر تعلق دارند، هر قلم از *دریای اطلاعات* می تواند همزمان عضو فضاهای بهم پیوسته بی شماری باشد.

تصور فضایی ریاضی که به نواحی نسبتاً متجانسی از مجموعه اقلام مرتبط تقسیم شده، این سوال را پیش می آورد که چگونه می توان نوع خاصی از چیزها را تعریف کرد. شاید معیارهای منطقی قاعده مندی وجود دارند که با استفاده از آنها می توان بدون ابهام خوشه ای اطلاعاتی را به جای یک ناحیه به ناحیه دیگری از *دریای اطلاعات* تخصیص داد. در این صورت در لبه های نواحی چه اتفاقی می افتد؟ آیا انتقال از یک ناحیه به ناحیه دیگر، آرام و پیوسته است یا این که با یک پرش گسسته مشخص می شود؟ آیا بین انواع ساختارهای مختلف ریاضی تعدادی نواحی خاکستری وجود دارند، که توصیفات موجودات بالقوه ناکجا آباد منطقی در آن در تله می افتند؟

اکنون برای بررسی این سوالات، از ناحیه ای از *دریای اطلاعات* دیدن خواهیم کرد که مجموعه ای از خوشه های اطلاعاتی را در خود جای می دهد که قابلیت سیب شدن دارند. فعلاً این ناحیه را فضای سیب می نامیم که گوشه کوچکی از

^۷ گربه بی دم Manx

هایپرمارکت بزرگتری است که فضای میوه نام دارد. به جای کاوش مستقیم باغ های پهناور ریاضیات که شامل اطلاعات بی شکل این نواحی هستند، نمادهای سیب را از دنیای واقعی قرض خواهیم گرفت. از این نمادها برای نمایش هر یک از خوشه های اطلاعاتی که درون فضای سیب ذخیره شده اند، استفاده خواهیم کرد. چون فضای سیب مجموعه کاملی از توصیفات سیب های گوناگون را در بر می گیرد، لزوماً همه نمادهایی که قرض می گیریم، بو و مزه سیب های آشنا را ندارد. باید ملتفت بود که ملاک شمول و محدوده ای که بر فضای سیب تحمیل می کنیم تا حدی اختیاری است.

وقتی که بچه بودم و با مادر بزرگ به فروشگاه بزرگ محله می رفتم، محال بود که بدون شوکولات حیوانات یا سیب قرمز به خانه برگردیم. شوکولات حیوانات را معمولاً چند ثانیه بعد از خریدن می بلعیدم، گرچه هراز گاهی آنرا در جیبم نگاه می داشتم و هنگام برگشت به خانه، در طبقه بالای اتوبوس شماره سیزده می خوردم. قسمت ناراحت کننده این داستان، سیبی بود که معمولاً در ادامه کار می آمد. این طور نبود که من اصلاً سیب قرمز دوست نداشتم باشم، بلکه مسئله این بود که شوکولاتهای شکل حیوانات خیلی خوشمزه تر بودند. هیچوقت نشمرده ام که چند بار به این خرید ها رفته ایم و مادر بزرگ چند سیب به من داده است. ولی حالا فرض کنید که من بخواهم برای جستجوی آن سیب ها داخل فضای سیب بشوم. البته عین همان سیب ها نیستند ولی خیلی شبیه به آنها هستند و هنوز گرمای دست مادر بزرگ را دارند. من می دانم که آن سیب ها آنجا هستند، چون باید آنجا باشند. و من تصمیم می گیرم که آنها را پیدا کنم و برای بار دوم بخورم. برای این که می خواهم با آنها جشن بگیرم، و آنقدر پرخوری کنم تا دیگر جا نداشته باشم.

خوشبختانه به نظر می رسد که فضای سیب به زیر فضاهای زیادی تقسیم شده است. برای هر کدام از آنها تابلوهای راهنمای خوبی گذاشته اند و خیلی از علامت ها زیر ناحیه های مورد علاقه مرا نشان می دهند. مثلاً فضای همه سیب های قرمز خورده شده در اتوبوس های شماره سیزده. این زیر فضا مطمئناً باید حداقل بعضی از سیب هایی را که من بدنبالشان هستم در خود جای داده باشد. با این همه من به زودی به یک زیر فضای بزرگتر برمی خورم که نامش این است: فضای همه سیب های قرمزی که تا کنون توسط پسری جوان به فاصله ۲۴ ساعت بعد از خوردن شکلات حیوانات خورده شده است. اما، وقتی مکان عالی تری را برای جستجو کشف می کنم، احساس خوشبختی فوق العاده ای می کنم. اینجا "فضای سیب های سرخی که تا کنون در مغازه جان بارنز فروخته شده" است. چون مادر بزرگ من بجز آنجا هیچ جای دیگری خرید نمی کرد، تمام سیب های من باید جایی در میان این زیر فضا قرار داشته باشند. از شانس خوبم، وقتی وارد این زیر فضا می شوم تابلوهای راهنمای بیشتری مرا به فضاهای زیر و زیرتری راهنمایی می کنند. یکی از اینها زیر ناحیه ای است که شامل فضای همه سیب های قرمزی که تاکنون از مغازه جان بارنز توسط مادر بزرگی برای نوه اش خریداری شده است می باشد. وارد این فضا می شوم و بالاخره تابلوی راهنمایی پیدا می کنم که مرا به زیر زیر فضایی هدایت می کند که فضای همه سیب هایی که تا کنون از مغازه جان بارنز توسط مادر بزرگی به نام راشل برای نوه اش آدریان خریداری شده است. این فضا تقریباً چند صد سیب دارد و نتیجه می گیرم که اینها درست همان سیب هایی هستند که وقتی بچه بودم مادر بزرگم به من می داد. چقدر از این که فهمیدم آنها هنوز آنجا هستند خوشنود شدم. حقیقتاً چقدر عجیب بود اگر می توانستم دوباره آنها را بخورم. ولی متأسفانه همان طوری که هنگام جستجوی نبرد تاریخی هیستینگز پیش آمد، در واقع هیچ روش روشنی برای سنجش اعتبار تاریخی هیچ یک از سیب های مناسبی که پیدا می کنیم وجود ندارد. از این رو گرچه اصولاً می توان این سیب ها را یافت، ولی در عمل احتمال دارد که قابل بازیابی نباشند.

این زیر زیر فضاهای مربوط به فضای سیب، ابعاد بالاتر این فضا را تشکیل می دهند. هر یک از این زیر فضاهای شامل مجموعه ای از خوشه ها است که در آنها اطلاعات یکسان در محیط های اطلاعاتی و منطقی متفاوت جامی گیرند. تعداد ابعاد، فقط محدود به روش های متفاوتی است که می توان فضایی ریاضی را تقسیم بندی کرد. مثلاً، این جمله کاملاً در فضای همه نسخه های بالقوه ممکن کتاب هایی که تیتراشان حاوی کلمه "حیات" است، قرار دارد. یک تعریف مشابه دیگر برای

این جمله می تواند در فضای همه جمله های ممکن که با کلمه "یک" شروع می شوند یا در فضای همه جملات ممکن که تاکنون در کمبریج نوشته شده اند یا فضای همه جملات ممکن که تا کنون در دیرگاه سه شنبه شبی در یک کلمه پرداز^۸ تایپ شده اند یافت شود. از این نظر، دریای اطلاعات چند تراز است^۹. اگر اطلاعات در یک بعد از بین برود می تواند از بعدی که منطقاً به آن مرتبط است بازایی شود. وقتی در ناحیه ای از دریای اطلاعات می ایستید همزمان در کلیه ابعادی که منطقاً به آن مرتبطند ایستاده اید. از این رو، هر خوشه اطلاعاتی مانند نقبی است که به فضاها و زیر فضاها به هم پیوسته بیکرانی راه دارد. چون هر واقعیت ابعاد متعددی دارد، برای این که یک نماد بتواند از نظر ریاضی کاملاً حذف شود، باید خوشه های اطلاعاتی مربوط به آن واقعیت در همه ابعاد حذف شوند.

اکنون فرض می کنیم که فضای سیب فاقد هر گونه سازمانی است. نتایج این امر وقتی مشخص می شود که خود را موظف به ورود به فضای سیب و جستجوی سرخ ترین سیب های ممکن بنماییم. تنها محدودیت ما در این کار این است که باید در یک برهه زمانی ۲۴ ساعته این کار را انجام بدهیم و اجازه داریم فقط یک سیب برداریم. زمانی که وارد فضای سیب می شویم با دریایی از سیب ها که در افق و در همه جهات گسترده شده اند احاطه می شویم. سیب های قرمز، سیب های سبز، زرد، قهوه ای، رسیده، گندیده، لکه دار، کیود شده، بزرگ، کوچک، سیب های پختنی، سیب های معیوب و سیب های چند رنگ. همه آنجا هستند، بعضی ها ترش هستند و بعضی شیرین، بعضی هسته دارند و بعضی ندارند. برخی به بزرگی برج های تجارت جهانی هستند و برخی به کوچکی یک کفشدوزک. هر از گاهی سیب سرخی را در دریایی از سیب های سبز تشخیص می دهیم و می خواهیم باور کنیم که رگه ای از قرمزی یافته ایم ولی با مشاهده این که این رگه به دریای زردی منتهی می شود نا امید می شویم. وقتی که سببی را بر می داریم متعهدیم که آن را برگردانیم، ولی اگر آن را برنگردانیم، بعید است که دوباره با آن مواجه شویم. و اگر آنقدر بد شانس باشیم که داخل بُعد نامناسبی از فضای سیب شویم، مثلاً فضای سیب های سبز، حتی با یک سیب قرمز مواجه نخواهیم شد، چه برسد به سرخ ترین سیب ممکن. حتی ممکن است متوجه شویم که در ناحیه ناشناخته ای از فضای میوه افتاده ایم، و دوروبرمان میوه هایی هستند که رنگ های عجیبی دارند و نا آشنا و غیر قابل توصیف اند.

بعد از جستجوی زیاد بالاخره سببی را انتخاب می کنیم که به طور حیرت آوری سرخ است. چه خوب شد که سیب های قبلی را برنداشتیم. با این حال، مثل کسی که در لایبرنت همپتون کورت^{۱۰} گیر افتاده است، خبر نداریم که فقط چند ردیف آن طرف تر سیب های سرخ تری وجود دارد. سرخ ترین سیب ها چند باغستان دورتر در جای دوری از فضای سیب قرار دارند. ولی کم ترین شانسی برای یافتن آن نداشتیم. در حقیقت در یک فضای سیب تصادفی باید خیلی خوشبخت باشیم که سببی را بیابیم که حتی ذره ای تمایل به سرخی دارد. در این فضای سیب آشفته، مجبوریم رضایت بدهیم و به جای راه حل های کلی و جامع، راه حل های محلی یا موضعی را برگزینیم. اگر احتمال ضعیفی هم برای یافتن سیب سرخ باشد باید احمق باشیم که چیزی را که به سختی شبیه به آن چیزی است که دنبالش هستیم، نادیده بگیریم. مشکل دیگری که در رابطه با فضاها و غیر همبسته وجود دارد این است که، حتی اگر شانس بیاوریم و اتفاقاً به چیزی که فکر می کنیم مطلوب ترین گزینه است بر بخوریم، این مسئله قابل اثبات نیست. عدم قطعیت همیشه بر روی همه راه حل هایی که برای این مشکل می یابیم، سایه خواهد افکند. آیا ممکن است که راه حل بهتری جایی دیگر در میان دریای گسترده احتمالات قرار داشته باشد؟

اما در فضاها و همبسته، یعنی جایی که انواع چیزهای مشابه کنار هم قرار گرفته اند، جستجوی یک موضوع خاص بسیار راحت تر است. در این نوع فضاها، به محض این که ناحیه صحیح را می یابید به طرف انواع مشابه آن چیز خاص راهنمایی می شوید. در فضای سببی که همبسته است، همه سیب های سبز در فضای سیب های سبز خوشه بندی شده اند و سیب های زرد در فضای سیب زرد، همان طور که انواع دیگر سیب ها نیز در زیر فضای متناسب خودشان قرار خواهند گرفت.

^۸ Word Processor
^۹ degenerate
^{۱۰} Hampton Court (*۳)

هر چه همبستگی یک فضا بیشتر باشد، دارای ابعاد بیشتری خواهد بود. در فضای سیب سرخ، یافتن سرخ ترین سیب ممکن بسیار ساده بود. سخت ترین جنبه کار این بود که اولین رگه های سرخ را بیابیم. بعد از آن، یافتن سرخ ترین سیب مستلزم دنبال کردن باریکه سرخ بود تا وقتی که به سرخ ترین سیب برسیم. به این ترتیب ابعاد بالاتر این فضا، مجموعه سیب ها را حتی بیشتر، مثلاً تا فضای سیب کمرنگ یا فضای سیب تیره همبسته می کردند. بعداً خواهیم دید که ماهیت هم بسته فضای ریاضی کمک می کند که این فضا مانند محیطی مناسب برای فرآیند های تکامل طبیعی عمل کند.

اکنون که به سازمان و محتوای دریای اطلاعات بذل توجه کرده ایم، اجازه دهید نگاهی به وسعت آن بیاندازیم. به جای این که پرسیم آیا میتوان تا انتهای آن را پیمود، ابتدا به این پرسش آسان ترمی پردازیم که آیا یک ناحیه مشخص را می توان تا انتها پیمود؟ فضای همه سیب های سرخی که تا کنون در مغازه جان بارنز فروخته شده اند، چنین ناحیه ای است و شامل اطلاعاتی است که نه تنها در فضای منطقی بلکه در زمان نیز جای گرفته است. زمان، هم ماهیت امکانات مجاز درون این فضا را مشخص می کند و هم آنها را محدود می کند، یعنی شروع و پایان آنها را به روشنی معین می کند. تنها محدودیت این است که نمی توان با دقت دلخواه فضا را تعریف کرد. می توان پرسید که آیا این فضا شامل سیب هایی می شود که ابتدا از جان بارنز خریداری شده اند ولی بعداً به دلیل آفت زدگی یا گذشتن تاریخ مصرف به آن برگردانده شده اند یا نه؟ آیا ممکن است این فضا شامل سیب هایی بشود که به جای فروش رفتن، دزدیده شده اند یا سیب هایی که توسط شاگرد فروشنده های گرسنه پنهانی خورده شده اند؟ همچنین می توانیم به ناحیه ای برگردیم که کلیه تعاریف ممکن نبردهای جایگزین هیستینگز را در خود جای داده اند، و از سازماندهی آن متعجب شویم. آیا نبرد وقتی شروع شد که سرباز های نرمان (قوم اسکاندیناویایی) قدم به خاک انگلیس نهادند، یا در لحظه ای که اندیشه تهاجم به فکرشان خطور کرد؟ و آیا نبرد وقتی خاتمه پیدا کرد که تیر به چشم هارولد فرو رفت یا وقتی که ویلیام فاتح پیروز مندان به سوی لندن راند؟ می توانیم به دلخواه خود هر نوع ساختار غیر واقعی را به این واقعیت تحمیل کنیم. خوب، درباره فضای سیب چطور؟ آیا این فضا لبه دارد یا این که سیب ها فقط بزرگ و بزرگتر و یا کوچک و کوچک تر می شوند یا این که بینهایت تنوع دارند ؟

اگر می توانستیم به انتهای دریای اطلاعات دست پیدا کنیم، آیا قانع می شدیم که متناهی است؟ در قرن ۴ قبل از میلاد آرکییتاس^{۱۱} دوست افلاطون بحث مجاب کننده ای را در باره نامتناهی بودن فضا به راه انداخت که مستقیماً عقیده ارسطو را در مورد متناهی بودن فضا به چالش می طلبید. در یک آزمایش فکری آرکییتاس فرض کرد که به مرز کائنات رسیده است. وقتی به آنجا رسید از خود سوال کرد که آیا می تواند چوبش را به آنطرف مرز بیرون ببرد و نتیجه گرفت که بی معنی است اگر نتواند این کار را انجام دهد. اما، اگر می توانست چوبش را بیرون ببرد، آن چیزی که در بیرون قرار گرفته بود باید یا جسم می بود یا مکان. از این رو آرکییتاس باید به همین روش تا ابد پیش می رفت و هر بار که به مرز جدیدی می رسید همین سوال را تکرار می کرد. بهترین جواب او از عهد باستان، سخن اسکندر آفرودیسی بود که گفته بود، زمانی که آرکییتاس به لبه کیهان برسد، نه توسط مانعی که در مرز کیهان است بلکه فقط به این خاطر که چیزی خارج از آن قرار ندارد نمی تواند چوبش را بیرون ببرد. از این گذشته، چگونه ممکن بود که چوبی را بیرون و در هیچ فرو برد و چگونه چیزی می تواند، درون چیزی که خودش وجود ندارد، به وجود بیاید؟ چالش مقابل آرکییتاس این است که فضا می تواند متناهی باشد بدون این که لبه داشته باشد. با وجود این صحبت ها و مخالفت های دیگری که با لایتنای بودن فضا وجود دارد، جالب است که به طور خلاصه اشاره ای بکنیم به نتایج این مسئله بر جستجوی ما در فضای سیب به دنبال سرخ ترین سیب. این اندیشه که می توان سرخ ترین سیب ممکن را یافت، حتی در تنوری، مستلزم این است که فضای جستجو متناهی باشد. اما اگر فضا نامتناهی بود، امکان نداشت که حتی در تنوری نیز دنبال سرخ ترین سیب ممکن بگردیم، چون احتمال انجام جستجوی همه جانبه وجود نداشت.

^{۱۱} آرخوطس Archytas. (۴*)

حال بگذارید مانند آرکیتاس خود را در لبه دریای اطلاعات تصور کنیم. چون این دریا هیچ فضایی را اشغال نمی کند، هیچ مرزی نمی تواند دامنه اش را محدود کند. ما به خاطر بحث کنونی دریای اطلاعات را به دو زیر فضا تقسیم می کنیم، دریای واقعیت ها و فضای منطق. چون دریای اطلاعات شامل دو زیر فضا است که یکی در درون دیگری جای دارد بنابراین به نظر می رسد که فضای منطق می تواند اندازه دریای واقعیت ها را محدود کند، مثلاً، واقعیت هایی وجود دارند که هیچ نوع ارتباطات منطقی برای آنها وجود ندارد. اگر می خواستیم نقطه نظر طرفداران ارسطو را که می گویند فضا متناهی است بپذیریم، باید استدلال می کردیم که ماده درون کیهان نیز متناهی است. به این ترتیب نتیجه می گرفتیم که مجموعه همه توصیفات ریاضی تمام چیزهای ممکن در کائنات نیز باید متناهی باشد. البته استدلالی از این نوع بیهوده است چرا که قبلاً توضیح دادیم که دریای اطلاعات چیزی در مورد دنیای واقعی نمی داند، بلکه فقط قابلیت تحقق نمادها را دارد. به سختی می توان تصور کرد که دریای اطلاعات حاوی توصیفات در باره چیزهایی باشد که نمی توانند در کائنات آشنای ما تحقق یابند، ولی با این وجود، این مورد دعوی نیست.

اگر قرار بود دریای اطلاعات مرزی داشته باشد که هیچ چوبی نتواند از آن عبور کند چه می شد؟ در این صورت لازم بود که مواعی ریاضی وجود داشته باشد تا احتمالات را محدود کنند، هستی نیز مرز مشخصی با نیستی داشته باشد. ماورای این صخره های ریاضی پرتگاهی قرار دارد که به خلای فرضی منتهی می شود که هیچ قابلیت برای اطلاعات یا منطق ندارد و در آن هیچ نوع نماد سازی نمی تواند رخ دهد، چون طبق تعریف هر نماد باید تصویر یا تجسم چیزی باشد، گرچه می توان استدلال کرد که هر چیز خارج از مرز فضای ریاضی، خود می تواند نمادی برای فضای خالی باشد. اما، اگر فضای ریاضی بیکران باشد، در این صورت هیچوقت ما از حدود نامتناهی اش بیرون نمی افتیم و احتمالات هم نامتناهی است.

اکنون روشن است که برای همه چیزهایی که قابلیت به وجود آمدن دارند، می توان حداقل یک نوع فضای مناسب فرض کرد که همه نمونه های ممکن آن را در خود جای می دهد. همچنین به نظر می رسد که همه نمادها ناحیه ای را در یک زیر فضای ریاضی کاوش می کنند که از قبل مقرر شده است. همچنین واضح است که مجموعه کامل همه نمونه های ممکن یک چیز خاص بسیار بیشتر از فضا و زمانی است که برای تحقق همه آن نمونه ها در دسترس است. زمین حدود ۴,۶ میلیارد سال پیش خلق شد و تقریباً ۳,۹ میلیارد سال پیش به اندازه کافی سرد شد تا اولین تخته سنگ ها بوجود بیایند. بدون اغراق باید گفت که پهنه یکپارچه زمین همراه با گذشت ۳,۹ میلیارد سال از تشکیل اولین سنگ ها، فقط برای تحقق بخش کوچکی از دریای نامتناهی توصیفات که درون دریای اطلاعات جای گرفته اند و همه نسخه های ممکن و جایگزین نبرد هیستینگز را توصیف می کنند، کافی است. اگر همه زمان و فضای قابل دسترسی، برای تفسیرهای متفاوت این نبرد استفاده شده باشد، جای بسیار کوچکی اضافه می آید که باید برای همه چیزهای دیگر در نظر گرفته شود. تاریخ چقدر می توانست ملال انگیز باشد!

تاکنون فقط به این مسئله اشاره کرده ایم که ممکن است ساختارهایی منطقی درون فضای سبب وجود داشته باشند که در فضای مادی قابل نمایش نیست. این نواحی ممنوعه دریای اطلاعات را دریای سری یا پنهانی نامیدیم، چرا که محتوای غیر معقول آنها، نمی تواند در دنیای واقعی بروز یابد و نتیجتاً باید از کنار آنها با سکوت عبور کرد. اگر واقعاً این چنین نواحی وجود داشته باشند، می توانیم انتظار داشته باشیم که بعضی از سبب های بالقوه فضای سبب به محض این که لمسشان کردیم ناپدید شوند. این میوه های ممنوعه را نمی توان خورد، همان طور که در دنیای واقعی نیز این میوه ها نمی توانند وجود داشته باشند، و خوشه های اطلاعاتی که ساختمان آنها را مشخص می کنند فاقد نماد در دنیای واقعی هستند. مثل این است که کل نواحی فضای سبب با حصار از ما جدا شده و سبب هایی دارد که حضورشان را احساس می کنیم و به نحو هوس انگیزی نزدیک ما هستند ولی تا ابد دور از دسترس ما باقی می مانند.

دریای اطلاعات، دنیایی است ماورای تجسم و تاریخ، که توسط اطلاعات و منطق تعریف شده ولی عاری از فرم و شکل است. این دنیا، دنیایی امن و آرام است. دنیایی است که در آن همه احتمالات در یک اتحاد و یک پارچگی به هم پیوسته

در کنار هم آشیان کرده اند. دنیایی که در آن هر چیزی جزئی است از همه چیزهای دیگر. فقط وقتی که اجزاء *دریای اطلاعات* توسط تاریخ تحقق پیدا کنند و نمادهای گوناگون با یکدیگر رقابت و برای جاودانگی مبارزه کنند، در این زمان بازی حیات آغاز می شود. فقط زمانی که اطلاعات از وادی تخیلی *دریای اطلاعات* به دنیای حقیقی گذر می کنند، اطلاعات در ژنها طوری رفتار می کنند که انگار مایلند خود را جاودانی کنند، و به جای منطق مجرد، در دنیای واقعی منطق شل و ول، اعلام وجود می کنند.

دلیل وجود تاریخ فقط این است که تعداد عناصر ممکن بسیار بیشتر از منابع زمان و فضایی است که برای نمایش همه آن عناصر در دسترس است. در اینجا کشمکش جریان دارد که گوهر فرآیند حیات را به روشنی نشان می دهد. یکی از مشکلات عظیم حیات تخصیص منابع است. ولی این کشاکش چگونه در دنیای واقعی برطرف می شود؟ واضح است که برای جستجو و انتخاب باید اصولی وجود داشته باشد. بنابراین، حیات فرآیندی است که در جریان آن، فضای ریاضی همه چیزهای ممکن جستجو می شود. این مسئله عیناً هم در مورد چیزهای مشخص و هم در مورد رویدادها به کار می رود. بنابراین حیات مسابقه ای برای جاودانه کردن نماد هر جسم در زمان و فضای حقیقی است.

امتیاز این مدل حیات که بر مبنای اطلاعات پایه گذاری شده، این است که به ما امکان می دهد توصیف کاملی را از موجود باب کنیم که همه ابعاد نابرابری را که اطلاعات در طول آن پخش شده است، در خود جای می دهد. وقتی این توصیفات به زبان بین المللی اطلاعات ترجمه می شوند، می توانند متناظر فضای آن قرار گیرند. معادل گرفتن حیات با جستجوی فضای ریاضی، این امتیاز را دارد که چیزی اختراع یا طراحی نمی شود، چرا که قابلیت همه چیز از قبل در این فضا موجود است. به این ترتیب حیات به صورت فرآیندی تعریف می شود که نمادهای بالقوه درون *دریای اطلاعات*، مکانی که همه از آن برآمده ایم و همه باید به آن برگردیم را، خلق و بازیابی می کند.

اکنون مایلیم روی ناحیه *باغ وحش اطلاعات* در *دریای اطلاعات* تمرکز کنیم که حاوی خوشه هایی اطلاعاتی است که قادر به تولید موجودات زنده اند. وقتی وارد باغ وحش اطلاعات می شویم احساس می کنیم که نوع دیگری هایپرمارکت است که به جای کیت های ژن، قفسه های آن با کیت های اطلاعاتی پر شده اند. بنابراین می توان آن را هایپرمارکت کیت های اطلاعاتی نامید. برخلاف کیت های ژن که فاقد ابعاد رشد، آموزش و فرهنگ هستند، کیت های اطلاعات حاوی همه اطلاعات لازم برای توصیف کامل موجود زنده هستند. برخلاف کیت هایی که در *فضای ژن* ذخیره شده اند، اگر کسی یک کیت اطلاعات را از روی قفسه های هایپرمارکت اطلاعات بردارد و موجودی را که آن کیت توصیف می کند سرهم کند، آن موجود رونوشت دقیق موجودی چند بعدی است که تصویر روی جعبه نشان می دهد.

باغ وحش اطلاعات به زیرفضاهای نامحدودی تقسیم شده است که هر کدام شامل کیت های اطلاعاتی نمونه ای خاص هستند. مثلاً، یکی از این نواحی ممکن است حاوی تعداد نامتناهی موتزارت باشد که یکسان به نظر می رسند. بنابراین اگر شخصی ۴۰ کیت موتزارت را به طور تصادفی از نواحی جدای فضای موتزارت انتخاب کند و بسازد چیزهای جالب و غیر منتظره ای ظاهر خواهد شد. موتزارت بی سواد، موتزارتی که آلمانی صحبت نمی کند، موتزارتی که استعداد آهنگسازی ندارد، و تعداد معتدبه دیگری موتزارت که برای ما نا آشناست، و با وجود این که ریخت ظاهری همه مثل هم است ولی با موتزارت تاریخی شباهت کمی دارند. ولی برای یافتن موتزارت هایی چنین آشکارا متفاوت، باید ابتدا در دریاهای عظیمی از موتزارت های مشابه که تفاوت های نامحسوسی دارند و در بسیاری از موارد غیرقابل تشخیص اند، خود را به آب بزنیم. این شامل موتزارت هایی است که ساختار بیرونی یکسانی دارند ولی ساختار داخلی آنها متفاوت است، مثلاً یک نمونه افراطی آن می تواند موتزارتی باشد که کبوی شبیه نعل اسب دارد. ریخت داخلی و خارجی موتزارت های دیگر نیز می تواند یکسان باشند ولی کمابیش یک حافظه تنها یا قطعه ای نامربوط از اطلاعات آنها تفاوت کنند. گرچه جمعیت موتزارت ها همگی مشخصات ژنتیک یکسانی دارند ولی وقتی اطلاعات سطوح دیگر را در نظر آوریم، به وضوح ناهمگن اند.

اگر سایر زیرناحیه های فضای موتزارت را کاوش می کردیم نباید از یافتن دریا‌های بیشتری از موتزارت هایی که ریخت یکسان داشتند، تعجب می کردیم. جایی، کودکی های موتزارت را می یافتیم، یا دریایی از موتزارت های ۱۵ ساله، ۲۰ ساله یا موتزارت هایی که آخرین دقایق عمرشان را سپری می کنند. همچنین وقتی به زیر فضاهایی بر می خوریم که موتزارت های عجیب و غریب و بدشکل را در خود جای داده اند یا موتزارت هایی که بیشتر شبیه مرلین مونرو یا بیلی دیکد هستند تا موتزارت آشنای ما، بیشتر شگفت زده می شدیم. اصلاً چرا این کیت ها را داخل فضای موتزارت گذاشته اند؟ جواب این است که کتابدارهای فضای موتزارت هنگام طبقه بندی اطلاعات داخل کیت، به اطلاعات جهت خاصی نمی دهند. ظاهراً، صرفاً در چهارچوب جزئیات ریاضی، اطلاعات ژنتیکی موتزارت در مقایسه با اطلاعات فرا ژنتیک آن بی اهمیت است. نتیجتاً لازم است که معیارهای شمول فضای موتزارت را روشن و مشخص کنیم که چه چیزی موتزارت را موتزارت می کند. همچنین درک کنیم که همه اجزاء اطلاعات ارزش یکسانی ندارند. جهش در ناحیه زباله دی ان ا، به طور وضوح با جهشی که منجر به دیابت می شود، متفاوت است. همچنین، موتزارتی که محتوای کامل دانه المعارف بریتانیکا را از حفظ باشد از موتزارتی که این طور نیست یا موتزارتی که مقدمات تنوری موسیقی را می داند، متفاوت است.

از چشم باغ وحش فرضی اطلاعات، موجودات زنده نمادهایی هستند که نماینده ساختمان های ریاضی زیرین هستند. نظر به این که اطلاعات حیات، بدون توجه به اجزاء پنهانی زیرین واضح تر بیان می شوند، در این صورت این سوال مطرح می شود که آیا می توان الگوی حیات، یعنی مجموعه ای از مشخصات ریاضی را که پیش نیاز ضروری همه فرایندهای حیات هستند و از استعداد نهفته حیات، نمادی ریاضی می سازند، در ساختار اطلاعاتی موجودات زنده تشخیص داد؟ آیا می توان نوعی طبقه بندی بیولوژیک را بر اساس گونه های خوشه های اطلاعاتی، فرموله کرد. نوعی رده بندی که بر پایه ساختارهای اطلاعاتی شکل گرفته باشد، قطعا بنیان منطقی استوارتری نسبت به سیستم لیناوسی^{۱۲}، دارد که منحصر بر پایه ریخت شناسی قرار دارد. اگر حقیقتاً می توانستیم الگوی نهفته حیات را در سازه های اطلاعاتی مجرد تمیز بدهیم، در این صورت می توانستیم دریای اطلاعات را بررسی کنیم و کیت هایی را که به باغ وحش اطلاعات تعلق دارند، از کیت هایی که به باغ وحش تعلق ندارند باز شناسیم. اگر تصاویر روی کیت های اطلاعات به نحو قاعده مندی پاک شده بودند، می توانستیم به سادگی، فقط با آزمایش ماهیت روشن توصیفات ریاضی درون جعبه، کیتی را که یک چراغ مطالعه بالقوه را به رمز در می آورد از کیتی که کرگدن یا گراز ماهی و یا مورچه را به رمز در می آورد، باز شناسیم. همچنین می توانستیم مشخصات ریاضی انواع کرگدن های آشنا را، از جانوران شبه کرگدن غیر محتمل که قابل دوام نیستند، تمیز بدهیم.

می توان "دستگاه کاشف حیات بالقوه" ای را در تصور آورد که قادر است محتوی کامل باغ وحش اطلاعات را با آزمایش سیستماتیک همه خوشه های اطلاعاتی درون فضای اطلاعات تعریف کند و سپس آنها را بسازد و مشخص کند که کدام یک قادر به تولید حیات هستند. می توانیم "دستگاه کاشف حیات بالقوه" را در طول راهروهای هایپرمارکت کیت های اطلاعات راه ببریم و اطلاعات داخل کیت ها را به خورد دستگاه بدهیم. دستگاه، بعد از آزمایش اطلاعات، به ما خواهد گفت که کیت مورد نظر باید داخل باغ وحش اطلاعات قرار گیرد یا نه. یعنی بگوید که آیا اطلاعات کیت قادر به ساخت موجود زنده هست یا نه؟ البته ساخت موجود زنده یک چیز است و ساخت موجود زنده ای که بتواند دوام بیاورد، کاملاً چیز دیگری است.

اگر فرض کنیم که هایپر مارکت کیت های اطلاعات طوری سازماندهی شده است که هر کیت در یک نقطه یگانه در یک چهارخانه سه بعدی قرار دارد، در این صورت با در نظر گرفتن اطلاعاتی که هرکیت در بر دارد می توان یک آدرس یگانه به آن تخصیص داد. می توانیم یک نقشه بردار استخدام کنیم که نقشه ای از هایپر مارکت کیت های اطلاعات بکشد و رنگ آمیزی کند و رنگ ها را کد بندی کند، به شکلی که همه کیت هایی که موجودات بالقوه زنده را توصیف می کنند به رنگ سیاه در بیایند و

^{۱۲} Carolus Linnaeus
(گیاه شناس سوئدی)

کیت هایی که مربوط به موجودات بالقوه نیستند به رنگ سفید دربیایند. چنین نقشه ای به ما کمک می کند که بدون اجبار به ساخت تعداد زیادی کیت های نامربوط، همه احتمالاتی را که حیات پیشنهاد می کند، بکاویم. همچنین ممکن است متوجه شویم که کیت های سیاه در یک ناحیه هاپیر مارکت خوشه تشکیل داده اند، در حالی که در دریای کیت های سفید هراز گاهی رگه کیت های سیاه به شکل نقطه نقطه دیده می شود. همچنین ممکن است انتظار داشته باشیم که کیت ها با توجه به پیچیدگی شان سازماندهی شده باشند. یکی از معیارهای پیچیدگی ارگانیسم مقدار اطلاعاتی لازم برای توصیف آن است. اگر دو نفر ژولیوس سزار عین هم داشتیم که همه چیزشان یکسان بود، جز این که یکی از آنها با متون سقراط آشنا بود، در این صورت آن که نوشته های سقراط را به خاطر سپرده بود، با خطوط ریاضی بیشتری توصیف می شد تا آن سقراط دیگر. نسخه ژولیوس سزار نسبتاً جاهل، نسبت به نسخه تحصیل کرده فشرده تر است. در حقیقت می توان خطوط اطلاعات را از سطوح مختلف توصیفات کامل سزار تراشید و نسخه کاملاً فشرده ای از این شخصیت تاریخی به دست آورد.

چنین به نظر می رسد که مخلوقات باغ وحش اطلاعات موجودیتی دارند، که مستقل از تحقق یافتن آنهاست. برای مثال، علیرغم این حقیقت که امروزه دیگر "دودو"ی زنده ای باقی نمانده است، ولی خوشه ای اطلاعاتی که دودوی بالقوه را توصیف می کند، وجود ریاضی ابدی دارد. از این رو دودوهای بالقوه بسیار پیش از آن که اولین دو دو توسط تاریخ کشف شود و گوشت و پوست پیدا کند، به معنی واقعی وجود داشتند. از این گذشته، اگر امکان داشت کیت اطلاعاتی دودو را در باغ وحش اطلاعات بازیابی کنیم، علی الاصول می توانستیم دودوی تاریخی را دقیقاً بازسازی کنیم. همچنین، گرچه پلنگ ها هم اکنون روی زمین می گرند ولی زمانی که بالاخره منقرض شوند، کیت اطلاعاتشان دریاگانی باغ وحش اطلاعات بدون تغییر باقی خواهد ماند. همچنین موجودات بیشمار وجود دارند که تاکنون کیت هایشان باز نشده و به نظر نمی رسد که هرگز باز شوند و ریشه بگیرند. به وضوح باید گفت که در کائنات، فضا و زمان و ماده کافی برای ساختن همه آنها وجود ندارد. ولی این موجودات، با این که هرگز در تاریخ تحقق نیافته اند، از یک جهت چیزی از یک دودوی "واقعی" کم ندارند.

وقتی که بالاخره هاپیرمارکت کیت های اطلاعات و باغ وحش اطلاعات را ترک می کنیم، دو سوال نهایی باقی می ماند. اولین سوال این است که آیا می توان در مورد ساختار اطلاعاتی یک ارگانیسم بالقوه، بدون اشاره به محیطی که در آن ساخته می شود، بحث کرد. دومین سوال این است که آیا حتی از نظر تنوری می توان همه فضای چهارخانه داخل هاپیرمارکت کیت های اطلاعاتی را به طور قطعی به نقاط سفید و سیاه تبدیل کرد؟ آیا ممکن است بعضی از فضاهای روی نقشه خاکستری باشند؟ یعنی این که دستگاه ما در بعضی موارد قادر نباشد تصمیم بگیرد که جعبه خاصی را سفید رنگ بزند یا سیاه و برای اثبات این تصمیم ناپذیری ذاتی، آن را خاکستری رنگ کند.

برای مثال، اگر پلنگ روی سطح خورشید به دنیا می آمد فوراً تبخیر می شد، همان طور که این اتفاق برای همه جانوران روی زمین نیز می توانست پیش بیاید. یا اگر در قطب جنوب به دنیا می آمد یخ می زد. از طرف دیگر ممکن بود در پیاده روی خیابان آکسفورد یا در باند یک فرودگاه مهم بین المللی متولد شود که در این صورت حتماً مورد شلیک تیر قرار می گرفت، یا ممکن بود در صحرای بزرگ آفریقا به دنیا بیاید، که در این صورت آب بدنش را از دست می داد و چنانچه در عمق اقیانوس کبیر به دنیا می آمد، حتماً غرق می شد. یا ممکن بود در دنیایی به وجود آید که هیچ پلنگی در آن یافت نمی شود و در این صورت از داشتن زوج محروم می ماند. حتی ممکن بود در کیهانی با قوانین فیزیکی متفاوت به وجود آید که در این صورت ممکن بود از داخل منفجر شود یا گوشتش هزار تکه شود. برای محدود کردن دامنه باغ وحش اطلاعات، چندین فرض جامع در باره دنیایی که موجودات بالقوه می توانند در آن تحقق یابند در نظر می گیریم. روشن است که ماهیت دنیایی که کیت ها در آن ساخته می شوند قید و بندهایی خواهد داشت که بر ماهیت موجودات ریاضی ساکن باغ وحش اطلاعات، تاثیر خواهد گذاشت.

این سوال که آیا می توان ماشینی را طراحی کرد که بتواند همه جعبه های داخل باغ وحش اطلاعات را به طور غیرقابل انکار به رنگ سیاه یا سفید دربیآورد، فقط از نظر تنوری مورد علاقه ما نیست، بلکه از نظر عملی هم بسیار اهمیت

دارد. یقیناً در آینده از دستگاه هایی برای کمک به جستجوی اشکال جدید تحقق نیافته حیات بالقوه بهره خواهیم گرفت. ولی بدون داشتن روال مناسبی برای آشکار کردن این کیت ها، این سفرهای ریاضی، ناقص و ملال انگیز خواهند بود. آنچه مورد نیاز است، روالی عمومی است برای پوشش ساختمان های اطلاعاتی کیت های اطلاعاتی و تعیین این که آیا این ساختمانها، موجود زنده بالقوه ای را توصیف می کنند یا نه. به این ترتیب هر کیت فرضیاتی دارد، که روال ما می تواند درستی یا کذب آن را اثبات کند. اگر فرضیات درست بود، در این صورت توصیفات داخل کیت موجودی را به رمز در می آورد که قابلیت حیات دارد، و اگر غلط باشد، موجود قابلیت حیات ندارد. این روال باید : (۱) از نظر درونی یکپارچه و منسجم باشد و هرگز نباید سعی کند که یک کیت اطلاعاتی خاص را همزمان به هر دو رنگ سیاه و سفید رنگ بزند، (۲) کامل باشد، یعنی بتواند همه کیت های داخل هاپیرمارکت را یا سیاه رنگ آمیزی کند یا سفید و هیچ مقوله ای نماند که از زیر دستش در برود و (۳) مختصر و فشرده و به طور متناهی قابل توصیف باشد، یعنی بتواند در زمانی محدود راجع به رنگ آمیزی سیاه یا سفید یک کیت تصمیم بگیرد. متأسفانه قضیه ناتمامیت گویدل^{۱۳} نشان می دهد که چنین روالی نمی تواند وجود داشته باشد. اگر روال خود را در هاپیرمارکت کیت های اطلاعات به کار ببریم، همیشه بعضی از کیت ها هستند که نه می توان سیاه رنگ آمیزی شان کرد و نه سفید و نتیجتاً باید خاکستری باشند.

چنین به نظر می رسد که نمی توان ماشینی را طوری برنامه ریزی کرد که فهرست کامل کیت های اطلاعاتی توصیف کننده موجودات حقیقی باغ وحش / اطلاعات را چاپ کند. به این ترتیب ما عملاً مجاز به ترسیم مرزهای این باغ وحش و مقوله بندی محتویات آن نیستیم. بدتر از همه این است که تحقیقات آلونزو چرچ^{۱۴} نشان می دهد که اگر روال خاصی برای تشخیص بین کیت های اطلاعات داشته باشیم باز هم به راحتی نمی توانیم پیش بینی کنیم که روال ما کدام کیت را به رنگ سیاه یا سفید در می آورد و کدام را خاکستری. پس بهترین کاری که می توانیم انجام دهیم این است که روالی ابداع کنیم، سپس آنرا میان هاپیرمارکت کیت های اطلاعات رها کنیم و عقب بنشینیم و ببینیم که کیت مورد نظر ما سیاه می شود یا سفید. اگر روال ما نتواند در این مورد تصمیم بگیرد که کیت مورد نظر موجودی حقیقی یا موجودی غیرواقعی را توصیف می کند، ممکن است مجبور باشیم زمان نامعینی صبر کنیم، و هرگز متوجه نشویم که روال ما دارد به نتیجه معینی می رسد یا نه. در واقع، آلن تورینگ ثابت کرده است که غیر ممکن است بتوان پیش بینی کرد که چقدر طول می کشد تا چنین روالی کارش را تمام کند.

پس ظاهراً، تنها روش کاملاً فراگیر برای یافتن کیت هایی اطلاعاتی که موجودات زنده را به رمز درمی آورند، این است که عملاً کیت ها را بسازیم و بعد کنار بنشینیم و ببینیم که چه رخ می دهد. اگر برای آشکار کردن کیت های حیات بالقوه، به دستگاه ها تکیه کنیم، احتمال دارد که جعبه هایی را که رگه هایی از جواهرات درخشان دارند، دست نخورده و باز نشده باقی گذاریم و آنها را روانه گمنامی کنیم. باید بدانیم که هرچند ظاهراً، به طور کلی نمی توانیم هاپیرمارکت کیت های اطلاعات را محقق سازیم، ولی در عمل باید بتوانیم رویه هایی را طراحی کنیم که جستجوی اشکال عجیب و غریب، شگفت انگیز و بعضاً مفید حیات بالقوه را برای ما آسان می کند. در خلال مدتی که تاریخ دمدی مزاج با تدبیرهای خاص خود، بعضی از جعبه ها را لمس می کند و اکثریت غالب جعبه ها را دست نخورده باقی می گذارد، این کیت های اطلاعاتی که از اولین لحظه های خلقی هاپیرمارکت کیت های اطلاعات در ۱۵ میلیارد سال قبل، مسکوت مانده اند، به تدریج خاک می گیرند.

^{۱۳} Geodel . (۵*)^{۱۴} Alonzo Church . (۶*)

توضیحات فصل چهارم

۱- نبرد هیستینگز Hastings Battle of

هیستینگز نام نبرد معروفی در تاریخ انگلستان است که بین نیروهای آنگلوساکسون به فرماندهی هارولد گادوینسن (هارولد دوم، شاه انگلستان) و نورمان‌های مهاجم به فرماندهی ویلیام، دوک نورماندی (بعدتر ویلیام فاتح یا شاه ویلیام یکم) در ۱۴ اکتبر ۱۰۶۶ و در نزدیکی هیستینگز در شرق ساسکس درگرفت و به شکست و مرگ هارولد و پیروزی ویلیام و استیلای نورمن‌ها بر انگلستان منجر شد. در این نبرد تیری به چشم هارولد فرورفت و ویلیام توانست به خاک انگلیس پای بگذارد.

۲- سارکومر Sarcomeres

سارکومر واحد مبنای یک میوفیبریل ماهیچه ای شیار دار است. سارکومرها ترکیبات چند پروتئینی هستند که از سه سیستم فیلامان مختلف تشکیل شده اند. **تارچه** یا **میوفیبریل** اندامک‌هایی استوانه‌ای هستند. آنها در درون سلول‌های ماهیچه‌ای یافت می‌شوند. آنها بسته‌هایی رشته‌ای هستند که از ابتدای سلول تا انتهای آن کشیده شده‌اند و در هر سر به غشای سلولی متصل شده‌اند. هر تارچه از توالی تعدادی سارکومر درست شده است. هر سارکومر از دو نوع تار تشکیل شده است، نازک و ضخیم.

۳- همپتون کورت Hampton Court

کاخ سلطنتی خانواده تئودور در بخش ریچموند در لندن بزرگ بر فراز رودخانه تیمز

۴- آرخوتس Archytas

عالم و فیلسوف بزرگ یونانی و پیرو ریاضی دان بزرگ فیثاغورث بود که گاهی موسس مکانیک ریاضی خوانده می شود. وی در تارنتموم ماگنا گریکیا در ایتالیا ی کنونی متولد شد. افلاطون که دوست نزدیک وی بود از کارهای او در ریاضیات استفاده کرد و شواهدی وجود دارد که اقلیدس از کتاب او به نام کتاب سوم عناصر اقتباس کرده است.

۵- قضیه ناتمامیت incompleteness theorem

در منطق قضیه ای است که توسط ریاضی دان معروف کورت گویدل پیشنهاد شد و بیان می کرد که در هر فرمولاسیون منطقی سازگار بسیار محکم ریاضی یا منطقی باید فرمول های صحیحی باشند که نه قابل اثبات هستند و نه قابل رد کردن.

در ریاضی : برای هر صور استوار، نظریه شمارش پذیری بازگشتی که اصول حسابی را ثابت می‌کند، یک گزاره حسابی می‌توان یافت که درست است اما قابل اثبات در نظریه نیست. این بدین معناست که یک نظریه تولید شده که قابلیت توضیح حساب بنیادی را دارد، نمی‌تواند هم جامع و هم استوار باشد.

۶- آلونزو چرچ Alonzo Church

ریاضی دان آمریکایی

او در دانشگاه پرینستون مدرک دکترا دریافت کرد. مشارکت او در تئوری اعداد و تئوری های الگوریتم ها و قابلیت محاسبه اساس علم کامپیوتر را بنا نهاد.

سرچشمه های حیات

ما در دنیایی از اشکال زندگی می کنیم که با پیچیدگی فراوانی احاطه شده است. درخت، برگ، زرافه، بزکوهی، گل‌سنگ، ماهی و جلبک. مارپیچ های میوه کاج، گلبرگ های گل مینا، هندسه یک سلول، معماری مغز. همه این ساختارها به توضیحی تاریخی نیاز دارند. برخی از این پیچیدگیها مصنوعاً ساخته شده است. ساختمان، گلدان، نقاشی های درون غارها، سرود کریسمس، پُل، تَبَرَسَنگی، کشتی بخار، تلفن و لامپ خیابان. همه نمادها به منطق و واقعیت چشم دوخته اند. چه آسان می توان به یک نگاره گر قادر مطلق، حاضر مطلق، و عالم مطلق متوسل شد که خالق اشکال است. همه این اشکال چقدر شگفت انگیزند. ولی توانایی شکل پذیری این اشکال، شگفت انگیزتر است. و با این حال، اگر اشباح موجودات بالقوه قادر به نمایش خود نبودند، هیچوقت به مقصود نمی رسیدند. بیسمارک هیچوقت به دنیا نمی آمد و از بین نمی رفت، و اهرام برای همیشه ناشناخته می ماند؛ گوشه های مبهمی از اطلاعات بی شکل که درون منطق بی ربط و خاک گرفته جا داده شده اند. زیرا که این نمادها هستند که وجود را به خوشه های اطلاعاتی *دریای اطلاعات* و حیات را به موجودات بالقوه باغ وحش اطلاعات می دمند. نمادها دستگاه هایی هستند که احتمالات را به تاریخ تبدیل می کنند و اجازه می دهند که فضاهای ریاضی پیموده و کاویده شوند. نمادها هم سازنده واقعیت و هم موتور آن هستند.

جستجوی سرآغاز نماد پردازی، ما را تا انفجاری که همزمان در همه جا حدود ۱۵ میلیارد سال پیش اتفاق افتاد، به عقب برمی گرداند، به زمانی که فضا و ماده کائنات از نیستی خلق و زمان آغاز شد. زیرا سرچشمه نماد پردازی و قابلیت نماد پردازی در سرآغاز فضا و ماده است. در پی خلق فضا، انرژی، ماده، و بایگانی لایتنهای توصیفات ریاضی یا همان *دریای اطلاعات*، کائنات شروع به گسترش و تکامل کردند. گرچه یک صدم ثانیه اول بعد از انفجار بزرگ به صورت معمایی باقی مانده است، ولی مشاهدات تلسکوپ های قدرتمند که رادیواختر شناس و اخترفیزیک دان ها را قادر می سازد به گذشته ها نگاه کنند، به ما در تخمین آغاز جهان کمک کرده است. و در این نقطه، در لحظات آغازین کائنات است، که ما به جستجوی منشأ نوع خاصی از نماد پردازی پیچیده می رویم که حیات نام دارد.

ممکن است هیچوقت به طور کامل درک نکنیم که در نیمه اول یک صدم ثانیه اول بعد از آغاز کیهان چه اتفاقی رخ داده است. علاوه بر آن، درک ما از علیت نیز نهایتاً می تواند توانایی ما را برای انجام این کار محدود کند؛ از این گذشته، از عقل به دور است که چیزی فی البداهه از عدم تکوین یافته باشد. مدلهای علیتی که ما می شناسیم زمان را به عنوان بُعدی در نظر می گیرند که در آن، رویدادها با رابطه ای مشخص نسبت به یکدیگر قرار می گیرند. این مسئله موجب می شود باور کنیم که وقتی معلولی را مشاهده میکنیم باید علتی مقدم بر آن باشد. در هر صورت اگر زمان با آغاز کائنات شروع شده باشد، هیچ نوع واقعیت علی نمی تواند بر سرآغاز زمان پیشی گیرد، یعنی طبق تعریف، این رویدادها باید بیرون از زمان وجود داشته باشند که این نیز به وضوح غیرممکن است. یکی از مهمترین موانع درک ما، از نا آگاهی ما نسبت به فیزیک میکروسکوپی، خصوصاً در دماهای فوق العاده بالا و چگالی هایی که مشخصه همین لحظات آغازین جهان است، ناشی می شود. این به خاطر این است که ماورای دمای نسبتاً سرد صد میلیارد درجه سانتیگراد (تقریباً هفت هزار بار داغتر از خورشید) که در پایان یکصدم ثانیه اول حاکم شد، گروهی از ذرات بنیادی به نام هادرون و پاد هادرون به تعداد زیاد وجود داشته اند. این ذرات به شدت تحت تاثیر برهم کنش های کوتاه برد فوق العاده قوی قرار دارند که هسته اتم را به هم متصل نگاه می دارد. اما درمجموع هیچ روش مقبولی

برای مدلسازی رفتار آنها وجود ندارد. معلوم شده است که مدلسازی برهم کنشهای الکترومغناطیسی ضعیف و جاذبه در دماها و چگالی های فوق العاده زیاد، به یک اندازه غامض هستند.

در حدود یک صدم ثانیه پس از پیدایش کائنات، سوپ کیهانی نخستین در دمای صد میلیارد درجه سانتیگراد سوخت و پخت. این درجه حرارت غیرقابل تصور مانع شکل گیری اتم ها شد، و آبگوشته کیهانی مرکب از ذرات ابتدایی، جداگانه و مستقل از یکدیگر شتاب گرفتند. در آن هنگام مقدار ماده کائنات ثابت نبود، بلکه پیوسته در حال خلق و انهدام بود. می توان تصور کرد که در زمانی که حدود و دامنه امکانات ریاضی پیوسته در حال ترسیم و بازبینی بود، تغییر در محتوای مادی جهان، منعکس کننده دریایی از اطلاعات بود که دستخوش خمش های چند بعدی، اعوجاج و گسترش و فشردگی بود. در حدود سه دقیقه بعد از آغاز، جهان تا دمایی در حدود یک میلیارد درجه سانتیگراد سرد شد و ذرات سنگین تر که هسته اتم را تشکیل می دهند شروع به انباشته شدن در مقادیر زیاد کردند، و سرانجام به هم پیوستند تا هسته اتم را که پیش در آمد اتم ها بود، تشکیل دهند. اما، صدها هزار سال طول کشید تا جهان به اندازه کافی سرد شد و اجازه داد اتم های جدول تناوبی شکل گیرند. این اتم ها جعبه ابزاری اتمی را تشکیل می دهند که محتوای ماکروسکوپی جهان از آن ساخته شده است. این سوپ اتمی جدید، ماده تشکیل دهنده ستارگان و کهکشانها بود. زمانی که کیهان به گسترش و سرد شدن ادامه می داد، سرانجام سوپ پیچیده تری را فراهم کرد که شامل ترکیباتی از اتم هایی بود که به هم پیوستند و مولکول ها را تشکیل دادند. ما باید جایی در میان این سوپ شیمیایی پیچیده، پیشگامان حیات یعنی پیشینیان شیمیایی و غیر فسیلی نوعی از نمادها را که ژن می نامیم، جستجو کنیم.

حین گسترش و سرد شدن کیهان، نوکلئوسنتز^۱ در مقیاس کیهانی تقریباً نامحسوس شد. ولی تولید هسته های سنگین در اثر همجوشی هسته های سبک تر قبلی کاملاً متوقف نشد و در حقیقت هنوز هم در درون ستاره ها ادامه دارد. هم در نتیجه هم جوشی و هم به این دلیل که فضای کیهان در هنگام گسترش زیاد می شود و ماده دائماً خلق و نابود می شود، می توان تصور کرد که دریای اطلاعات دائم در حال بازبینی است؛ یعنی مرزهای ریاضی آن و ماهیت احتمالات آن از لحظه ای به لحظه دیگر تفاوت می کند. اگر کیهان از آغاز لایتناهی بوده باشد، در این صورت دریای اطلاعات هم می بایست همین طور باشد. به این ترتیب همه رویدادهای کیهانی پس آیند نیز در دریای اطلاعات جای دارند، چون واضح است که چیزی نامحدود را نه می توان گسترش داد و نه بازسازی کرد.

اولین ستاره ها در نتیجه فشردن توده های اتم های ساده مانند هیدروژن و هلیوم تحت تاثیر گرانش، شروع به شکل گیری کردند. همین طور که تعداد ستارگان زیاد می شد، خوشه های ستارگان که کهکشان نامیده می شوند، شروع به تشکیل کردند. یکی از این کهکشانها با نام کهکشان راه شیری در حدود کمتر از ده میلیارد و پانصد میلیون سال بعد از آغاز کائنات به وجود آمد. این کهکشان در میان حدود صد میلیارد ستاره خود، کره زمین را نیز در بر می گیرد. راه شیری، خود یکی از میلیاردها کهکشانی است که همه در نتیجه تراکم هایی که به وفور در سراسر فضا روی می دهند، به وجود آمده اند. هر کهکشان سیستم مستقلی از ستاره ها را تشکیل می دهد. ولی تعداد ستاره ها در کهکشانها بسیار متفاوت است. آرایش کامل ستاره های نمایان در شب، تنها بخش کوچکی از ستاره های راه شیری است. و راه شیری با دارا بودن بخش کوچکی از ستارگان پراکنده در میان کهکشان های بشمار کیهان، خود، کهکشان نسبتاً قابل توجهی نیست. تنها تمایز این کهکشان با سایر کهکشان ها این است که ماوای کنونی ما و نیز تنها مخزن شناخته شده حیات در کیهان است.

اگر می توانستیم با سرعت نور دوچرخه سواری کنیم، یعنی تقریباً یک میلیارد کیلومتر در ساعت، حدود صد هزار سال طول می کشید تا از راه شیری عبور کنیم. اگر با همین سرعت ادامه می دادیم، حدود دو میلیون سال طول می کشید تا به آندرومدا، نزدیک ترین کهکشان همسایه برسیم. در مقیاس کیهانی، سفر دو-میلیون-ساله نوری مثل رفتن به مغازه گوشت خیابان است. اگر خیلی زرنگ باشیم می توانیم تا شهر دوچرخه سواری کنیم، که مساوی با رکاب زدن با سرعت نور برای مدت

^۱ Nucleosynthesis هسته زایی. (*۱)

یک میلیارد سال است. طی این مدت می توانیم حجمی از فضا را بگردیم که تقریباً شامل صد میلیون کهکشان مختلف است. اگر با سرعت نور حرکت کنیم می توانیم تا بی نهایت در یک خط مستقیم برانیم. اما، اگر فضا محدود و خمیده باشد سرانجام متوجه می شویم که به جایی که از آن شروع کرده ایم برگشته ایم.

زمین حدود هفت میلیارد سال پس از به وجود آمدن، به اندازه کافی سرد شد تا اولین صخره ها روی آن تشکیل شوند. سپس، اجزاء مختلف آن مانند هسته، لایه، پوسته و سرانجام اقیانوسها تشکیل شدند و زمین همگن، فرزند بیش از پیش ناهمگن خود را به وجود آورد. احتمالاً، در خلال این مدت، زمین با رگبار شهاب سنگ ها بمباران شده است. متأسفانه سوابق زمین شناسی مربوط به ۵ میلیون سال اول تاریخ زمین پاک شده است و ما را از رخداد های مربوط به رشد اولیه آن بی خبر گذاشته است. حدود ۳,۸۵ میلیارد سال قبل (یعنی حدود ۰,۸۵ میلیاردسال بعد از پیدایش زمین) اولین موجودات زنده پدیدار شدند. ولی حدود هفت میلیون سال پیش، اولین نمونه های انسان جدید برای نخستین بار ظاهر شدند. به این ترتیب، همه پیچیدگی زیستی ماکروسکپی و میکروسکپی، در گذشته و حال، در دوره ای بین آغاز اولین میکروارگانیسم سلولی، یعنی حداقل ۳,۶ میلیارد سال پیش، و امروز به وجود آمده است. دوره زیستی نوآورانه ای که در خلال آن الگوهای حیات کهن از پیشگامان سلولی شان تولید شد را دوران آرکنن^۲ می نامیم.

اکنون سوال این است که آیا می توانیم از رویدادهای شیمیایی که در فاصله تشکیل اولین صخره در ۴,۶ میلیارد سال پیش تا تشکیل اولین سلول حیات، حدود ۳,۶ میلیون سال پیش رخ داد، تخمینی منطقی داشته باشیم؟ زیرا، زمانی در خلال این دوران به ظاهر عاری از سلول که آنرا دوران هادن^۳ می نامیم، پیش سلولهای حیات آغازین که داربست لازم را برای حیات سلولی آرکانین ها فراهم می کردند، به وجود آمدند. لازم به تاکید است که سوال فوق با این سوال که آیا می توان به مسیرهای دقیق تاریخی طی شده توسط حیات آغازین پی برد، تفاوت دارد. حقیقتاً هرگز نمی توان مسیر پریپیچ و خم تاریخ در میان فضای احتمالات شیمیایی را استنباط کرد. با این که نمی توانیم مختصات واضح این مسیر ها را احراز کنیم، ولی فعلاً نباید نگران این جزئیات تاریخی باشیم. مهم این است که می توانیم تخمین قابل قبولی از چگونگی نشأت گرفتن حیات غیر سلولی ارائه دهیم.

حیات فرضی غیرسلولی آغازین دوران هادن، اطلاعاتی را بنا نهاده کرده است که تاریخ ۳,۶ میلیارد ساله حیات متعارف سلولی بر اساس آن ساخته شده است. بدون اسکلت های ناپیدای این موجودات، که مدتها پیش در میان تاریخ بی نام و نشان کهن حل شدند وردپای مشخصی از خود باقی نگذاشتند، احتمال آغاز حیات سلولی در روی زمین وجود نداشت. گرچه ممکن است جزئیات شیمیایی گیاهان و جانوران دوره هادن به ذهن ما خطور نکند، ولی این مطلب در مورد فرآیندهایی که آنها را شکل داد صدق نمی کند. یکی از اصول عمده سازماندهنده این فرآیندها، تکامل از طریق انتخاب طبیعی به همان شکلی بود که آلفرد راسل والاس^۴ و چارلز داروین تدوین کردند. در هر صورت احتمالاتی که در دسترس موجودات آغازی قرار داشت، نامحدود نبود، همان طور که تکامل نیز در بستری از موانع متعدد عمل می کند. این موانع، شامل قوانین فیزیک و شیمی، زیست بوم های میکروسکپی در دسترس، پیشامدهای تاریخی، نیاز به حفظ ظرفیت تکامل پذیری و حتی قوانین ناقص پیچیدگی می شود، که احتمالاً از عمل خودمونتازی و خود سازماندهی دینامیک سیستم های پیچیده حمایت می کنند.

هنگام جستجوی پیشگامان حیات سلولی، به دنبال مجموعه ای از نمادهای مناسب می گردیم که نه تنها قادر به نمایش اطلاعاتند، بلکه این اطلاعات را در طول زمان به شکلی قابل انعطاف انتقال می دهند. زیرا فقط با تداوم اطلاعات اصلی یک ساختار در جهان مادی، می توان نماد آن را به طور مداوم ثابت نگاه داشت. اما حتی این نیز کافی نیست، زیرا برای این که یک نماد بستری برای انتخاب طبیعی باشد، باید ظرفیت تغییر را در خود جای دهد. در گروههایی از ساختارهای در حال تکامل، توانایی ایجاد تغییرات در مضمون اطلاعات و منطق، آنها را قادر می سازد که نسخه های دیگری از خود را کشف کنند. به این

^۲ Archean. (۲*)

^۳ Hadean. (۳*)

^۴ Alfred Russel Wallace

ترتیب، بستر بالقوه موفق برای فرآیند تکاملی باید بتواند المثنای دقیقی از خود ایجاد کند، و درعین حال همزمان اجازه دهد که تغییراتی در ساختار اطلاعاتیِ اولادش وارد شوند. بنابراین، فرآیند تکثیر باید دقیق باشد، اما نه بیش از اندازه، چون در غیر این صورت نمادها غیرقابل انعطاف می شوند و نمی توانند تکامل یابند. ولی اگر دقت تکثیر کم باشد مثل این است که اطلاعات ناپدید شوند و نمادهای فرزند شباهت کمی به نمادهای والدین داشته باشند. به نظر معقول می رسد که حیات آغازین روی زمین با تشکیل نخستین ساختارهای اطلاعاتی به وجود آمده باشد، که قادر به موازنه این نیازها بودند. نتیجتاً سازوکارهایی که دقت ذخیره اطلاعات و تکثیر آنها را تنظیم می کنند، احتمالاً نقش مهمی در زایش اعقاب دستگاه های زیستی بازی کرده اند.

کریستوفر لنگتون^۵ و نورمن پاکارد^۶ از اصطلاح "تکامل در لبه مغاک" برای رساندن این مفهوم استفاده کرده اند که، سیستم های سازگار باید موازنه صحیحی بین ثبات و انعطاف پذیری برقرار کنند، تا توانایی تولید، پردازش و ذخیره اطلاعات را بیشینه کنند. درواقع، شبیه سازی های کامپیوتری حاکی از این هستند که سیستم های تکامل یابنده به طور طبیعی و بی امان به طرف ناحیه منظمی که در مرز بی نظمی واقع است، کشیده می شوند. سیستم های در حال تکامل، با سفر در نزدیکی تند بادهای بی نظمی، می توانند بین نظمی غیر قابل انعطاف که برای نگهداری اطلاعات گذشته لازم است و نرمی و انعطافی که برای پاسخ به آینده لازم است، موازنه ای ظریف برقرار کنند. ولی اگر سیستم های در حال تکامل زیاده از حد انعطاف داشته باشند، اطلاعات شان مانند یک حبه قند در چای داغ آب می شود.

اصولاً هر کدام از ما می توانیم یک شجره خانوادگی درست کنیم که با والدین ما شروع می شود، بعد پدر بزرگ و مادر بزرگ و پدر و مادر آنها و به همین ترتیب عقب تر برویم تا برسیم به دوره سنگ و ماقبل آن، یعنی به اولین لحظات تاریخ انسان. از آنجا زنجیره بی وقفه حیات بازهم به عقب ادامه پیدا می کند، ابتدا به سوی اولین خانواده انسان^۷ و پیشینیان مهره دار ما، سپس، اولین موجودات تک سلولی دوره آرکائین و بالاخره به آغاز حیات نخستین در دوران هادِن. به این ترتیب، به اتفاق ناهارخوری بسیار بزرگی برای آویزان کردن عکس همه نیاکان خود نیاز خواهیم داشت، و بدون شک مایل نیستیم بعضی از آنها را نشان بدهیم. ولی گذشته از این که همه اینها اجداد ما هستند، هرکدام حلقه ای اساسی و ضروری در تاریخ تکامل شخصی ما هستند. اگر عکس ها را به ترتیب زمانی مرتب کنیم تا "مجموعه عکس تبهکاران" شجره نامه ای را تشکیل دهند، نباید از مشاهده این که عکس ما، به سلول های تنها و سپس به موجودات ساخته شده از آر.ان.ا، پپتید و یا کریستالهای خاک رس منتهی می شود، تعجب کنیم.

ما با سر بلندی بر شانه زنجیره مداوم نیاکان خود ونیز سلسله ای از رویدادهای تاریخی که به پانزده میلیاردسال پیش و آغاز کائنات برمی گردند، گام بر می داریم. اما اگر می خواستیم نوار شیمیایی بی شکل دوران هادِن را به عقب برگردانیم، آن را پاک کنیم و دوباره پخش کنیم، مطمئناً تاریخ حیات روی زمین چیز متفاوتی از آب در می آمد. اگر یک شهاب سنگ با شهاب سنگ دیگری عوض می شد یا یک اتفاق تصادفی کم و زیاد می شد، ممکن بود حیات روی زمین هرگز آغاز نشود، یاممکن بود کتاب علوم طبیعی که می خوانیم، کاملاً با آن که تاکنون خوانده ایم متفاوت باشد. حقیقتاً ممکن بود که دهها میلیارد سال در سالن سینمای حیات بنشینیم و صبورانه، خش و خش ذرت بوداده بخوریم و تازه بفهمیم که داریم به یک صفحه خالی نگاه می کنیم و فیلم اصلی "حیات" هنوز آغاز نشده است. هیچ فیلم دیگری هم درکار نیست که به جای آن تماشا کنیم، و یا در واقع اصلاً امیدی هم نیست که پولمان را پس بدهند. اگر نوشته ریز پشت بلیط را خوانده بودیم می فهمیدیم که هرگز تضمین نکرده بودند که راضی از دیدن فیلم برگردیم. و اگر برحسب اتفاق فیلم شروع می شد، هیچ راهی نداشتیم که پیش بینی کنیم چه مدت طول می کشد و همچنین اطمینان نداشتیم که حیات به یک طناب نجات اختصاصی یعنی به سیستمی که سرانجام توسط دی.ان.ا تصرف می شود منتهی می شود یا نه. حتی اگر ساخت و تداوم سیستم خود تکثیر اجتناب ناپذیر باشد، لازم نیست که حتماً در

Christopher Langton^۵Norman Packard^۶Hominids^۷

طول طناب نجاتی پیش برود که قادر است الگوهای سازمان بیوشیمیایی سلولهای مدرن را بسازد. درحقیقت بسیاری از پیشگامان حیات، به کوچه های بن بستی سفر کرده اند که سرانجام منجر به زوال آنها شده است.

بیان این سخن که حیات آشنای ما، با اولین رویداد تکثیر آغاز شد، حرفی منطقی است. هرچند، احتمالاً دقت اولین رویدادهای تکثیر بسیار کم بوده است. اطلاعات قدیمی ترین نمادها تقریباً آن در همه بی معنا مضمحل شده است. فرآیند تکثیر، برای این که به عنوان فرآیند حیات شناخته شود، به دقتی نیاز دارد که تا حدی اختیاری است. مثلاً، تخته سنگی که به دو قسمت شکافته می شود، به یک معنی خودش را دوباره ساخته است ولی به هیچ عنوان اطلاعاتش را تکثیر نکرده است. یعنی، نه می تواند این فرآیند را آغاز کند و نه می تواند یک نسخه دقیق از خودش بسازد. در حقیقت محتوای اطلاعاتی تخته سنگ مادر، در ساختار همشیره اش به طور ناقص نمایان می شود، و حتی شکافتن پی در پی تخته سنگ های فرزند، اطلاعات باقیمانده را بی ارزش تر هم می کند. اگر بخواهیم دقیق تر صحبت کنیم باید بگوییم که، حیات با اولین رویداد تکثیری آغاز شد که قادر به نسخه برداری از ساختار والد خود بود و ضمناً ساختارهای اطلاعاتی اصلی خود را حفظ می کرد. حیات، تا حدی فرآیندی خود مختار برای تکثیر ساختارهایی اطلاعاتی است که به اندازه ای مشخص به نسخه اصلی وفادارند. برای انجام فرآیند تکثیر و برای اطمینان از این که در هنگام کپی کردن، به آستانه دقت قابل قبولی رسیده ایم، به یک دستگاه کپی نیاز داریم. به این ترتیب کلید فهم مبدا حیات، تعریف معماری حداقلی است که مناسب انجام چنین فرآیندی باشد. به این منظور باید در بایگانی شیمیایی، به دنبال همه ترکیبات ممکن بگردیم تا موارد مناسب و محتمل تاریخی را بیابیم. ولی برای این کار نباید هیچ پیش انگاشتی در باره ماهیت پیچیدگی اولین دستگاه های تکثیر داشته باشیم.

نتیجه جالبی که از تعریف حیات به عنوان یک فرآیند به دست می آید این است که می توان فرآیند را مستقل از سخت افزاری که منطق اصلی آن را نمایش می دهد، در نظر گرفت. بعید است دستگاه های زیستی بدوی که پیشگام حیات سلولی بودند، از دی.ان.ا و عناصر ساختمانی پروتئین که موجودات معاصر را می سازند، ساخته شده باشند. گرچه، این پیشگامان ساده فرضی دوره هادنن بودند که، در طول هزاران میلیون سال بعد از انقضای تاریخ مصرف، از فناوری های حیات استفاده کردند تا مشعل حیات را برای مدت تقریبی ۱,۱ میلیارد سال حمل کنند، یعنی تا زمانی که موجودات زنده مجسم، به شکل آشنای نرم افزار و سخت افزار دی.ان.ا و پروتئین تولید شدند.

جستجوی اولین عناصر خود تکثیر^۱ (خود همانندساز)، یعنی نمادهای پیشگامی که توانستند گذار طولانی در فضای ریاضی را تاب بیاورند، ما را به عمق فضای تخیلی همه واکنش های شیمیایی می برد که آن را فضای شیمی می نامیم، و فضای ژن گوشه بسیار کوچک و در عین حال مهمی از آن را اشغال می کند. فضای شیمی فضایی چنان پهناور است که به راحتی فضای ژن را می بلعد، درست مانند قطره رنگی که به حلب خود می چکد. وجود فضای شیمی، وامدار وجود اتم ها است. چرا که شیمی، فقط در نتیجه خصوصیات منحصر به فرد اتم هایی که می توانند با یکدیگر ترکیب شوند و منظومه ای از اتم های بهم پیوسته به نام مولکول را تشکیل دهند، ممکن می شود.

لازم به تاکید است که هدف ما جستجوی فضای شیمی جهت یافتن سازوکارهایی است که فرآیندهای تکثیر احتمالاً توسط آنها آغاز شده و همانها، مشعل حیات را به سوی دی.ان.ا، پروتئین ها و فناوری سلولی، حمل کرده اند. بعید است که روزی قادر باشیم مسیرهای تاریخی واقعی در فضای شیمی را که منجر به تولید اولین موجود زنده تک سلولی شد، دوباره سازی کنیم. این راه ها به احتمال قریب به یقین برای همیشه در "فضای همه مسیرهای محتمل در فضای شیمی" گم شده اند. همه آن چیزی که از این معبر باقی خواهد ماند عبارت است از فسیل های اندیشمند از هم گسیخته که کوره راههای بیوشیمی، رمز ژنتیک و زنجیره های دی.ان.ا و آر.ان.ا ی معاصر و مجموعه محدودی از موجودات زنده منقرض شده را در بر می گیرند. ولی ناتوانی ما از دوباره سازی دقیق تبارهای حیات نخستی دوره هادنن، اصلاً اهمیت ندارد. چرا که اگر می

^۱ Self-replicating

توانستیم شواهدی برای وجود حتی یک طناب نجات احتمالی در فضای شیمی بیابیم، در این صورت اعتبار این فرضیه ثابت می شد که، حیات سلولی از پیشگامان شیمیایی که اصلاً به موجودات زنده کنونی شبیه نبودند یا این که شباهت کمی به آنها داشتند، تکامل یافته است.

اکنون تصمیم داریم با تکه ای طناب به درون فضای شیمی بلغزم. مدت زمانی طولانی که قرن‌ها به نظر می رسد پایین می روم تا وقتی که طناب نزدیک زمین متوقف می شود. چند فوت باقی مانده را می پریم و محکم روی زمین چسبیده فرود می آیم. بخار آب و گازهای عجیب و غریب، به رنگ بنفش و یا سبز درخشان، در هوای مرطوب و نمور پخش شده است. در انتظار دیدن جادوگرانی هستم که پاتیل های بزرگ مسی را که در حال قل زدن است هم می زنند. ولی وقتی به دور و برم نگاه می کنم تنها چیزی که می بینم جعبه است. ردیفهای متوالی جعبه در همه جهات کشیده شده است. شاید به نوع دیگری از هاپرمارکت رسیده ام؟ دور و بر جعبه های به ظاهر بی انتها، بی هدف پرسه می زنم، تا این که سرانجام متوجه اعلانی بالای سرم می شوم که نوشته است *به فضای ملکول خوش آمدید* و متوجه می شوم که به اولین بُعد فضای شیمی پا گذاشته ام که عبارت است از *فضای همه ترکیبات شیمیایی ممکن همه اتم های ممکن*. سرانجام به نظر می رسد که چیزها قابل فهم می شوند، چون ترکیبات اتم های متصل به هم ملکولها را تشکیل می دهد که آنها هم اجزاء اساسی شیمیایی حیات هستند. طبقات فضای ملکول انباشته از کیت های ساخت ملکولها است. هر کیت شامل اتم هایی است که برای ساختن ملکولی که تصویرش روی جعبه است و جزئیات نحوه وصل کردن آنها و نیز مقدار انرژی لازم برای برقراری این پیوند، لازم است.

تعداد کیت ملکولهایی که برای ساختن موجودات زنده به کار می رود، فوق العاده زیاد است. به این دلیل که بیش از صد نوع اتم پایدار در کیت اتمی جدول تناوبی وجود دارد و ملکولها می توانند از تعداد زیادی اتم ترکیب شوند. جالب است که بدانیم پیچیدگی موجودات زنده فقط با استفاده از بخشی از قدرت ترکیب شوندگی جدول تناوبی به دست می آید. در حقیقت، اکثر ملکولهایی که در ساخت موجودات زنده استفاده شده اند از ترکیب فقط ۶ نوع اتم به وجود آمده اند که عبارتند از: کربن، هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن، فسفر و گوگرد.

بازیگر اصلی تاریخ خلق حیات، اتم کربن بی قاعده و بی بند و بار است. کربن نه فقط هزاران پیوند شیمیایی با تعداد زیادی از اتم های دیگر تشکیل می دهد، بلکه به خودش هم به آسانی متصل می شود. کربن به طور ذاتی تمایل دارد زنجیرهای طویل بسازد و می تواند بچرخد و پیچ بخورد و سازه های حلقوی بسازد، که هریک از این سازه ها خواص شیمیایی منحصر به فرد دارند. در فضای شیمی، کربن در حقیقت خبره ای است که بیشترین کارایی شیمیایی را دارد. برای مثال از کیتی شامل فقط ۴۰ اتم کربن و ۸۲ اتم هیدروژن، علی الاصول می توان بیش از ۶۰ تریلیون^۹ ملکول متفاوت ساخت. هر کدام از این ترکیبات منجر به تشکیل ملکول منحصر به فردی با خصوصیات مشخص و متمایز می شود. هم ترکیب و هم ترتیب اتم های ترکیب شونده خصوصیات یگانه ای به ملکول اعطا می کند. مجموعه همه ترکیبات ممکن کربن و هیدروژن به تنهایی، به طور سرسام آوری بزرگ است. اگر تصادفاً گذارتان به ناحیه " شیمی کربن " در " فضای شیمی " افتاد، نصیحت می کنیم که حتماً یک نقشه خوب همراه داشته باشید.

برای ورود به ابعاد بالاتر فضای شیمی که همه ترکیبات ممکن فعل و انفعالات بین ملکولهای مختلف را در بر می گیرد، کافی است فقط یک کیت سازنده ملکول را باز کنیم و به داخل آن قدم بگذاریم. ابعاد بالاتر جعبه های کیت که در دسترس هستند، مجموعه کامل فعل و انفعالاتی را نشان می دهند که ملکول مورد نظر می تواند در آنها شرکت کند. هرچند، تعداد واکنش های شیمیایی که در تاریخ توسط هر گروه خاصی از ملکولها تحقق یافته، فقط بخشی از واکنش های قابل اکتشاف را نشان می دهد. اسکلنت های شیمیایی حیات نخستینی که نیاکان حیات معاصر هستند، در میان ابعاد بالاتر فضای شیمی جای گرفته اند. در

^۹ (امریکا - فرانسه) عدد یک با ۱۲ صفر، (انگلیس) عدد یک با ۱۸ صفر

واقع جایی میان این فضای گسترده، اسراری قرار دارد که زمینه ساز آغاز حیات روی زمین هستند، یعنی طناب نجات های شیمیایی که مانند زنجیرهای منشعب مداوم تا مسافت های پاورنکردنی بسط یافته اند.

اکنون آماده ایم برخی از سازه های شیمیایی مناسب برای تشکیل اولین حلقه این زنجیر مداوم را بررسی کنیم، که در زمانی بین آغاز دوره هادِن و آغاز دوره آرکنن خلق شدند و تا زمان کنونی گسترش یافتند. همان طور که گفته ایم بی شک حیات، آغازهای کاذب متعددی هم داشته است. هر چند، احتمال دارد که در دودمان های نسبتاً یا کاملاً مورد قبول، حیات، قبل از استقرار کامل، تلفات متعددی داده باشد، که هیچ اثر مشخصی از خود به جای نگذاشته اند. برخی از این طناب نجات های نامرئی ممکن است قبل از این که کاملاً محو شوند، تا اواخر دوره هادِن بسط پیدا کرده باشند، در حالی که برخی دیگر ممکن است قبل از ناپدید شدن رد پایشان، تا عمق دوره آرکنن امتداد یافته باشند. برای ارزیابی احتمال هر یک از طناب نجات های محتمل در فضای شیمی، از دو معیار استفاده خواهیم کرد. اول این که آیا این طناب نجات محتمل است؟ یعنی آیا در مورد این که حیات نخستین ها اصولاً چگونه به وجود آمدند، راهی منطقی ارائه می دهد، حتی اگر تحقق آن راه در تاریخ واضح نباشد. و دوم این که آیا این طناب نجات از نظر تاریخی عملی است؟ یعنی، اگر شرایط شیمیایی مسلط بر زمین اولیه را بدانیم، آیا این طناب نجات مفروض، مسیری حقیقی را درون فضای شیمی برگزیده است که به خزانه موجودات زنده معاصر منتهی می شود؟

گرچه ژن های امروزی اطلاعات ضروری خود را با استفاده از دی ان ا نمایش می دهند ولی این ممکن فقط یک چرخش تاریخی باشد. اگر به آغاز نمونه های اولیه حیات در دوره هادِن برگردیم و به حیات اجازه دهیم بار دیگر باز گشوده شود، ممکن است دیگر شاهد ظاهر شدن موجودات زنده ای که از فناوری دی. ان. ا استفاده می کنند نباشیم. در حقیقت، فرض این که قوانینی وجود دارند که مانع بیان اطلاعات حیات توسط فناوری های دیگر می شوند، نامعقول به نظر می رسد. با این وجود، کسی نمی تواند این احتمال را رد کند که حیطه فناوریهای شیمیایی که از فرایندهای حیات پشتیبانی می کنند بسیار محدود است. هنوز، این اندیشه را که تمام راههای ممکن حیات، ناگزیر و به طور قطع به دی. ان. ا منتهی می شوند نمی توان با اطمینان کنار گذاشت.

همان طور که انسان قرونی را سپری کرده است که با فناوری روز مشخص شده اند، آیا احتمال ندارد که اطلاعات حیات هم از فناوری های متعدد متفاوتی استفاده کرده باشند؟ برای مثال، انسان دوره آهن، مشکل می توانست تصور کند که زمانی همه چیز از سنگ ساخته شده بود. به همین ترتیب انسان دوره برنز، از فناوریهای ابتدایی دوره آهن حیرت می کرد. به نظر می رسد که مدرنیته در انقلاب صنعتی ریشه دارد که آن هم با تکیه بر مواد و فناوری های متعدد نوین به وجود آمد. آهن، زغال، پنبه، آسیاب و موتور بخار که آنقدر برای قرن ۱۹ ضروری بودند، در قرن پسامدرن، توسط فناوریهای مثل سیلیکون چپیس (مدارهای سیلیکون) و انرژی هسته ای به حاشیه رانده شدند. با این وصف همه فناوری های پیشین، در ساختن داربستی که همه فناوریهای بعدی روی آن قرار می گیرند، مشارکت دارند.

تردیدی وجود ندارد که دی. ان. ا نیز مانند آهن، فولاد، پلاستیک یا آلومینیم، ماده ساختمانی قابل توجهی است. یعنی فناوری شگرفی است که هنگام ذخیره، تکثیر و یا اصلاح اطلاعات حیات، فناوری های دیگر به راحتی نمی توانند بر آن پیشی بگیرند. در حقیقت خصوصیات منحصر به فرد دی. ان. ا در تولید و تداوم رژه پیچیده اشکال که معرف تاریخ حیات روی زمین است نقش اساسی بازی کرده است. ولی دی. ان. ا نیز مانند همه فناوریهای دیگر، هم ویژگیهای منحصر به فرد و هم محدودیت های خودش را داراست. بنابراین ممکن است که روزی دی. ان. ا با سخت افزار قدرتمند تر و همه کاره تری که اطلاعات را ذخیره می کند، جا به جا شود؟ آیا ممکن است که، این عمارت مجلل ظاهراً ضروری حیات نوین، یعنی فناوری دی. ان. ا، فقط وسیله ای باشد برای رسیدن به طرحی دیگر؟ آیا ممکن است که "عصر دی. ان. ا" هم مانند عصر آهن متناهی و زودگذر باشد؟

شاید در سالهای آینده، موجودات زنده ای که ارثیه پیچیده تری را به کار می برند، باهمان کنجکاو، به عقب و به دوران تاریک فناوری دی. ان. ا بنگرند که ما اکنون به پیشینیان خود یعنی به فناوری حیات اولیه که احتمالاً عصر هادِن را پی

ریزی کرده اندمی نگریم. چقدر اذعان به این که ریشه های بیوشیمیایی آنها به زمانی برمی گردد که دی.ان.ا ستون فقرات اطلاعاتی همه موجودات زنده را تشکیل می داده، برای آنها سخت خواهد بود.

اگر فناوری جدیدی بیاید و جای دی.ان.ا را بگیرد، نباید از این که موجودات زنده مبتنی بر دی.ان.ا، در مراحل اولیه با مخلوقات پسا دی.ان.ا ای که خودشان زاده اند، همزیستی دارند، تعجب کنیم. مثل زمانی که ضبط صوت ها با سی دی پلیرها همزیستی داشتند، تا این که بالاخره آخرین ضبط صوت به اتاق زیرشیروانی حمل و به یکی دیگر از تحفه های تاریخ فناوری تبدیل شد. از این گذشته، اگر در نقطه ای فرضی در آینده، زمانی که هزاران سال از انقراض حیات مبتنی بر دی.ان.ا گذشته است، یک انسان شناس مولکولی از سیاره ای دیگر بیاید و از زمین بازدید کند و در ماموریت خود اتفاقاً به یک دی.ان.ا بر بخورد، ممکن است از دیدن طرح ساده و ظریف آن شوکه شود. گرچه، هر قدر هم که دی.ان.ا در کنار زیرساخت پیشرفته خود که اطلاعات را ذخیره می کند، ممکن است ابتدایی به نظر برسد ولی واضح است که فناوری دی.ان.ا، از نظر مهندسی، نسبتاً پیچیده است. این مطلب از اینجا نتیجه می شود که، دم و دستگاه دی.ان.ا که تولید کننده -ذخیره کننده -تداوم بخشنده، و تغییر دهنده اطلاعات است، از اجزاء متعددی ساخته شده است. هر یک از این اجزاء در فرایندهای مربوط به خود تکثیری دی.ان.ا و مهیا کردن اطلاعات برای ساخت پروتئین ها، نقشی اساسی بازی می کنند. این اجزاء عبارتند از: (۱) پروتئین هایی که تکثیر دی.ان.ا را آغاز و به انجام می رسانند؛ (۲) پروتئین های نقاط بازرسی، که خطاهای رخ داده در هنگام تکثیر دی.ان.ا را تشخیص می دهند؛ (۳) پروتئین هایی که زنجیره های معیوب و بد تکثیر شده دی.ان.ا را بازسازی می کنند؛ (۴) کد ژنتیک^{۱۰} مربوط به ترجمه زنجیره های دی.ان.ا به زنجیره های آمینو اسید؛ (۵) پروتئین هایی که زنجیره ژن دی.ان.ا را به زنجیره های آر.ان.ا پیامبر کپی می کنند و (۶) دستگاه هایی که قادرند زنجیره آمینو اسیدها را طبق برنامه آر.ان.ا ی پیغامبر که به آنها تغذیه می شود، با به کار بردن سیستماتیک قوانین کد ژنتیک، بسازند.

پروتئین های تکثیر و تعمیر، درجه خطای خود به خود مرتبط با تکثیر را تنظیم می کنند و با این کار مانع تحلیل رفتن جنبه های اصلی اطلاعات می شوند. هر چند باید اجازه دهند که برخی تغییرات به ماده ژنتیک اعمال شود تا ماده خام جهت تغییر تکاملی فراهم شود. وقتی فرآیند تکثیر دی.ان.ا دقت زیادی داشته باشد، فرزند یکسان یا تقریباً یکسان زنجیره دی.ان.ا را تولید می کند. زنجیره غیر یکسان، فقط به ندرت و آن هم با احتمال کم و محدود ظاهر می شود. فناوری دی.ان.ا ی امروزی بر پایه اصل تقسیم کار اصولی بین زنجیره دی.ان.ا (ژنوتایپ)^{۱۱} و پروتئین (فنوتایپ)^{۱۲} قرار گرفته، که زنجیره دی.ان.ا نرم افزار ذخیره اطلاعات یا "برنامه" موجود زنده است، و پروتئین، سخت افزار یا مظهر فیزیکی اطلاعات به رمز در آمده و اندوخته. هر چند، لزومی نداشت که فناوری کهنه دی.ان.ا این اصل را به کار گیرد.

پروتئین های "کنترل کننده کیفیت" در نقاط بازرسی، تضمین می کنند که همه گامهای فرآیند تکثیر دی.ان.ا به درستی پیش می رود. اگر دی.ان.ا نتواند برای اثبات موفقیت در عمل تکثیر، ویزا ارائه کند، تا زمانی که به موارد اختلاف رسیدگی شود، از نقطه بازرسی برگشت داده می شود. اطلاعات، از نقاط بازرسی به پروتئین های "چرخه سلولی"^{۱۳} انتقال می یابند و پیشروی در چرخه سلولی را به تاخیر می اندازند، تا زمانی که تصحیحات لازم در پروتئین انجام گیرد. در خلال یک چرخه تکثیر دی.ان.ا، از تعداد زیادی نقاط بازرسی مجزا عبور می شود. اگر تکثیر اشتباهی نتواند تصحیح شود، یک برنامه خود ویرانگر به نام "برنامه ریز مرگ سلول"^{۱۴} درون سلول ناهنجار فعال می شود.

این پیش نیازها، معرف حداقل پیچیدگی ضروری برای ساخت سیستم ژنتیکی است که از فناوری دی.ان.ا استفاده می کند. اگر فرض کنیم که همه این عناصر برای عملکرد چنین سیستمی لازم هستند، ناگزیر به این پرسش می شویم که همه این

^{۱۰} Genetic code. (*۴)

^{۱۱} ریخت ارثی

^{۱۲} ریخت ظاهری

^{۱۳} چرخه تقسیم سلولی

^{۱۴} apoptosis

عناصر چگونه در جریان تاریخ ساخته شده اند؟ به نظر می رسد که بررسی دقیق این مورد به معمای مرغ و تخم مرغ بیانجامد. بدون کد ژنتیک مناسب و پروتئین های ضروری برای ساخت، تعمیر و تکثیر دقیق، دی.ان.ا نمی تواند محتوای اطلاعات خود را برای زمان طولانی محفوظ نگاه دارد. اما، دلایل خوبی در دست داریم که باور کنیم پروتئینهایی که آنقدر پیچیده هستند که قادرند بر این اعمال تاثیر بگذارند، خود نمی توانند بدون وساطت دی.ان.ا ساخته و تنظیم شوند. این مسئله نشان می دهد که فناوری دی.ان.ا، برای به رمز در آوردن اطلاعات حیاتی پیچ و مهره های حیات نخستین عصر هادنن، بیش از حد پیچیده است. پس مجبوریم که فناوریهای پیشگام دیگری را که در تقسیم کار بین ژنوتایپ و فنوتایپ دارای پیچیدگی ذاتی نیستند، جستجو کنیم. بنابراین، جستجوی اولین مخلوق زنده، نیاز به کاوش شیمیایی و تاریخی فناوری های پیشگام احتمالی خواهد داشت که قادرند بدون نیاز به رمزی کردن و ترجمه اطلاعات به زبانهای مختلف شیمیایی، همزمان آنها را ذخیره کنند و به کار ببرند.

ممکن است که حیات، در خلال سه تا چهار میلیون سال اقامت موقت خود روی زمین، از فناوریهای متفاوتی استفاده کرده باشد. گراهام کرنز اسمیت^{۱۵} اصطلاح "چیرگی ژنتیک"^{۱۶} را برای فرآیندی که طی آن یک فناوری حیات جای فناوری دیگری را می گیرد، پیشنهاد کرده است. چقدر باید از این مسئله احساس حقارت کنیم. برای این که از نظر تاریخی، انسان، نه تنها بازیگری تصادفی و ظاهراً غیرمتمثل در بازی حیات است، بلکه حتی ممکن است که دی.ان.ا، و اجزاء اصلی پروتئین های سازنده آن که آخرین در منزلت انسان است، غیر ضروری و فقط یکی از گزینه های متعدد فناوری حیات باشند. در حقیقت ممکن است دی.ان.ا اصلاً اهمیت خاصی نداشته باشد، جز این که تاریخ تصادفاً به آن برخورد و فناوری حیات مبتنی بر دی.ان.ا را وصله پینه کرد، که سرانجام همه فرآیندهای بعدی حیات محکم به آن چسبیدند. حقیقتاً این امکان وجود دارد که اطلاعات موجودات زنده را در موادی به جز دی.ان.ا ذخیره کنیم، و همزمان اجزاء اساسی پروتئین ها را در جایی که اطلاعات ترجمه می شود، حفظ کنیم. از طرف دیگر، ژنهای ساخته شده از دی.ان.ا ممکن است از خیر پروتئین ها بگذرند و مواد ساختمانی دیگری را به کار برند. اما، گرچه محصولات نهایی ممکن است بسیار شبیه هم باشند، ولی انتخاب مواد ساختمانی تاثیری ژرف بر ماهیت محصول نهایی خواهد داشت. برای مثال، تیغه تبری که از آهن ساخته شده باشد مانند تبری که از برنز ساخته شده باشد نیست. هیچ تقلیدی از دی.ان.ا یا پروتئین ها نمی توانند این مجموعه از موجودات زنده شناخته شده را تولید کنند، و در این صورت ممکن است دی.ان.ا و پروتئین ها برای حیات، نقشی اساسی تر از حفاظت اطلاعات برعهده داشته باشند.

اگر فرض کنیم که جهان کنونی موجودات زنده مبتنی بر دی.ان.ا، نماینده عصر برنز ژنتیک است، در این صورت پیشگامان فناوری عصر آهن و عصر حجر ژنتیک به چه چیزی شباهت داشته اند؟ و چگونه ممکن است که این فناوریها، از طریق رشته ای از رویدادهای متوالی "چیرگی ژنتیک"، موفق به ساختن فناوری امروزی مبتنی بر دی.ان.ا شده باشند؟ گرچه توضیحات مورد قبول زیادی برای این پرسش وجود دارد، که جهان نوین دی.ان.ا چگونه به وجود آمد، ولی جهان های فرضی پیشگام که ما در جستجوی نیاکان شیمیایی حیات مبتنی بر دی.ان.ا بازدید خواهیم کرد، عبارتند از: (۱) *جهان تهاجم ژنتیک فرا زمینی*^{۱۷}؛ (۲) *جهان آر.ان.ا*؛ و (۳) *جهان فاقد ژن*. این حرف به این معنا نیست که جهان های فرضی دیگری برای بازدید وجود ندارند، مثلاً *جهان خاک رس* که آن هم کاندیدی قابل قبولی است. اما، هدف این نیست که همه شقوق ممکن فناوریهای حیات را به طور جامع توضیح دهیم، بلکه در عوض فقط روی چند مثال تمرکز می کنیم، تا مقبولیت کلی موجودات اجدادی ابتدایی را که از دی.ان.ا برای ذخیره اطلاعات اساسی شان استفاده نمی کردند، ثابت کنیم.

به نظر می رسد که بیشتر فناوریهای مناسب به طور مستقیم، و "جهان تهاجم ژنتیک فرا زمینی" به طور غیر مستقیم، در سوپ شیمیایی پیش زیستی که بوته آزمایشی برای حیات نخستین بود، ریشه داشته باشند. این مجموعه شیمیایی آغازین، توسط تخته سنگ ها، اقیانوس ها، هواکش های اعماق دریا و جو زمین نوزاد، و با کمک رویدادهای شیمیایی زمین و

^{۱۵} Graham Cairns-Smith

^{۱۶} Genetic takeover. (۵*)

^{۱۷} Extra-Terrestrial

تحولات جوی، مانند آتشفشانها و طوفان آذرخش، ساخته شد. شهاب سنگ ها هم که از مواد آلی و کانی ترکیب شده بودند، مواد بیشتری را از فضا به همراه آوردند و، به تنوعات سوپ کمک کردند. این احتمال نیز وجود دارد که ضربه شهاب سنگ ها مکانیسم دیگری برای ترکیب ملکولهای آلی فراهم کرده باشد. ممکن است که، مواد وابسته به عوامل خارجی (برون زاد) و نیز موادی که در اثر ضربه شهاب سنگ ساخته شده اند، به پیچیدگی سوپ پیش زیست کمک کرده و عنصر تصادفی فرازمینی را به تاریخ حیات روی زمین وارد کرده باشند. چنین به نظر می رسد که این سوپ پیش زیستی سترون، حیات نخستین را توسط فرآیند تکامل شیمیایی پایدار و تدریجی به وجود آورده باشد. هرچند، نظر دیگری هم مطرح است که اظهار می دارد، حیات ممکن است در سطح ملکول های سولفید آهن درون هواکش های عمق دریا آغاز شده باشد و نتیجتاً حیات به هیچ عنوان مستقیماً از سوپ پیش زیستی ناشی نشده است.

بمباران زمین اولیه توسط شهاب سنگ ها اساس اولین و مناقشه برانگیزترین توضیح برای آغاز حیات روی زمین را تشکیل می دهد. با توجه به فرضیه "پان اسپرمیا"^{۱۸} یا *جهان تهاجم ژنتیک فرا زمینی* که توسط فرد هویل^{۱۹} و چاندرا ویک راماسینگ^{۲۰} پیشنهاد شده است، حیات در روی زمین آغاز نشده است بلکه حاضرو آماده توسط شهاب سنگ ها به زمین رسیده است. اما حتی اگر روزی این فرضیه اتواستاپ بین سیاره ای به اثبات برسد، عقلانی به نظر نمی رسد. برای این که اگر بگویم حیات در سیاره ای دیگر یا کهکشانی دیگر آغاز شده است، باز هم مسئله سرچشمه حیات را حل نکرده ایم بلکه آنرا به تعویق انداخته ایم. این فرضیه اقتصادی هم نیست چرا که شواهد اظهار می کنند که در روی زمین، زمان و فرصت شیمیایی کافی برای تکامل حیات از نو، وجود داشته است. البته معنی این حرف این نیست که حیات همزمان، یا در زمانهای متفاوت در نواحی دیگر کیهان آغاز نشد. حتی احتمال دارد که حیات روی زمین تبار دوگانه داشته باشد، یک رشته از پیشگامان زمینی و دیگری از منبع بیرون زمینی سرچشمه گرفته باشند. ولی با داشتن مدارکی که نشان می دهند همه موجودات زنده کنونی می توانند تا نیای مشترکی ردیابی شوند که حدود ۳,۲ میلیارد سال تا ۳,۸۵ میلیارد سال قبل زندگی کرده است، لازم است که این دو مسیر فرضی متفاوت، قبل از این تاریخ، یک نقطه مشترک داشته باشند.

گرچه شواهد پشتیبان نظریه پان اسپرمیا، در بهترین حالت ناقص و نامربوطند، ولی نکات قابل توجهی دارند. برای مثال، معروف است که شهاب سنگ ها سرشار از مواد آلی، شامل آمینو اسیدهای فرا زمینی و بازهای نوکلئو اسیدی هستند. از این گذشته، کشف آمینو اسید گلیسین که در عمق فضا در مرکز کهکشان راه شیری درون ابر غلیظی از گازهای ساگیتاریوس B2^{۲۱} شناور است، شواهد بیشتری را برای اثبات این مسئله فراهم می کند که آمینو اسید در هر جایی از کیهان می تواند ساخته شود. به گفته کریستیان دو دوو^{۲۲}، این نوع کشفیات نشان می دهد که شیمی آلی نه تنها منحصر به زمین نیست بلکه "پیش پا افتاده ترین شیمی در کیهان" است. همین اواخر، جف مارسی^{۲۳} و پل باتلر^{۲۴} سیارات دوردست را مطالعه کردند که به گفته مارسی "عین سیارات خودمان در منظومه شمسی هستند". این سیارات جدید در "دب اکبر" و صورت فلکی سنبله^{۲۵} آنقدر شبیه سیارات منظومه شمسی هستند که کشف آنها را اوج تاریخ ۵۰۰ ساله عقلانیت نامیده اند. این کشفیات آنقدر اخترشناسان را به هیجان آورد که گزارش شده است حتی خدمتکاران یک کافی شاپ نزدیک به سایت سن آنتونیو، محلی که اکتشاف اولین بار در آنجا اعلام شد، قادر بودند جزئیات سیاره ها را بازگو کنند. آیا ممکن است نوعی از حیات در این سیاره ها به طور مستقل آغاز شده باشد، مثل اتفاقی که روی زمین افتاد؟

^{۱۸} Panspermia . (۶*)

^{۱۹} Fred Hoyle

^{۲۰} Chandra Wickramasinghe

^{۲۱} Sagittarius

^{۲۲} Christian de duve

^{۲۳} Geoff Marcy

^{۲۴} Paul Butler

^{۲۵} Virgo

امکان وجود حیات در دیگر کرات، موقتاً به خاطر شهاب سنگ مریخی ALH84001 اعتبار بیشتری یافت. این شهاب سنگ با ضربه یک سیارک یا ستاره دنباله دار از مریخ جدا شد و به مدت تقریباً ۱۵ میلیون سال در فضا سفر کرد و بعد به زمین افتاد، و زیر لایه های یخ به مدت سیزده هزار سال پوشیده ماند، تا در سال ۱۹۸۴ توسط آلن هیلز^{۲۶} در منطقه قطب جنوب کشف شد. بعد هم تا اگوست ۱۹۹۶ طول کشید تا گروههایی از محققین که توسط دیوید مک کی از مرکز فضایی جانسون در ایالت هوستون وابسته به ناسا، هدایت می شدند، اعلام کردند که تحقیقاتشان در مورد این شهاب سنگ که اندازه گریپ فروت است، به این نتیجه منتهی شده است که ممکن است موجودات خیلی ریزی شبه باکتری، میلیاردها سال قبل روی مریخ اولیه زندگی کرده باشند؛ یعنی زمانی که شرایط روی این سیاره خشک منجمد مساعد تر بوده است. ولی محققین تاکید کردند که شواهد آنها دلیل قاطعی برای وجود حیات ابتدایی بر روی مریخ ارائه نمی دهد بلکه اشاراتی به آن می کنند. آنها همچنین اذعان داشتند که شواهد مستقل بیشتری نیاز است تا تفسیری را که از مطالعات مربوط به ترک های سطح ALH84001 شده است، تایید کند.

مدارک آنها شامی سه مولفه اساسی می شد. اول این که، تخته سنگ ها شامل مقدار زیادی رسوب آلی پیچیده به نام هیدروکربن های چند حلقه ای معطر (PAH)^{۲۷} بودند که (بین سایر سازو کارهای غیر بیولوژیک ترکیب شونده) معروفند که از فساد موجودات زنده به وجود آمده اند. دوم این که، ترکیب مشخصی از کربنات، سولفید آهن و مغناطیس یافت شد که از فعالیت بیولوژیک نهفته ای حکایت می کرد. سوم، حباب^{۲۸} های چسبناک ریز تخم مرغی شکل و باریک و دراز میان سنگ ها پیدا شدند که محققین ادعا می کردند نمونه های فسیل شده ای از موجودات قدیم مریخی هستند. چون این باکتری ها تقریباً صد بار کوچکتر از باکتری های کنونی بودند، بقایای مفروض فسیلی آنها را نانوفسیل نامیدند. مک کی و همکارانش استدلال کردند که، گرچه هر یک از این مشاهدات اگر به تنهایی در نظر گرفته شوند می توانند با فرایندهای غیر بیولوژیک توضیح داده شوند، ولی که وقتی همه با هم و در متن پیوندهای فضایی شان در نظر گرفته شوند، شواهد شیمیایی و معدن شناسی و ریخت شناختی قویاً حاکی از این است که نانوحیات ابتدایی ممکن است زمانی در مریخ شکوفا شده باشد.

خبرگان هنوز مشغول تعبیر و بررسی نتایج هستند و انتقاد زیادی هم از این تعبیر که حباب ها اشکال فسیلی حیات قدیم روی مریخ را نشان می دهند، به عمل آمد. مشکل اصلی از این حقیقت ناشی می شود که نانوفسیل های مورد نظر فاقد ساختارهای متشکلی هستند که معمولاً در میکرو فسیل ها دیده می شود. گذشته از این، نانوباکتری مریخی مفروض آنقدر کوچک بوده که احتمالاً فضای کافی برای جای دادن دستگاه بیوشیمیایی لازم برای بقا را نداشته است. مطالعات همچنین نشان می دهد که نانوفسیل ها در دمای نزدیک به ۷۰۰ درجه سانتیگراد شکل گرفتند که چند صد درجه از حداکثر دمایی که قوی ترین باکتری های زمینی می توانند تحمل کنند، یعنی ۱۲۰ درجه سانتیگراد، بیشتر است. گروهی از زمین شناسان استدلال می کردند که حباب ها مراحل از رشد کریستالی غیر آلی هستند و منشانی غیر بیولوژیک دارند. عده دیگری اظهار داشته اند که ساختار آنها مصنوعی است و PAH ها از آلودگی زمینی ناشی شده اند. حتی این فرض منطقی، که مبدا شهاب سنگ مریخ است، نیز مورد مباحثه و جدل قرار گرفته است. ولی علیرغم این شکاکیت، خدشه آشکاری به کار وارد نشده است. واضح است که مطالعات بیشتری باید انجام شود و تحقیقات گسترده بین المللی از ALH84001، شامل جستجوی آمینو اسید ها و آزمایش دقیق تری از نانوفسیل های مفروض که مک کی آنها را "موجودات کوچک"^{۲۹} نامیده است در دست انجام است. مطالعه ALH84001 تلویحاً فرض می کرد که آرم شیمیایی^{۳۰} حیات مفروض مریخی شبیه موجودات زمینی است. ولی ممکن است که زیست

Allan Hills^{۲۶}
Polycyclic aromatic hydrocarbons^{۲۷}
blob^{۲۸}
Little critters^{۲۹}
signature^{۳۰}

نشانگرهای^{۳۱} حیات که مستقلاً در سیاره های دیگر رشد کرده اند، کاملاً با نشانه های زیستی حیات زمینی، متفاوت باشند. نتیجتاً احتمال دارد از برخی شواهد حیات در سنگهای برون زمینی غفلت شده باشد. حقیقتاً اگر چنین تفسیرهایی از شواهد وجود نشان حیات در مریخ تایید شود، بسیار قابل توجه است. اگر فرضیه حیات مریخی محقق شود هم بر ادراک ما از وحدت حیات در زمین و هم بر پیوند تاریخی آن حیات با هر حیات در نقاط دیگر کیهان تأثیری ژرف خواهد داشت. ممکن است مجبور شویم درک خود از این واقعیت را که تجلی حیات در منظومه شمسی اولیه عادی بود و این مسئله که آیا در برخی موارد، تجربه های اولیه حیات تا امروز دوام آوردند، دوباره ارزیابی کنیم. علاوه بر این، مطالعه حیات مفروض فرا زمینی ممکن است اطلاعاتی را در باره دامنه ساختارهایی بیوشیمیایی که قادر به انجام فرآیندهای حیات هستند، فراهم کند. هرچند، چون مدارک کمی در رابطه با "پان اسپرمیا" داریم، فرضیه متداول تر را می پذیریم که معتقد است، سوپ آغازین زمین اولیه از نظر شیمیایی بارور، ولی از نظر بیولوژیکی سترون بوده، و تخم حیات توسط منبع حیاتی خارج از آن و پنهان در یک شهاب سنگ، در آن کاشته نشده است. در عوض، حیات زمینی و هر حیات مفروض فرا زمینی را نماینده دودمان های مجزا و از نظر تاریخی غیر ممزوج در نظر خواهیم گرفت.

با توجه به وسعت باغ وحش اطلاعات و تاثیر پیش آمدهای احتمالی و انطباق با محیط میکروسکوپی واحد، بعید است که دورشته حیات مستقل که در سیاره های متفاوت آغاز شده اند، از مواد ژنتیک، اجزای ساختمانی و یا منطق بیوشیمیایی یکسانی استفاده کرده باشند. به علاوه، خصوصیات شیمیایی هر نوع سوپ اولیه مشخص، مجموعه مسیرهای احتمالی منتهی به حیات را محدود می کند. به این ترتیب، خزانه تاریخی طناب نجات های قابل دسترسی برای حیات روی زمین، احتمالاً فقط بخشی از مسیرهای ممکن را نشان می دهد. اگر شکل قابل قبولی از حیات فرا زمینی یافت می شد که از دی.ان.ا به عنوان ماده ژنتیک و پروتئین های به هم پیوسته در منطقی بیوشیمیایی استفاده می کرد، که دستگاه اجرایی آن یاد آور بیولوژی زمینی باشد، می توانست حاکی از این باشد که، زمانی مواد زنده بین زمین و منشأ آن حیات دیگر رد و بدل شده است. حتی اگر ترکیب سوپ آغازین زمینی و فرا زمینی تقریباً یکسان می بود، باز هم این مسئله صادق بود. ولی برعکس، ممکن بود دلیلی باشد بر این که در سوپ های گوناگون شیمیایی غیر بیولوژیکی که در کائنات اولیه ناحیه ما یافت می شد، تنها یک مسیر همگرای برتر وجود داشت که به اشکال ساده حیات مبتنی بر دی.ان.ا منتهی می شد. اگر این مسئله درست بود، امکانات هستی ابتدایی، بسیار از آنچه که به نظر می رسد محدودتر بود.

این فرضیه را می توان با جستجوی حیات یا شواهدی از فعالیت های بیولوژیک قبلی در سایر نواحی کهکشان ما، مانند قمر اروپا که متعلق به مشتری است، یا تایتان بزرگترین قمر سیاره کیوان، آزمایش نمود. در حال حاضر جستجوی جهان های قابل سکنی، به سوی سیاره ها و ماههایی که منابع آب مایع دارند متمایل شده است، چون حیات زمینی مطلقاً به آن وابسته است. گرچه سطح اروپا یخ زده است ولی نشانه هایی از وجود اقیانوس مایعی زیر سطح آن موجود است. ولی فرض این که همه اشکال ممکن حیات به آب مایع وابسته باشند، غیر معقول است. کارل ساگان^{۳۲} و همکارانش ثابت کرده اند که سفر فضاییهای بدون سرنشین، برای کاوش سایر سیارات، می تواند بدون مسلم دانستن ماهیت شیمیایی آن، حضور حیات در سطح سیاره را آشکار کند. وجود گازها بی که کاملاً از تعادل ترمودینامیکی خارج شده اند، رنگدانه هایی که به آسانی با فرآیندهای طبیعی زیست شیمیایی قابل توضیح نیستند، و امواج رادیویی گسیل شده، می توانند به عنوان علائمی برای فرآیند حیات نهفته در نظر گرفته شوند. گرچه، این چنین سفر هایی ممکن است برای آشکار کردن حیات منقرض، حیات پراکنده، حیات زیر سطحی، یا حیاتی که پیوند سستی با محیط سطح سیاره دارد، نامناسب باشد.

اگر سایر منابع دی.ان.ا و حیات مبتنی بر پروتئین در کهکشان ما کشف شده بودند، می توانستیم روابط خویشاوندی مورد قبول بین دی.ان.ا و زنجیره پروتئین های زمینی و منابع فرازمینی را بررسی کنیم. اگر شباهتی بین زنجیره ها می یافتیم،

^{۳۱} biomarker
^{۳۲} Carl Sagan

می توانستیم پیوند تاریخی بین دودمان های متفاوت حیات را استنتاج کنیم. این کار، فرضیه پان اسپرمیا را تقویت می کرد. حالت دیگر این بود که، طرح های تولید شده توسط فرآیندهای حیات ممکن است آنقدر محدود باشند که به جای همتایی دی.ان.ا و زنجیره های پروتئین آنها، باید به دنبال شباهت نسبی آنها می بودیم. برای نمونه، اگر شیر آفریقایی در سیاره تایتان یافت می شد نباید نتیجه می گرفتیم که نوعی پیوستگی تاریخی بین شیرهای تایتان و همتایان زمینی شان وجود دارد. این مسئله فقط می توانست منعکس کننده این واقعیت باشد که فرآیندهای حیاتی مبتنی بر فناوریهای دی.ان.ا و پروتئین، سرانجام به صورتی تغییرناپذیر و پایدار، مخلوقاتی شبیه شیر آفریقایی تحویل می دهند. هرچند چنین چیزی بسیار بعید به نظر می رسد.

همان طور که بعداً خواهیم دید، همه چیزهایی که ما درمورد ظهور فرآیندهای حیات در پهنه بیکران زمان می دانیم، با این برداشت تناقض دارد. گرچه به نظر می رسد که فاکتورهای متعددی وجود داشته باشند که طبیعت فرآیندهای حیات مبتنی بر دی.ان.ا و آر.ان.ا و پروتئین ها را مقید می کنند، با این حال آنقدر آزادی دارند که تنوعات زیادی تولید کنند. به نظر نمی رسد که پیچ و خم های تاریخ در سراسر فضا-زمان ریاضی، توسط صانعی ملکوتی با نخ هایی نامرئی، برنامه ریزی یا کنترل شده باشد. ولی لزوماً هم غیر قابل پیش بینی نیستند. قوانین فرضی پیچیدگی که تا کنون خوب درک نشده اند، ممکن است با زمختی، طبیعت کلی و سیالیت طرحهای بیولوژیک را محدود کنند. وجود چنین قوانینی می تواند بخشی از استبعاد ذاتی اطلاعات و منطق را از بین ببرد. ولی با فرض بنیان های آماری که حیات بر آنها بنا شده است، به نظر می رسد که حتی اگر همه سیارات کیهان، مانند زمین بذر حیات دریافت می کردند، باز باید فضای کلانی را در کیهان به دنبال موجودی طبیعی جستجو می کردیم که حتی شباهت کمی به شیر آفریقایی داشته باشد. به این ترتیب، احتمال این که یک جانور خاص از طریق انتخاب طبیعی و تصادف توسط مخترعان بی طرف و دمدمی مزاج تکامل داروینی از آستین باغ وحش اطلاعات بیرون بیاید، بسیار کم است.

قبل از رهاکردن موضوع ALH84001، بهتر است خاطر نشان کنیم که شهاب سنگی فرانسوی به نام اورگونیل^{۳۳} در سال ۱۸۶۴ به زمین اصابت کرد و در همان زمان توسط متخصصان متعددی، منجمله میکرب شناس مشهور لویی پاستور آزمایش شد. تحقیقات آزمایشی انجام گرفته، تقریباً صد سال بعد در دانشگاه فوردهام نیویورک، منتهی شد به این که بارتولومئو نگی^{۳۴} اعلان کند که وجود مواد آلی را در شهاب سنگ شناسایی کرده است. وی همچنین ادعا کرد که ذرات میکروسکوپی جلبک مانند در آن قرار داشتند و در آزمایش دی.ان.ا نتیجه مثبت دادند. به هر حال بعد از چهارده سال مباحثه داغ، این نتیجه حاصل شد که آزمایشات دی.ان.ا کافی و قابل اتکاء نبودند، و این که این ذرات فرازمینی غریب، در حقیقت ذرات زمینی میکروسکوپی آلاینده گرده علف آبروسیا^{۳۵} می باشند. در ضربه نهایی وارد شده به ادعای "نگی"، آشکار شد که احتمال این که آن ماده آلی از فرآیندهای غیر آلی بوجود آمده باشد بیشتر است تا از فرآیند حیات. در ۱۹۷۵ حتی "نگی" خود ناچار شد تصدیق کند که بعید بود آن ذرات میکروفسیل های فرا زمینی را نمایش دهند.

تنوری های متعارف زیاد در باره منشأ حیات روی زمین، در این نکته باهم متفقند که اولین گامها به سوی حیات را درست میان پیچیدگی شیمیایی سوپ پیش زیستی قرار می دهند که اقیانوس آغازین و پوسته نازک شیمیایی پوشاننده سطح معدنی زمین نوزاد را یکپارچه می کند. این فرضیات، ریشه در عقاید الکساندر اوپارین^{۳۶} و جی.بی.اس هالدین^{۳۷} دارند که مستقلاً در ۱۹۲۴ و ۱۹۲۹ به نتیجه یکسانی رسیدند. به گفته اوپارین و هالدین، سوپ آغازین حاوی مولکول های آلی، یک کیت ساختمانی تشکیل می داد که همه مواد شیمیایی نیازمند به ادامه بقا را در بر می گرفت. به نظر می رسید که خود سوپ در نتیجه بازی متقابل بین فرآیندهای شیمی زمین و منابع انرژی، مانند رعد و برق و نور ماوراء بنفش تشکیل شده باشد. علاوه بر این تصور می شد که آغاز حیات، در اتمسفری بسیار شبیه طبیعت مشتری رخ داده باشد؛ یعنی اتمسفری که در آن گازهای

^{۳۳} Orgueil

^{۳۴} Bartholomew Nagy

^{۳۵} Ragweed نوعی گیاهی بومی آمریکای شمالی

^{۳۶} Alexander Oparin

^{۳۷} J.S.B.Haldane

اکسید نشده مانند متان، آمونیاک و هیدرژن اکثریت داشته باشند. چنین نظری از نتیجه ای که هارولد اوری^{۳۸} شیمیدان گرفت پیروی می کرد، نظری مبنی براین که اتمسفر زمین اولیه خیلی شبیه مشتری بوده است، که فاقد اکسیژن و لذا در حال کاهیدن است.

در سال ۱۹۵۳ استنلی میلر^{۳۹} که در آن هنگام دانشجوی جوان فارغ التحصیلی بود و در آزمایشگاه هارولد اوری کار می کرد نتایج آزمایشی را منتشر کرد که آغازگر مطالعه آزمایشگاهی درباره سرچشمه حیات بود. میلر سعی کرد که شرایط زمین اولیه را با پرکردن یک فلاسک شیشه ای از مخلوط کاهنده ای از متان، آمونیاک و هیدرژن و آب تقلید کند. سپس عمل رعد و برق را با استفاده از دو الکترود که جرقه می زدند شبیه سازی کرد. وقتی ماده قیرگون تشکیل شده در فلاسک تجزیه شد، مشخص شد که حاوی ترکیبات گوناگون آلی است. این مواد شامل فرم آلدنید (که پیشگام شکر ربیوزی است که یکی از عناصر سازنده آر.ان.ا است)، سیانید (که پیشگام یکی از اسیدهای نوکلئیک است) و چهار عدد از بیست آمینو اسیدی بود که پروتئین هارا می سازند. تجربه میلر برای اولین بار نشان داد که چگونه آمینواسیدهای سازنده پروتئین ها می توانند از روند های غیر آلی فراهم شوند. همچنین نشان داد که چگونه مولکولهای پیچیده که برای موجودات زنده اهمیت اساسی دارند، می توانند در نتیجه واکنش های شیمیایی بین مولکولهای ساده تر به وجود آیند. این نوع ترکیبات طبیعی، می توانند سازنده بنیان بیوشیمیایی اولین فرآیندهای حیات روی زمین باشند. تا سال ۱۹۸۷ میلرو دوستانش موفق شدند با استفاده از شرایط گوناگون، ده عدد از بیست آمینواسیدی را که در پروتئین ها یافت می شوند، بسازند. آنها همچنین موفق شدند که دوازده اسید آمینه دیگر هم بسازند که در ساخت پروتئین های کنونی مشارکت ندارند.

هرچند، با وجود وعده اولیه این آزمایشات و تولید آسان مولکولهای مهم بیولوژیک در روندهای غیر ارگانیکی، ثابت شده است که ساخت دی.ان.ا و آر.ان.ا و مولکولهای چرب ضروری برای تشکیل دیوارهای اولین سلول آغازین، در شرایط پیش زیستی سخت و اغلب غیرممکن است. گذشته از این، نظریه های اخیر در مورد این که اتمسفر زمین اولیه خنثی بوده است و نه کاهنده، فرضیه اوری را نقض می کند، و چنانچه این مطلب صحیح باشد، نتایج آزمایشاتی را که در شرایط کاهنده انجام گرفته اند تضعیف می کند. متأسفانه، شواهدی وجود ندارد که نشان دهد این مشکل حل شده است. ولی چنان که لسلی اورگل^{۴۰} بیان نموده است " باور این مسئله که تشکیل آسان شکر، آمینو اسید، پورین و پیریمیدین در شرایط اتمسفری کاهنده، تصادفی است و یا سرخ دروغینی است که توسط آفریننده ای بد اندیش کار گذاشته شده، سخت است ".

شکست عمومی تمام کوششهایی که در شرایط پیش زیستی برای ترکیب عناصر شیمیایی بنیادی و ضروری حیات به کار رفتند، به این برداشت دامن می زند، که فناوریهای دی.ان.ا و آر.ان.ا و پروتئین ها بیش از آن پیچیده هستند که توانسته باشند از آغاز حیات وجود داشته باشند. گرچه تکامل شیمیایی درون زیرمجموعه های سوپ آغازین در عمق اقیانوس ها یا در سطح تخته سنگ ها یا شاید در هواکش های اعماق دریا، برای تولید حیات ضروری بوده اند، ولی به نظر نمی رسد که اولین موجودات، دی.ان.ا و آر.ان.ا و پروتئین را به روش کنونی به کار گرفته باشند. در حقیقت این فرض که حیات، مانند بچه گیجی که با اسباب بازی پیچیده ای بازی می کند، از آبگوشت پیش زیستی بیرون جهید و فناوریهای پیچیده و جدید خود یعنی دی.ان.ا و آر.ان.ا و پروتئین ها را در هوا با اشتیاق تکان داد، بسیار شبیه این است که باستانشناسی یک اتوموبیل بی ام و را در میان ابزارهای انسان اولیه پیدا کند. به این ترتیب به نظر می رسد که حداقل بعضی از فرضیات حامی آزمایشات پیش زیستی معتبر نباشند. به نظر می رسد که باید رویکرد دیگری به پرسش مربوط به سرچشمه حیات داشته باشیم که از نظر بیولوژیک قابل قبول تر باشد. با فرض پیچیدگی ذاتی فناوری پروتئین که با دی.ان.ا و آر.ان.ا به رمز در آمده است، آیا امکان دارد که اولین

^{۳۸} Harold Urey
^{۳۹} Stanley Miller
^{۴۰} Leslie Orgel

موجودات زنده از فناوریهای شیمیایی ساده تری برای استقرار اصول اطلاعاتی، متابولیک و انرژی که همه حیات بعدی بر آن پایه گذاری شد، استفاده کرده باشند ؟

توضیحات فصل پنجم

۱- هسته زایی nucleosynthesis

هسته زایی به ساخته شدن هسته های سنگین تر از هیدروژن در مراحل آغازین جهان گفته می شود. این هسته زایی زمانی بین یک تا ۵ دقیقه پس از مهیابنگ آغاز شد. این فرآیند هم اکنون در مرکز ستارگان و در خلال انفجار ابرنواخترها رخ می دهد. همچنین می تواند در تصادم در انرژی های زیاد بین هسته اتم و ذرات بنیادی که دارای انرژی بالا هستند مانند آنهایی که در پرتوهای کیهانی یافت می شوند، رخ دهد.

۲- Archean وابسته به اوایل دوره پرکامبرین

آرکنن یکی از دوره های زمین شناسی است. مهمترین وقایع دوره آرکنن یا ابر دوران نخست زیستی تحولات زیستی بوده است. در بین ملوکول های مختلف موجود در سطح زمین اولیه، احتمالاً ملوکول های آلی کربن دار وجود داشته است. ولی فرایند پیشرفت از چنین ملوکولی تا حتی ساده ترین موجود زنده باید به زمان بسیار طولانی نیاز داشته باشد. قبلاً این دوره را ماقبل پرکامبرین یا دوره دیده نشده یاجهنم می نامیدند و از سال ۱۹۷۲ این نام را گرفت. آن را آروئیک هم نامیده اند که به معنی بدون حیات است.

۳- هادنن Hadean

هادنن، قدیمی ترین زیر تقسیم دوره پرکامبرین، متعلق به زمان تشکیل کره زمین در حدود ۵,۴ میلیارد سال پیش و شروع دوران آرکنن در ۳/۸ میلیارد سال پیش می باشد. این دوران شامل حد فاصل بین پیدایش منظومه شمسی تا قدیمی ترین سنگ های شناخته شده در سطح زمین است. احتمالاً در ۱۰۰ میلیون سال ابتدای این دوران، زمین و سایر سیارات منظومه شمسی شکل گرفته اند. پوسته زمین در این دوران تشکیل و به ضخامت آن افزوده شده. به عقیده دانشمندان در اواخر این دوران، اقیانوس های بزرگ، دشت های بی آب و علف، رشته کوه ها، جلگه ها، رودخانه ها، آتشفشان ها، ابرهای متراکم و بادهای شدید وجود داشته است.

۴- کد ژنتیک

کد ژنتیک مجموعه قوانینی است که بر اساس آنها اطلاعات به رمز در آمده در ماده ژنتیک (مانند دی ان ای یا آر ان ا) توسط سلول های زنده به پروتئین ها (زنجیره آمینو اسید ها) ترجمه می شود. این رمز تناظری را بین زنجیره تری نوکلئوتید ها که کدون نامیده می شود و آمینو اسید ها تعریف می کند. با استثناء کمی یک کدون سه تایی در یک زنجیره اسید نوکلئیک، یک آمینو اسید تنها را مشخص می کند. چون اکثریت ژنها با دقت یک کد مشابه رمزگذاری می شوند این کد مشخص به نام کد ژنتیک استاندارد یا متعارف یا فقط کد ژنتیک نامیده می شود در حالی که در حقیقت بسیاری کد

های گوناگون وجود دارند. برای مثال ترکیب پروتئین در میتوکندری انسان بر کد ژنتیکی تکیه دارد که با کد ژنتیک استاندارد متفاوت است.

۵- چیرگی ژنتیک Takeover

تصاحب، تسلط، قبضه، بلعیدن یک شرکت توسط شرکت دیگری که آن را خریده است.

۶- پان اسپرمیا

تئوری مبنی بر این که حیات در کائنات از انتشارهاگ ها یا باکتری ها که در محیط مناسبی رشد می کنند بوجود می آید.

در جستجوی فسیل های هوشمند

وقتی با انبوهی از اشکال و طرح های پیچیده بیولوژیک مواجه می شویم که بر فضای زمین نقش بسته اند ، از خود می پرسیم که اولین موجودات روی زمین به چه چیزی شباهت داشته اند. آرم حیات نوین با زبان اشکال نوشته شده است، بنابراین منطقی است که حدس بزنیم اولین موجودات زنده نیز این خصوصیت ظاهراً اساسی را داشته اند. اگر بدانیم که می توانیم شجره خاتوادگی خود را تا نیاکان بی شکلی پی بگیریم، که حتی با ذوق ترین نقاشان هم به سختی می توانند آنها را روی بوم نمایش بدهند، بسیار تعجب خواهیم کرد. ولی به افتخار کوشش های این پسرعموهای فراموش شده باید گیلای خود را بلند کنیم. در حقیقت، این کهنه سربازان بی رگ " نبرد آغازین حیات " که به برهوت تاریخ پرتاب شده اند و صندلی هایشان در ضیافت حیات برای مدت طولانی خالی مانده است، شایسته جایگاه والایی هستند. جای آنها در جشن شیدا خالی است. زیرا اگر به خاطر کوشش های این پیشاهنگان شجاع و دلاور، که در مرز امکانات بیولوژیک کاوش می کردند و دورنمای ریاضی ترسناک و ناشناخته غیرممکن ها را می پیمودند، نبود، سطح زمین هنوز ممکن بود سترون باشد.

هرچند، قبل از خوارش کردن نیاکان پیش سلولی خود، باید کمی محتاط باشیم. مخلوقاتی که بیگانه و دورند ولی با این حال بخشی از خانواده ما هستند. اینها هم خون هم خون های ما هستند، که بسیار به آنها مدیونیم. ولی منظورمان از این که قدیمی ترین نیاکان ما احتمالاً فاقد شکل بوده اند، دقیقاً چیست؟ آیا باکتری، فقط به این دلیل که قادر به دیدن آن با چشم غیر مسلح نیستیم، فاقد شکل است؟ بزرگنمایی باکتری با میکروسکوپ دقیقاً عکس این مطلب را آشکار می کند، چون گرچه باکتری فاقد پیچیدگی سلولهای جانوری است، ولی بسیار پیشرفته است. اگر یک باکتری به اندازه فیل می ساختیم، بی تردید پیچیدگی ساختار آن را تصدیق می کردیم. و اگر یک باکتری به اندازه فیل جلوی راه ما را می گرفت، بدون شک به اندازه کافی به آن احترام می گذاشتیم و حواسمان بود که سر راهش قرار نگیریم.

قبلاً پیچیدگی قابل توجه یک هموگلوبین واحد را مورد بحث قرار دادیم. هموگلوبین آنقدر کوچک است که می توانید تعداد بسیار زیادی از آن را در فضایی خیلی کوچکتر از ریزترین باکتری بچپانید، و تازه باز هم جای اضافی در کنار آن بماند. اگر می خواستیم یک مولکول هموگلوبین غول پیکر بسازیم، ساختمان آن آنقدر شکوهمند می شد که حضورش در موزه یا گالری هنرهای معاصر را تضمین می کرد. در حقیقت یک مدل نمونه مولکول میوگلوبین نهنگ که در محفظه ای پلاستیکی در کتابخانه مدرسه پزشکی دانشگاه کمبریج قرار گرفته است، آنقدر از نظر زیباشناسی گیراست که سالهاست در معرض نمایش عمومی است.

بنابراین واضح است که وقتی عبارت پسرعموهای بی بضاعت را در مورد نیاکان شیمیایی پیش سلولی بی شکل خود به کار می بریم، بی انصافی می کنیم. اگر کمی بیشتر توجه کنیم درمی یابیم که نیاکان ما بسیار ثروتمند تر از آن بودند که ما تصور می کنیم. زیرا چیزی که آنها فاقد آن بودند شکل نبود بلکه نوعی ساختار صلب سلولی بود که با چشم انسانی دیده شود. در واقع ممکن است که، نیاکان بدون سلول ما، "موجودات زنده سیال"، لخت و حجره بندی نشده باشند و از فناوریهایی بسیار ساده تر از دی.ان.ا و آر.ان.ا و پروتئین ها ساخته شده باشند، و یا این که این عناصر را به روشی ابتدایی و بدیع بکار برده باشند. چون احتمال دارد که این موجودات پیش سلولی، فاقد ساختارهای صلب، معین و غلافداری باشند که ما با موجودات زنده

مدرن تک سلولی مربوط می دانیم، و بعید است از دی.ان.ا و آر.ان.ا و پروتئین ها به روشی امروزی استفاده کرده باشند، و سوسه می شویم که آنها را موجود واره^۱ بنامیم. ولی استفاده از این اصطلاحات خوار کننده در حق اجدادمان بی انصافی است. شعری را از توماس هاردی به یاد می آورم که درحال غور مگس خواب آلوده ای که پاهایش را به هم می مالد، می گوید: "پست ترین موجود خدا، آنها! من در بحر تفکر. پس چرا؟ نه من، رازهای زمین را می دانند آنها". به جای این که به این موجودات بی سلول فرضی به عنوان نیاکان بی بضاعت حیات معاصر نگاه کنیم، می توانیم از تصور حیات عاری از پوست، خون، دندان، استخوان، سلول و غشاء به شگفت در آییم. شاید آنها ساده و بی هدف باشند، ولی بی شکل و بی ریخت قطعا نیستند.

منظورم از استفاده از اصطلاح سیال یامایع این است که، اولین موجود زنده ممکن است فاقد هرگونه حجره بندی باشد. یعنی آنها نه تنها فاقد غلاف های پیچیده و دیواره سلول بودند، که مشخصه حیات سلولی امروزی است، بلکه فاقد هر نوع غلاف دیگری بودند که می توانست آنها را از دنیای شیمیایی اطرافشان مجزا کند. احتمال دارد که این مرحله فرضی حیات غیرسلولی یا سیال بسیار کوتاه مدت بوده باشد و منحصر به مجموعه محدودی از ریز بوم های برتر بوده باشد؛ مثلاً فرورفتگی های کوچک در سطح تخته سنگها یا حوضچه های ریز روی سنگها که قادر بودند کالبد شیمیایی این موجودات سیال را یکجا جمع کنند. گرچه این موجودات پیش سلولی فاقد دیواره سلولی و غلاف بودند، ولی می توانستند توسط ساختار منطقی صوری مدار شیمیایی شان تعریف شوند.

قبل از بررسی بعضی از روش های ساخت این موجودات شیمیایی به ظاهر بی شکل و بی سلول، ارزش دارد که بعضی از مباحث عامی را که در اثر استفاده از عبارت هایی نظیر "پیشگامان شجاع و دلاور" و "نبرد آغازین حیات" سر برمی آورند، مورد ملاحظه قرار دهیم. شایسته است که اولین موجودات را با پیشگامان غرب وحشی آمریکا که با گاری های اسبی شان، به گستره پهناور خطه های ناشناخته دشمن سفر کردند، مقایسه کنیم. هر چند، این عبارت به دو دلیل نباید به صورت تحت اللفظی در نظر گرفته شود. اول این که ظاهراً عبارت "پیشگامان شجاع و دلاور" پویایی را به اولین موجودات نسبت می دهد، در حالی که این موجودات به وضوح فاقد آن بودند؛ هزاران میلیون سال طول کشید تا ابتدایی ترین نوع آگاهی روی زمین برآید. دوم این که دیار غرب وحشی آمریکا برای پیشگامان ناشناخته بود ولی برای بومیان آمریکا شناخته شده بود. این مستلزم این است که دشت هایی که اولین موجودات زنده روی آنها رویدند کاملاً عاری از حیات نبوده باشند، درحالی که درحقیقت عاری از آن بودند.

بنابراین مهم است که ما از نظر ذهنی هر اشاره ای به "هدف"، "اراده آزاد" یا "پویایی" را با اظهاراتی مانند "چنان که گویی یا مثل این که" جا به جا کنیم. از این رو می توان تصور کرد که اولین موجود چنان رفتار کرده است که گویی دچار یک حریق خامانوسوز آغازین خیالی بوده است که "نبرد آغازین حیات" نام دارد. همچنین می توان تصور کرد که این موجودات سرزمین های نامکشف احتمالات شیمیایی را چنان کاوش کردند، که گویی پیشگامانی شجاع و دلاور بودند. حقیقت مسئله این است که، به هر حال، آنها به معنای لفظی اش نه شجاع بودند و نه دلاور، بلکه قریب به یقین نشئه ناآگاهی بودند. این موجودات حجره بندی نشده، هیچ درکی از بخش های ماقبل تاریخ که می بایستی فعالیت و بنیادی در آن شرکت کنند، نداشتند. درحقیقت آنها حتی فاقد آگاهی ابتدایی بودند. عوامل اصلی تصادفی در بازی خلق موجود زنده عبارت بودند از اقبال یا شانس بی هدف، همراه با تکامل داروینی از طریق انتخاب طبیعی، احتمالات تاریخی، قوانین فیزیک و شیمی، و قوانین پیچیدگی که می توانند بر پویایی رفتار ساختارهای پیچیده تاثیر بگذارند.

اگر می توانستیم المثالی از نیاکان حجره بندی نشده^۲ خود بسازیم و تخم و ترکه حجره بندی شده ای را هم که سرانجام به راه انداختند، در مقابل خود قرار می دادیم، نمی توانستیم باور کنیم که این قابلیتِ اعجاب انگیز را در خود جای داده باشند.

^۱ Quasi-organism
^۲ Uncompartmentalized

تقریباً باورکردنی نیست که درمیانِ بذَر احتمالات متعددی که به طور ذاتی در ساختارهای اطلاعاتی این نیاکان قرار دارد، نه تنها قابلیت تولید انسان امروزی بلکه همچنین همه دست آوردهای این انسان، یعنی: سنگ چخماق، نقاشی، زبان، شعر، فلسفه، قلعه، ریاضیات، موسیقی، آمفی تاتر، پل معلق، تلفن، هلی کوپتر و فضاپیما نیز قرار دارد. از خود سوال می کنیم که اگر این پیشگامان اولیه، دودمان های متوالی دیگری را تولید کرده بودند، آیا همه چیز کمی تفاوت نمی کرد؟ تنها چیزی که می توانیم از آن مطمئن باشیم این است که: طرح تاریخی شکلی که از پیشگامان ما ناشی شده است فقط بخشی از مجموعه طرحها و نمایش های باشکوهی است که می تواند ازچنین آغاز غیر احتمالی نتیجه شده باشد. اذعان به چنین موضوعی همانقدر ما را خوار می کند که نیاکان فرضی بی شکل پیش سلولی ما، خود را در مقابل اعقاب حجره بندی شده خود خوار می بینند.

اگر می توانستیم زمان را به عقب برگردانیم، و نقش هزاران میلیون سال تاریخ را پاک کنیم و سپس بگذاریم ساعت به روشی که سیمون کانوی موریس^۲ پیشنهاد کرده است، دوباره به حرکت دربیاید، احتمال این که چیزی که حتی کمی به انسان شباهت داشته باشد، بتواند بار دیگر روی سطح زمین راه برود، وجود ندارد. نیاکان ما بیشتر احتمال داشت که در مسیرهای دیگری پیش بروند که شرایط تاریخی مانع از کاوش آنها شده اند. حیات می توانست بسیار متفاوت باشد. بنابراین، احتمال تحقق هر یک از مسیرهای مشخص فضای همه رویداد های ممکن تاریخی نزدیک به صفر است. از این گذشته هر سری از رویدادهای تاریخی به هم پیوسته محتمل، ذاتاً به اندازه بقیه اعتبار دارد. ظاهراً هیچ راهی در فضای همه رویداد های ممکن تاریخی وجود ندارد که به بقیه راهها ترجیح داده شود. هیچ راهی بیشتر از راه دیگر مورد پذیرش نیست. اما، منظور این نیست که همه وضعیت ها در این فضای بالقوه احتمال وقوع یکسانی دارند. گرچه طرح های کلی تری ممکن است قابل تشخیص باشند ولی به نظر نمی رسد که الگوی از پیش تعیین شده یا برنامه ای برای تاریخ وجود داشته باشد. این نوع تأثیرات عمیق ممکن است ماهیت و اندازه همه گزینه های ممکن دیگر را به معنای عام محدود کنند. چنین ملاحظاتی ما را به این نتیجه می رساند که طبیعت را از یک نظر می توان این چنین تعریف کرد که همان چیزی است که ما با آن آشناییم. زیرا در فضای غول آسای " همه چیزهای زنده ممکن " نمی توانیم جز با احتمالات بسیار کم سر و کار داشته باشیم.

در فصل بعد بعضی از فناوریهایی را که احتمال دارد، موجودات اجدادی اولین پله شجره خانوادگی ما، از آنها ساخته شده باشند، بررسی خواهیم کرد. فعلاً بر روی دو موضوع تمرکز می کنیم که بنیان عقلانی لازم را برای جستجوی قدیمی ترین نیاکان ما پی ریزی می کند. اولین موضوع، روند فرضی "چیرگی ژنتیک" است، که بر اساس آن، علی الاصول، جنبه هایی از شکل منطقی و یا ساختار اطلاعاتی موجودات زنده، می تواند از یک فناوری به فناوری دیگری منتقل شود. زیرا، تصور این که فناوری پیشگام ساده تری بر فناوری دی.ان.ا. تقدم داشته، بدون وجود ساز و کاری برای انتقال فناوریها، بیهوده است. ما اینک ماهیت کلی سازو کاری را بررسی می کنیم که اجازه می دهد، منطق طراحی یک دستگاه بیولوژیک یا غیر بیولوژیک با احتیاط یا کمی بی احتیاطی، شکلی از نمایش ماده را به شکل دیگری از نمایش تبدیل کند. همچنین در این مورد بحث خواهیم کرد که چرا بعید است که عناصر ساختمانی ضروری اولین اشکال حیات از فناوری پیچیده ای چون دی.ان.ا. ساخته شوند.

باوجود این که روند فرضی "چیرگی ژنتیک" در فناوری متفاوتی رخ می دهد، ولی ساختار اطلاعاتی الگو به طور وسیعی حفظ می شود. البته تفاوت بین فناوریهای جایگزین در برخی موارد ممکن است آنقدر زیاد باشد که جا به جایی یک نوع سخت افزار با نوع دیگر، نیازمند تغییری در ساختمان منطقی آن دستگاه باشد. فرض کنید یک بارانی از ورقه های فلزی ساخته شده باشد. این بارانی، اگر بتوانید وزنش را تحمل کنید بدون شک شما را خشک نگاه می دارد و از این نظر یکی از جنبه های کلیدی منطق نهفته در مفهوم بارانی را دارد. ولی ممکن است کسی به اجبار بگوید که بارانی فلزی می تواند سبک، ارزان، گرم و راحت باشد. حتی این بارانی هم سرانجام روزی شروع به زنگ زدن می کند.

^۲ Simon Conway Morris

برای فهم معنای کلی فرآیند چیرگی ژنتیک، اجازه دهید به تکامل یک دستگاه غیر بیولوژیک نگاه بیاندازیم. ممکن است گفته شود که جدّ موتور امروزی، فورّد مدل تی، کالسکه چینی، کجاوه، ارابه، اسب و گاری، یا اختراعات دیگری مانند اینها نبوده است. در عوض، اسب، قاطر، الاغ، گاو، فیل یا شتر یا هر چهارپای دیگری بودند که زمانی در یک وسیله نقلیه جای گرفتند. از این نظر، اختراع دهنه و زین، اولین تزیین فنی در قاعده کلی استفاده از قوه محرکه حیوان در ترابری بوده است. اما، گذار از وضعیت یک راست نشستن روی پشت یکی از این حیوانات، به وضعیت نشستن در ارابه ای که توسط آنها کشیده می شود، تغییر مفهوم اساسی تری را نشان می دهد که آنرا پارادایماتیک می نامیم. گذار پارادایماتیک، گذاری است که منجر به تغییری در منطق اصلی فرآیند می شود. وقتی که یک ارابه اختراع می کنید، گذار به اختراعات مشابه مانند گاری، کالسکه و دلیجان، گرچه از لحاظ کیفیت متفاوتند، منجر به تغییری در طراحی می شود ولی منطق آن را تغییر نمی دهد. در یک گذار غیر پارادایماتیک، منطق ضروری و حیاتی طرح حفظ می شود. مثلاً، می توانید وسیله ای درست کنید که چرخ داشته باشد و بعد آنرا به حیوان قوی و رامی وصل کنید، به آن آب و غذا بدهید و تازیانه اش بزنید. به این ترتیب شما یک وسیله نقلیه دارید. اما، گذار از کالسکه اسبی به خودرو، تغییر ذاتی اساسی تری است و نمونه ای از انتقال پارادایماتیک را ارائه می دهد. زیرا برعکس همه دستگاه های متحرک قبلی، خودروها از دست موتورهای بیولوژیک راحت شدند و آنها را با دستگاههای غیر بیولوژیک جایگزین کردند.

جالب توجه است که طرح کلی خودروهای امروزی جزء تفکیک ناپذیر نمونه آزمایشی فورّد بود. علیرغم این که خودروهای جدید از مواد متفاوتی ساخته می شوند و مجهز به ابزارهای جدید و موتورهای هستند که بعضاً سوخت های متفاوتی مصرف می کنند، ولی غالب آنها از طرح اولیه فورّد در نمونه آزمایشی اش منحرف نشده اند. یعنی منطق خودرو، دست نخورده باقی مانده است. یعنی کماکان دارای چهار چرخ، دو یا چهار در، یک موتور، غریبک فرمان، استارت، باک بنزین، صندلی ها، برف پاک کن، آینه، بوق، صندلی راننده و صندلی مسافر است. بدون شک طرح اولیه فورّد زمانی به سرنوشت کجاوه مبتلا خواهد شد و جزو عجایب تاریخی محسوب خواهد شد. با این وصف، منطق اعقاب آن، آزادانه و بی وقفه مستقیماً از منبع آن، یعنی دفترچه یادداشت هنری فورّد در گاراژ منزل او به آخرین سالن های نمایشگاه جریان می یابد. ضمناً در عمق منطق اصلی طرح نمونه فورّد، ساختمانهای نظری دقیقی نهفته است؛ فسیل های باهوش که به سختی قابل تشخیصند و تاریخشان به زمانی برمی گردد که انسان برای اولین بار روی یک گاو نر پرید، اولین اسب را افسار زد و زین کرد یا این که اولین حیوان را به ارابه وصل کرد.

احتمالاً طرحهای متعدد دیگری قبل از تولید انبوه خودرو و پذیرش طرح اولیه فورّد به عنوان معیار این صنعت، توسط مخترعین مورد بررسی قرار گرفتند. این طرحها روی کاغذ فرموله و سپس ساخته می شدند تا کارانی شان مورد آزمایش قرار گیرد. احتمال دارد که در روزهای اول، فاصله منطقی بین طرح ها قابل ملاحظه بوده باشد. قاعدتاً، دلایل خوبی برای از بین بردن غالب طرحها بدون گذاشتن رد پا و ارسال آنها به انبار خودروهای اوراقی، وجود داشته است. بدون شک شانس هم در این میان نقش بازی کرده است. برای مثال، هر مهندسی نمی تواند سرمایه هایی را که برای این پروژه ها صرف می شود تضمین کند و برخی از طرحهایی که بالقوه عالی هستند ممکن است قربانی استراتژی های بد بازاریابی شده باشند. ممکن است عناصر مشخص ساختمان منطقی این طرحها هنوز هم ایستادگی کرده باشند. وقتی که منطق اصلی و توپولوژی خودروی مدرن محرز شد، نسبت نوآوری های مهمی که می توانستند وارد طرح شوند، کم شد. باوجود این که هر نسلی از خودروها قابلیت طراحی دوباره مطابق با طرح اولیه را دارند، ولی به نظر می رسد که مهندسين فقط می توانند تا اندازه محدودی از منطق اساسی طرح منحرف شوند.

با این وصف، عمده ترین طراحان و سازندگان خودرو به تولید مدل های جدید با مهارت های جالب توجه ادامه می دهند. با وجود محدودیت های تحمیل شده توسط طرح های ابتدایی، به نظر می رسد که تقریباً مجموعه نامحدودی از ساختارها وجود دارند که بالقوه شبیه خودرو هستند و می توانند مورد بررسی قرار گیرند. در حقیقت، احتمالاً انعطاف پذیری طرح اولیه

فورد از دلایل اصلی پایداری آن است. گرچه مدل‌های جدید در مسائل فروعی مانند مصرف سوخت، تجهیزات، یا طراحی شاسی با یکدیگر متفاوتند، ولی ثابت شده است که طراحی خودروی موفقی که از نقشه اولیه به طور جدی منحرف شده، کار سختی است. طرح اولیه، هم می‌تواند مانع کشف طرح‌هایی شود که از نظر کیفی متفاوتند و هم منبع نوآوری باشد. اگر اندازه خودرو زیادی بزرگ شود تبدیل به ون، کامیون، اتوبوس یا تریلی می‌شود. اگر پلکان و چراغ‌های آبی داشته باشد می‌شود ماشین آتش نشانی و اگر زره داشته باشد تانک است. اگر موتور خیلی قوی باشد، ماشین مسابقه می‌شود و چنانچه مخزنی برای مخلوط کردن سیمان داشته باشد می‌شود ماشین بتن ساز. "فضای همه خودروهای ممکن" فضای صلبی نیست، و مرزهای آن و ضوابط شمول آن فقط با تعاریف اختیاری خود ما تعیین می‌شوند؛ مثلاً، تصور این که کسی با اتوبوس به محل کارش برود سخت است، ولی در آتیه اگر خانواده‌ها بزرگ‌تر شوند، ممکن است این مسئله عادی شود. اگر وقت بود، می‌توانستیم مجموعه فرضیاتی را که تصور کلی از واقعیت یک خودرو را تعیین می‌کنند، بگشاییم.

در دنیای غیر بیولوژیکی که دستگاه‌ها در آن ساخته می‌شود، امتحان و آزمایش طرح‌های جدید بی حساب و کتاب، منحصر به کشیدن نقشه‌ها و محاسبات و سپس اجرای آنهاست. اگر دستگاه‌ها کار نکنند و آنقدر خوش شانس باشیم که بتوانیم سرمایه‌گذاری بیشتری بکنیم، می‌توانیم به راحتی کار را از نو شروع کنیم. اما طبیعت اجازه این تجملات را نمی‌دهد. طبیعت اجازه نمی‌دهد که طراحی مجددی بر اساس اصول اولیه صورت بگیرد، و در هر زمان، فقط تعداد محدودی از اجزاء دستگاه بیولوژیک می‌تواند به مقداری قابل ملاحظه اصلاح شوند. ریشه‌های یک از طرح‌های معاصر در تاریخ پیشینیانش است و نمی‌تواند به آسانی بر این ماترک پیشی بگیرد. طرح اولیه، همه طرح‌های آتی را تثبیت و محدود می‌کند. این مسئله در مورد خودروها و سایر دستگاه‌های مصنوعی صدق نمی‌کند، که گرچه ریشه در تاریخ پیشینیانشان دارند، ولی به آن سختی توسط آنها محدود و مقید نشده‌اند. دستگاه‌های مصنوعی با ماهیت بیولوژیک یا غیر بیولوژیک، می‌توانند به میل طراح دوباره ساخته شوند و هیچ دلیل ماهوی برای این که چرا خودروها یا موجودات زنده مصنوع در آینده، باید مشابه همان امروزی‌ها باشند، موجود نیست. از این گذشته، هر جزء از یک ساختار بیولوژیک با اجزاء همراه خود تشریک مساعی دارد. به خاطر این اتکاء متقابل، تغییر عمده‌ای در یک قطعه ممکن است عملکرد بسیاری از قطعات دیگر را به خطر بیندازد.

واضح است که وارد کردن تغییرات عمده در دستگاه‌های بیولوژیک توسط فرآیندهای مهندسی طبیعی کار ساده‌ای نیست، و قابلیت تغییر آنها نیز محدودتر از همتایان مصنوعی آنهاست. با این وصف، ظاهراً ساختار منطقی دستگاه، صرف نظر از سازوکاری که آن را طراحی کرده است، حفظ می‌شود. بنابراین، گرچه هر نوع جدید خودرو از خط خطی کردن طرح‌های قدیم به وجود آمده است ولی معمولاً به پیشینیانش شباهت دارد. و با داشتن مشخصات تعدادی از خودروهای جدید، باید بتوانیم مجموعه‌ای از معماری‌های فورد مدل‌تی را از آنها استنباط کنیم، حتی اگر هیچ نمونه‌ای از آن نمانده باشد و همه نقشه‌های موجود نابود شده باشند. اما، اسب و زین و گاری را نمی‌توان فوراً از یک خودرو استنباط کرد. استنباط ساختارهایی که از نظر پارادایماتیک فاصله دارند، سخت‌تر است و ممکن است زمانی وقت بگیرد تا تشخیص داده شود که صندلی ماشین همان زین اسب است که به سختی تغییر قیافه داده، و شاسی همان گاری تغییر یافته است و موتور، یک اسب مصنوعی یا گاو نر یا الاغ است.

در مورد دستگاه‌های طبیعی بیولوژیک، نظر عمومی‌تری وجود دارد که معتقد است انواع خاص موجودات زنده، فقط نتیجه تغییر در منطق ساختمانی اساسی دربرگیرنده همه موجودات زنده است. برای نمونه، همه سلول‌های شناخته شده، از دی.ان.ا و آر.ان.ا و پروتئین‌ها ساخته شده‌اند. از این گذشته در عالم وسیع گیاهان و حیوانات، موجودات زنده در ژن‌ها و شبکه‌های سوخت و ساز متعددی شریکند. این که منطق طراحی آنها از تیارهای متعدد شاخه شاخه، عبور می‌کند و به آنها می‌رسد، منعکس کننده نژاد مشترک آنها و نیز منعکس کننده همگرایی آنها به راه حل‌های طراحی مشابه می‌باشد. زمانی که نوآوری موفقیت آمیزی کشف می‌شود، می‌تواند تغییر قیافه بدهد. برای مثال، دستگاه یک سوخت و ساز معین، می‌تواند برای

توان بخشیدن به دامنه وسیعی از سلول های مختلف به کار رود. یکی از این دستگاه ها می تواند به همین نحو بر دامنه ای از موجودات که براساس طرح اولیه ۴ پا، یک بدن و یک دم ساخته شده اند، منعکس شود.

بنابراین به نظر می رسد که در دنیای بیولوژیک هم، طراحی مجدد جهت دست یابی به تغییر پارادایماتیک، مثل تغییر ماشین های دست ساز، آنقدر سخت است که فقط به ندرت و فقط بعد از سپری شدن زمانی قابل ملاحظه از تاریخ طرح، رخ می دهد. دامنه تغییرات پارادایماتیک در سیستم های مصنوعی بسیار بیشتر از سیستم های طبیعی است. به این دلیل که دست کاری های طبیعی ماشین های بیولوژیک، فقط در نتیجه اضافه شدن، کم شدن، تغییر یا جا به جایی عنصری تنها، یا گروهی از عناصر در زمانی طولانی میسر است. به هر حال، فهم این مطلب که اسب و گاری یا کالسکه چگونه تبدیل به خودرو شدند، امر پیش پا افتاده ای است. لازم نبود که فردی اسبی را شبیه موتور احتراق داخلی طراحی کند، بلکه او به سادگی اسب ها را تماماً کنار گذاشت. موتورهای بیولوژیک با اجزائی غیر بیولوژیک جایگزین شدند که در ماشینی غیر بیولوژیک و دست ساز روی هم سوار می شد. انجام این کارها در طبیعت خیلی آسان نیست. انجام یک تغییر پارادایماتیک در ماشین بیولوژیک کاری سرنوشت ساز است و به هیچ وجه معلوم نیست که عملکرد به دست آمده در یک فناوری، بدون طراحی مجدد کامل بتواند به فناوری دیگری منتقل شود. با انباشته شدن محدودیت ها و قیود، سرعت رخ دادن تغییرات پارادایماتیک در یک طرح مشخص پایین می آید.

ولی چرا این همه درمورد خوردها و منطق طراحی و انتقال پارادایماتیک صحبت کردیم؟ نکته این است که تاریخ وسایل نقلیه این سوال مهم را مورد ملاحظه قرار می دهد که آیا فناوری دی.ان.ا و در حقیقت منطق کلی مولکولی سیستم های اطلاعاتی مبتنی بر دی.ان.ا، مانند طرح اولیه خودروی فرد، درست از همان ابتدای کار حضور داشت؟ چه نوع ساختارهای منطقی و فناوری های شیمیایی ممکن است در حیات اولیه، از زین یا اسب و گاری فرضی مولکولی پشتیبانی کرده باشند، و چگونه یک نوع فناوری می تواند جای فناوری دیگری را گرفته باشد؟ قبل از این که این سوالات را مورد ملاحظه قرار دهیم، لازم است برخی از خصیصه های فردی فناوری دی.ان.ا را مورد بررسی قرار دهیم.

دی.ان.ا و پروتئین های رمز دار، پیچ و مهره های ساختمانی و اطلاعاتی موجودات زنده معاصر را تشکیل می دهند. دی.ان.ا مولکول متخصص عالیرتبه ای است که بایگانی اطلاعات ژنتیک را به رمز در می آورد و نگهداری می کند. هر سلول هسته دار حاوی بایگانی کاملی است، ولی در موجوداتی که بیش از یک نوع سلول دارند، به منظور فراهم کردن تاریخچه اطلاعاتی لازم برای تولید عملکرد سلولی ویژه، اطلاعات به شکل متفاوتی دست یابی می شود. اگر اثر دستورالعمل های به رمز در آمده به موجود زنده اجازه بدهد که انقدر زنده بماند که باز تولید کند، در این صورت جنبه های بایگانی شده به نسل های آینده منتقل می شود. ولی اگر دی.ان.ا، بخواهد چیزی بیش از یک بایگانی منجمد باشد که از شبیه سازی اطلاعات جدید ناتوان است و اگر بخواهد منسوخ و مهجور نباشد و ضمناً اهل رقابت هم باشد، باید کارهای بیشتری را انجام دهد. در کائنات منظم و قابل پیش بینی، بایگانی ژنتیک می تواند در طول نسل های نامحدود، بدون تغییر انتقال یابد، ولی کائنات پیوسته در تغییرند. شاید تنها چیزی که ما می توانیم از آن مطمئن باشیم این است که فرداهای دور ما احتمالاً شباهت گذایی به دیروز و امروز ما خواهند داشت. بنابراین ضروری است که اطلاعات اندوخته دی.ان.ا، جدید باقی بماند و در عین حال تصویر منطقی تار و پود تصادفی گذشته را حفظ کند. راحت ترین روش حصول این منظور، آمیختن سازو کارهایی است که بایگانی دی.ان.ا را به روز درمی آورند. روزآمد کردن اطلاعات فقط منحصر به بایگانی ژنتیک نیست. رشد، آموزش و فرهنگ قادرند اطلاعات ژنتیکی رمز دار را تکمیل کنند و ظرفیت های اعجاب انگیزی جهت ذخیره، تکثیر و تولید اطلاعات فراژنی فراهم کنند. از این گذشته، این رده های اضافی پردازش اطلاعات، نسبت به تغییرات پُرسامدی که نمی توانند توسط دی.ان.ا دنبال شوند، حساسند.

همه اطلاعات در معرض نابودی اند و بایگانی دی.ان.ا هم از این قاعده مستثنی نیست. این آمادگی از آنجا ناشی می شود که اطلاعات مداوماً در معرض عوامل شیمیایی بالقوه مضر، مانند اکسیدان ها که در سوخت و ساز بدن تولید می شوند و

فرآیندهای فیزیکی مانند تابش نور ماوراء بنفش که اتصال عرضی^۴ مضر به دی.ان.ا وارد می کند، قرار دارند. حتی مولکولهای آب که برای نگاهداری یکپارچگی ساختار دی.ان.ا بسیار ضروری اند، به آن حمله می کنند و اتصالات شیمیایی اش را از هم می گسلند. همچنین، محتوای اطلاعاتی دی.ان.ا در خلال تکثیر و در اثر خطاهای نسخه برداری آسیب می بیند. درجه جابجایی خطا بودن عمل نسخه برداری می تواند معیاری برای پیچیدگی در نظر گرفته شود. اگر از کودکان ۴ ساله یک کلاس بخواهیم که تمام کارهای میلتنون را در دفتر مشق شان کپی کنند، حتی اگر درصد کمی از کلمات شبیه متن اصلی باشند تعجب می کنیم. اما، انتظار ما از یک استاد ادبیات انگلیسی، کاملاً متفاوت است. حتی زرنگ ترین دانش آموزها نیز احتمال دارد در اثر خستگی، یا به خاطر پرت شدن حواسش در یک لحظه حساس، تک و توک مرتکب اشتباهات عجیب شوند. از طرف دیگر، دستگاه فتوکپی باید بی عیب باشد. پس آیا ما به یک دستگاه فتوکپی مینیاتوری نیاز داریم که اطلاعات اندوخته در دی.ان.ا را تکثیر کند؟

در حقیقت مطلقاً مسئله ما این نیست. اگر دی.ان.ا با دقت یک دستگاه فتوکپی تکثیر می شد، اصلاً بعید بود که حیات مبتنی بر دی.ان.ا به وجود آید. آنچه که واقعا دی.ان.ا نیاز دارد دستگاه تکثیری است که دقتی مابین دقت یک نجیب زاده انگلیسی خواب آلود و دقت جدید ترین تکنولوژی دستگاه فتوکپی زیراکس داشته باشد. برقراری تعادل میان دقت و خطا، هر دو برای ما حساس و مهم و هم سنگ است. اگر خطا زیاد باشد اطلاعات به آهستگی تحلیل می روند و به چیزهای بی معنا تبدیل می شوند و متون گرانبهای ما به سوپ بی معنایی از کلمات تبدیل می شوند. اما اگر خطا خیلی کم باشد، حیات صلب و انعطاف ناپذیر، منجمد و کاملاً غیر قابل توجیه می شود.

از این رو دی.ان.ا هم ماشینی است برای تداوم اطلاعات و هم برای تولید آن. اطلاعات تولید می کند نه به این دلیل که مستقیماً از تجربه هایش چیزی می آموزد، بلکه به این دلیل که ممکن است دسته ای از بایگانی های مربوطه دی.ان.ا، به طور تصادفی تغییراتی در محتوای اطلاعاتی آن بدهند و این تغییرات را انباشته کنند. نسخه های متفاوت اطلاعات یکسان بعداً بر اساس توانایی نسبی در نمایش اجزاء ضروری ساختمان تصادفی محیط خود می توانند انتخاب شوند. تنشی که از دو نیاز متضاد هم برای ثبات و هم برای تغییر برمی خیزد، جوهر تکامل مولکولی را تشکیل می دهد.

در یکی از فصول قبلی، مدل ساده ای را برای فهم ساختار اطلاعات دی.ان.ا تشریح کردیم که در آن چهار باز نوکلئوتید دی.ان.ا را با ۴ دانه تسبیح رنگی نمایش می دادیم که در قطعه سیم بلندی به نخ کشیده شده بودند تا گردنبد دی.ان.ا را بسازند. گرچه این دانه ها برای اهداف اولیه ما مناسب بودند ولی اکنون باید این مدل را کمی اصلاح کنیم تا بتوانیم سازو کار تکثیر دی.ان.ا را توضیح دهیم. مدل جدید، به درک معنای تکثیر قالبی^۵ کمک خواهد کرد. این مدل معمولاً معیاری برای همه سیستم های ژنتیک تاریخی منجمله اولین موجودات زنده است. گرچه نباید فراموش کنیم که سایر نمونه های ممکن تکثیر اطلاعات ژنتیک می توانسته است مقدم بر تکثیر قالبی باشد. بنابراین، مفهوم "چیرگی ژنتیک" نباید فقط به معنای تغییر در فناوری مادی محدود شود، چون ممکن است نیازمند تغییراتی در منطق فرآیندهای مربوط به حیات نیز باشد.

کلید فهم ذخیره اطلاعات و ظرفیت تکثیر قالبی دی.ان.ا درون ساختمان مارپیچ دوگانه آن جای دارد. این موضوع در سال ۱۹۵۳ در کمبریج، توسط جیمز واتسون^۶ و فرانسیس کریک^۷ و با استفاده از عکاسی اشعه ایکس توسط موریس ویلکینس^۸ و رزالیند فرانکلین^۹ در کالج سلطنتی لندن، مشخص شد. واتسون و کریک ثابت کردند که مولکولهای دی.ان.ا امروزی یک کلافی نیستند بلکه دوکلافی هستند. یکی از کلافها به عنوان کلاف اصلی یا رمز کننده (برنامه نویس) عمل می کند که کارش ذخیره اطلاعات ژنتیک است، در حالی که کلاف دیگر "غیر برنامه نویس" یا کلاف منفی را برای کلاف اصلی

^۴ cross link (*)

^۵ Template-based replication

^۶ James watson

^۷ Francis crick

^۸ Maurice wilkins

^۹ Rosalind franklin

تشکیل می دهد. کلاف اصلی و کلاف منفی متناظر آن در کنار هم قرار گرفته اند و توسط پیوندهای شیمیایی ضعیف موجود بین بازهای متناظر دوکلاف، به هم متصل می شوند. این پیوند از به کار بستن قانون ساده شیمیایی زیر به دست می آید که یک باز C را قادر می سازد که به یک باز G در کلاف همسایه اش پیبوند و باز T با باز A ی متناظر خود جفت شود. عکس آن هم صادق است یعنی G با C جفت می شود و A با C. از این رو هر G، T، C یا A در کلاف اصلی قادر است یک پیوند هیدرژنی ضعیف با G، A، C، T های مکمل در کلاف منفی برقرار کند. در نتیجه دو کلاف در کنار هم قرار می گیرند و یکدیگر را با پیوندهای بین کلافی، که لنگه های هر یک از زوج بازها را به هم می پیوندند، نگه می دارند. دو کلاف دور هم می پیچند و یک ساختمان مارپیچ دوگانه را تشکیل می دهند که شبیه یک پلکان مارپیچ است. سپس این پلکان دور خودش هم می پیچد، مانند آبر پیچ های یک ریسمان و ساختاری از مرتبه بالاتر و آبرمارپیچی فشرده تر می سازد.

زنجیره کلاف اصلی را به سادگی می توان با خواندن زنجیره بازها در کلاف منفی و سپس به کار بستن قانون تبدیل شیمیایی بازها استنتاج کرد. برای مثال زنجیره CCTGAC در کلاف معکوس متناظر است با زنجیره مکمل GGACTG در کلاف اصلی. به همین ترتیب، زنجیره کلاف معکوس هم می تواند از کلاف اصلی استنباط شود. از این رو هر کلاف مثل یک قالب برای ساختن زوج مکمل اش عمل می کند.

اکنون اجازه دهید به مدل دانه گردنبند برگردیم و فرض کنیم که گردنبندی از ۴ دانه به رنگهای مختلف ساخته ایم. وقتی که گردنبند مثبت (برنامه نویس) را ساختیم، شروع می کنیم به ساختن گردنبند دوم منفی (غیر رمز کننده). ترتیب دانه ها در گردنبند دوم از روی ترتیب دانه ها در گردنبند اول تعیین می شود، به این ترتیب که گردنبند دوم مکمل گردنبند اول است و نه عین آن. و این گردنبند با به کار بستن قانون تبدیل رنگها - مشابه قانون تبدیل شیمیایی - به دست می آید. این قانون بیان می کند که اگر دانه سبز در گردنبند اصلی است باید یک دانه قرمز در مکان متناظر آن در گردنبند منفی بگذاریم. به همین نحو، اگر دانه قرمزی در گردنبند اصلی است، باید یک دانه سبز بگذاریم و اگر نارنجی است یک آبی بگذاریم و اگر آبی است نارنجی بگذاریم. اگر اطلاعات گردنبند اصلی برای قالب زنی گردنبند دوم استفاده شود، گردنبند جدید نسخه منفی گردنبند اصلی خواهد بود. حال می توان گردنبند مکمل را ردیف کرد و دانه های متناظر در گردنبند مثبت و منفی را با استفاده از دکمه قابلمه ای مناسبی که نشان دهنده پیوند هیدرژنی بین هر دوباز در یک جفت متناظر است، به هم متصل کرد. اگر پیوند بین بازهای مکمل در دو کلاف مرئی بودند ساختمان آن چیزی شبیه نردبانی ریسمانی می بود. اگر یک انتهای کلاف را در دست می گرفتیم چنان که انگار طناب مخصوص طناب بازی است و از دوستان می خواستیم که انتهای دیگر را در دست بگیرد و بعد هر دونفر آنرا در دو جهت عکس یکدیگر می پیچانیم، دوکلاف دور خودشان می پیچیدند و ساختمان برتر مار پیچ دوگانه دی.ان.ا را شکل می دادند.

حال ممکن است بخواهیم گردنبند سومی، با استفاده از گردنبند منفی به عنوان قالب، و با استفاده از قانون تبدیل رنگ ها بسازیم، به نحوی که گردنبندی به دست بیاوریم که زنجیره آن با گردنبند اصلی یکسان باشد. گردنبند سوم می تواند به عنوان پیغامبر یا فرستاده ای برای ارسال اطلاعات به کلاف اصلی عمل کند. به طور خلاصه، اگر قسمتی از گردنبند اصلی شامل زنجیره قرمز، سبز، نارنجی و آبی می شد، در این صورت ناحیه متناظر در گردنبند مکمل عبارت بود از : سبز، قرمز، آبی و نارنجی. اگر بعداً گردنبند جدیدی با استفاده از گردنبند منفی به عنوان قالب، ترکیب می کردیم، کار با رنگهای قرمز، سبز، نارنجی و آبی به پایان می رسید. شایان توجه است که برای دست یابی به اطلاعات اندوخته در کلاف منفی، باید اتصال دگمه قابلمه ای را که دو گردنبند مکمل را پیوند می دهد باز کنیم.

اکنون در موقعیتی قرار داریم که قدر پیچیدگی فناوری ذخیره اطلاعات مبتنی بر دی.ان.ا را بدانیم. این پیچیدگی به دو جزء اصلی تقسیم می شود. اولین جزء آن مربوط است به تکثیر دوکلاف دی.ان.ا برای تولید یک نسخه یکسان از ماده ژنتیک و دومی مربوط به فرآیند نسخه برداری فیلدهای اطلاعات اندوخته در قالب اصلی، که ژن نام دارند. این شامل پیچیدگی مربوط به ترجمه اطلاعات مجرد ژنها به تصویری مادی و ملموس نیز می شود. هرچند، همه این اجزاء به نحو جدایی ناپذیری بهم

پیوسته هستند. آثار جان وان نومن^{۱۰}، که در سال ۱۹۸۴ تنوری عمومی دستگاه های خود تکثیر را ارائه داد و آنها را اتوماتا نامید، به فهم این قضیه کمک می کند.

به نظر وان نومن، دستگاه های خود تکثیر (خودمونتاز)، چه طبیعی باشند و چه مصنوعاً ساخته شده باشند، می توانند به دو زیر مجموعه منطقاً جدا تقسیم شوند که در اصطلاح جدید کامپیوتری به عنوان نرم افزار و سخت افزار شناخته می شوند. در حالی که نرم افزار اطلاعات برنامه را به رمز در می آورد، سخت افزار مسئول اجرای آن است. برای این که یک دستگاه یا آدم مکانیکی قابلیت خود تکثیری داشته باشد، باید هر دو جزء را داشته باشد. به زبان بیولوژی امروزی، نرم افزار مثل قانون ژنتیک دی.ان.ا است، در حالی که سخت افزار مثل شبکه پروتئین های بارکش است که ماموریت های محوله از طرف اصل ژنتیک به آدم مکانیکی را اجرا می کنند. شبکه های پروتئین ها به سوخت و سازی متصلند و دستگاهی اجرایی را می سازند، که تضمین می کند اعمال لازم برای بقاء موجود زنده با موفقیت انجام شده اند. لازم به تاکید است که عوامل نرم افزار و سخت افزار که پیش نیاز ساخت ماشین های خودتکثیر هستند، نسبت به آن فناوری که در آن تحقق می یابند بی تفاوت و خنثی هستند. از این رو نیازهای این دو عامل می تواند توسط هر فناوری متفاوتی برآورده شود، یعنی دی.ان.ا و پروتئین کاملاً تصادفی به سخت افزار و نرم افزار خاصی تبدیل شدند، که حیات معاصر با آن آشناست. و همان طور که یاد آور شدیم، لزوماً این طور نیست که تاریخ فناوری های دیگری را تجربه نکرده باشد. ساختار منطقی یک آدم آهنی بسیار اساسی تراز شکل خاصی است که آن منطق را به نمایش در می آورد.

ساختمان مارپیچ دوگانه دی.ان.ا نشان می دهد که دی.ان.ا می تواند دو کلاف خود را از هم باز کند و هر یک از کلاف ها مانند قالبی برای ساخت کلاف مکمل خود عمل کند، و به این ترتیب خودش را تکثیر کند. این عمل منجر به تولید نسخه جدیدی از دی.ان.ا می شود. شواهد تجربی به زودی ثابت کردند که این مسئله درست است، ولی همچنین تصدیق کردند که دی.ان.ا با وجود توانایی بی اندازه برای ذخیره اطلاعات، در کار تکثیر اطلاعات ناکارآمد است. نتیجتاً مجبور است که از کمک گروهی پروتئین آموزش دیده که سپر بلا هستند، برای تکمیل کار بهره بگیرد. رفتار و پیچیدگی ساختاری این پروتئین ظرفی را به تصویر می کشد که نشان می دهد مدارچی را در تاریخ طی کرده و در امر تطبیق ماهر شده است. هر پروتئین در واقع بیش از هزاران میلیون سال توسط فرایند تکامل داورینی برنامه ریزی شده است. تکثیر دی.ان.ا به عمل هماهنگ مجموعه بزرگی از آنزیم های پروتئین متخصص نیاز دارد، که هر کدام از آنها بخش کاملی از شبکه سوخت و ساز را تشکیل می دهند.

آنزیم ها به عنوان تسهیل کننده های بیوشیمیایی عمل می کنند که سرعت واکنش های شیمیایی را بین یک میلیون و یک سبتیلیون (10^{24}) درصد شتاب می بخشند. آنزیم ها با مشخص کردن واکنش های بی که مجاز به پیش روی هستند، به سازماندهی و تعریف ساختار شیمیایی موجودات زنده کمک می کنند. بیشتر مولکولهای لازم برای موجودات زنده توسط واکنشهایی تولید می شوند که با آنزیم تسریع شده اند. آنزیم ها ریز ماشین هایی هستند که بر روی مواد خام یا محیط هایی که به آنها متصلند، واکنش شیمیایی انجام می دهند و آنها را به محصول یا مجموعه ای از محصول های جدید تبدیل می کنند. آنزیم ها اعمال منحصر به فردی دارند که نقشی اساسی در تولید سازمان سیستم های زنده دارند. خزانه پروتئین هایی که دست اندر کار تکثیر دی.ان.ا هستند، شامل آنزیم های بازکننده مارپیچ و آبز مارپیچ دی.ان.ا، و نیز آنزیم های ذوب کننده پیوند بین کلافی بازهای متناظر هستند. همچنین شامل آنزیم های قالبی با کیفیتی هستند که نسخه مکمل هر کلاف را مطابق اطلاعات موجود در قالب، ترکیب می کنند. این آنزیم ها دارای ویژگی غلط گیری و ویرایش هستند که به آنها اجازه می دهد حین عمل ترکیب، دقت آن را بررسی کنند. برای نمونه، این آنزیم ها، بازهای ناجور را برداشته و با بازهای صحیح که با شرایط زوج شدگی واتسون-کریک منطبق باشند جایگزین می کنند. گروهی دیگر از آنزیم ها نیز درگیر بررسی و نگاهداری یکپارچگی اطلاعاتی زنجیره دی.ان.ا هستند، هم در زمان وقفه و هم در خلال عمل تکثیر و نسخه برداری دی.ان.ا.

تعمیر کاران دی.ان.ا مانند همتایان انسان خود، یعنی مامورین راه آهن که روز و شب کار می کنند تا آسیب های وارده به خط آهن را تعمیر کنند، تضمین می کنند که اطلاعات ژنها تقلیل نیافته است. همان طور که قبلاً گفته ایم ژنها در نتیجه قرار گرفتن در معرض فرآورده شیمیایی سوخت و ساز، مواد شیمیایی خارجی و تشعشع ماوراء بنفش، و رویدادهای تکثیر ناقص دچار استهلاک می شوند و اطلاعات صدمه می بینند. بدون آنزیم های ضروری جهت تعمیر و نقاط بازرسی و پروتئین های "برنامه ریز مرگ سلول"، ساختار اطلاعاتی دی.ان.ا به سرعت خراب می شود و به مهملات تبدیل می شود. ماتفرد آيگن^{۱۱} نقطه ای را که در آن، نرخ خطا بیشتر از آستانه لازم برای محافظت از اطلاعات است را آستانه خطا نامید. غیر ممکن است که دی.ان.ا را با اطلاعات مهمی که دارد، بدون کمک آنزیم های تعمیرکار و توانایی غلط گیری آنها، پایین تر از آستانه خطا نگاه داشت. دی.ان.ا، در غیاب سوخت و سازی تخصصی و پیچیده، نه تنها در تکثیر ناکارآمد است و نمی تواند اطلاعات رمزدار خود را تشخیص دهد، بلکه از نگهداری ساختار اطلاعاتی خود نیز ناتوان است. دی.ان.ا ای که آنزیمی برای ماموریت های ساخت و تعمیر خود ندارد، مانند کارخانه ای است که همه کارگران آن در اعتصابند.

این مسئله ما را به این پارادوکس برمی گرداند که چگونه دی.ان.ا، با وابستگی کنونی اش توانسته است خود را تکثیر کند و یکپارچگی اطلاعاتی اش را بدون پیش آنزیم های متخصص، حفظ کند. این واقعیت که دی.ان.ا بدون کمک آنزیم ها نمی تواند خود را تکثیر کند ویا آسیب های وارده به ساختار اطلاعاتی اش را مرمت کند، نشان می دهد که فناوری دی.ان.ا همیشه به فعالیت آنزیم ها وابسته بوده است. ولی اگر فناوری پروتئین، که آنزیمهای امروزی از آن ساخته شده اند، مطابق اطلاعات اندوخته در دی.ان.ا ساخته شود، دراین صورت منطق حکم می کند که این آنزیمها، که در فرآیند مداوم تکامل ظاهر و برنامه ریزی شده اند، همیشه باید بر دی.ان.ا تقدم داشته باشند. به این دلیل که، در غیاب این آنزیم ها هیچ نوع تکثیر دی.ان.ا و تعمیر و نسخه برداری و یا ترجمه اطلاعات رمز دار به درون زنجیره پروتئین ها درکار نخواهد بود. و تناقض دیگر این که، آنزیم های پروتئین برنامه ریزی شده ای که در خدمت اعمال ضروری فوق هستند، برای آموزش و هستی پویای خود، کاملاً به دی.ان.ا وابسته اند. به بیان دیگر، به نظر می رسد که بدون دی.ان.ا، آنزیم آموزش دیده نیز وجود نخواهد داشت.

این معما ما را به دومین عامل پیچیدگی دی.ان.ا راهنمایی می کند. این عامل، سازو کاری است که اطلاعات به رمز درآمده درون ژنها را کپی و سپس طی فرآیند نسخه برداری رمزگشایی می کند. اطلاعات رمزگشایی شده بعداً در فرآیندی به نام ترجمه، برای ساخت مولکولهای پروتئین به کار می روند. تشریح ساختار دی.ان.ا درک بهتری از مکانیسمی را برای ما فراهم می آورد، که اطلاعات رمز دار ذخیره شده در ژنها و زنجیره های تنظیم کننده فاقد رمز مربوطه، به کمک آن مکانیسم، ساختار اطلاعاتی متابولیسم را تعیین می کنند.

اگر بایگانی دی.ان.ا، سازو کاری برای رمز گشایی و اجرای اطلاعات به رمز درآمده در زنجیره بازهایش را نداشته باشد، شبیه کتابچه راهنمایی است که به زبان ناشناخته ای نوشته شده است. دستورالعمل های خام، هیچ فایده ای ندارند. دستگاهی که اجازه اجرای دستورالعمل های ژنتیک را می دهد، سخت افزاری است متعلق به سوخت و ساز و بدین طریق، پروتئین ها ژنها را توانمند می سازند. اما، فرآیند مکانیکی که اطلاعات ژنی را به سازو کار دستگاه متابولیک پیوند می زند، پیچیدگی زیادی دارد. این نکته، هم در مورد فرآیندهایی که اطلاعات درون ژنها را در دسترس قرار می دهند، آنها را کپی می کنند و به مقصد مورد نظر منتقل می کنند، صدق می کند و هم در مورد فرآیندی که اطلاعات نوشته شده در دی.ان.ا را به زبان آمینو اسیدی پروتئین ها ترجمه می کند.

در غالب ژنها، اطلاعات زنجیره آمینو اسید، در کلاف رمز کننده (اصلی) قرار گرفته است. وقتی ژن یک پروتئین خاص فعال می شود، آر.ان.ا ی پیغامبر (mRNA) یک کپی از آن را می دزد و اطلاعات آن را به ریبوزوم حمل می کند. ماریچ دوگانه دی.ان.ا ابتدا در ناحیه ژن کپی شونده باز می شود. سپس با کمک آنزیم پلیمراز قالبی مربوط به دی.ان.ا و منبع انرژی مناسب و مواد خام، ناحیه متناظر کلاف غیر رمز کننده (منفی) کپی می شود و یک ملکول آر.ان.ا پیغامبر تولید می کند. چون

آر.ان.ا پیغامبر با استفاده از قالب کلاف منفی ساخته شده است، اطلاعاتش عین زنجیره کلاف رمز کننده است. فرآیند رونویسی (نسخه برداری) که اطلاعات رمزارز دی.ان.ا را به آر.ان.ا پیغامبر کپی می کند، نیازمند مشارکت تعداد زیادی آنزیم است. دومین بخش این فرآیند، نیازمند استخراج اطلاعات نوشته شده در آر.ان.ا پیغامبر و ترجمه آنها به زبان آمینو اسیدی پروتئین هاست.

همانطور که قبلاً توضیح دادیم، این کار توسط دستگاه های ترجمه ای به نام ریبوزوم انجام می شود. ریبوزوم ها از نوعی آر.ان.ا ی متخصص به نام آر.ان.ا (rRNA) یا آر.ان.ا ی ریبوزوم ساخته می شوند. آر.ان.ا پیغامبر هنگام چسبیدن به ریبوزوم از ابتدا تا انتها به ترتیب خوانده می شود. این فرآیند شدیداً به رمزگشایی و ترجمه همزمان پیغام ژنتیک رمزارز پیوند خورده است. رمزگشایی، با استفاده از کد ژنتیک به دست می آید، که تصریح می کند هر "کلمه" سه تایی بازهای آر.ان.ا پیغامبر چگونه باید به کلمه متناظر آمینواسید یا علامات نقطه گذاری شروع، یا پایان، ترجمه شود. ساخت آمینواسیدها با کمک رده دیگری از مولکول های آر.ان.ا، به نام تی.آر.ان.^{۱۲} انجام می شود. این مولکولها مانند شریا (حمل) های مولکولی عمل می کنند که بار مربوط به یک نوع آمینواسید خاص را حمل می کنند و به مکان صحیح در ریبوزوم تحویل می دهند. سپس هر مولکول تی.آر.ان.ا، آمینواسیدش را آزاد می کند. آمینواسید آزاد شده، بلافاصله به سایر آمینواسیدها در رشته جدیداً ترکیب شده می پیوندد و ریسمانی از اسید آمینه می سازد. سپس پروتئین تازه ساخته شده، آزاد می شود و به مکان سلولی مناسب انتقال می یابد. در بسیاری موارد، زنجیر آمینواسید یک بُعدی درشرف تکوین بدون هیچ کمکی، روی ساختار دو و سه بُعدی خود تا می خورد. اما، در برخی موارد، پروتئین های مراقب و دیگر آنزیم های تا کننده متخصص لازم می آیند، تا به فرآیند تاخوردگی کمک کنند و از تجمع پروتئین ها و تاخوردگی اشتباه یا معیوب آنها ممانعت کنند.

ساختار منطقی و اطلاعاتی کد ژنتیک^{۱۳} آنقدر دقیق و پیچیده است که گرچه به طور غیرمستقیم از روی نتایج آن قابل مشاهده است، ولی آن را می توان با هریک از ساختمان های معماری دنیای ماکروسکوپی، مانند خطوط راه راه ببر، گردن زرافه، یا مارپیچ های میوه کاج مقایسه کرد. اما در عین حال چالش دیگری را برای این فرضیه، که دی.ان.ا اولین ماده ژنتیک بوده است، مطرح می کند. چون، بدون داشتن قاعده ای برای رمزگشایی، رمزهای ژنتیک به اندازه گمنام ترین و باستانی ترین زبان انسانی، غامض و غریبه خواهند بود.

به این ترتیب، کاربرد موفق دی.ان.ا به عنوان یک فناوری ژنتیک برای ساخت موجودات زنده، مستلزم این است که عناصر زیر سر جایشان قرار داشته باشند. (۱) مجموعه ای از آنزیم های قادر به تکثیر و غلط گیری زنجیره دی ان ا ؛ (۲) مجموعه ای از آنزیم های رونویسی زنجیره دی.ان.ا ؛ (۳) یک جواب دهنده یا طرف صحبت برای آر.ان.ا پیغامبر که اطلاعات ژنها را به مکان ترجمه حمل کند ؛ (۴) یک کد ژنتیک که زبان دیجیتال آر.ان.ا پیغامبر را به زبان دیجیتال آمینو اسیدی مربوط به پروتئین ها ترجمه کند ؛ (۵) دستگاه هایی برای اجرای متن ترجمه شده ؛ (۶) ذخیره کافی از مواد خام و انرژی قابل دسترسی ؛ (۷) مجموعه ای از نقاط بازرسی دی.ان.ا و آنزیم های تعمیرکننده که تضمین می کنند ساختار اطلاعاتی ژن ها در طول زمان حفظ شود ؛ (۸) آنزیم هایی که قادر به باز کردن و دوباره بستن پیچ مارپیچ دوگانه و آبرمارپیچ باشند ؛ و (۹) در مورد موجودات چند سلولی، برنامه ریز مرگ سلولی لازم است، تا خود نابودکننده ها را برای دی.ان.ا هایی که از شدت خرابی قابل تعمیر نیستند، راه اندازی کند.

به نظر می رسد که وابستگی قابل توجه دی.ان.ا و پروتئین ها به هم، درفرآیند تکثیر، رونویسی، ترجمه، تعمیر و گاهی تاخوردگی، مانعی برای این فرض است که، اصل ژنتیک اولین موجودات زنده در دی.ان.ا بافته شده است. اگر دی.ان.ا حیطه ای برای فعالیت آنزیم داشت و می توانست آنها را درگیر این کار کند، در این صورت ممکن بود که موضوع به نحوی

^{۱۲} transfer RNA^{۱۳} ترتیب ژنها در یک کروموزوم -ترتیب نوکلئوتیدها در دی.ان.ا

عوض شود و می شد فرض کرد که موجودات اجدادی ما منحصرأ از دی.ان.ا ساخته شده باشند. همچنین، اگر پروتئین ها می توانستند طبق اطلاعات اندوخته در پروتئین های دیگر ترکیب شوند، قابل تصور بود که پیش ماده ها منحصرأ از پروتئین ساخته شده باشند. ولی با آگاهی از این که، دی.ان.ا ی دوکلافی، قابلیت کاتالستی (تسریع بخشی) بسیار ابتدایی دارد و شواهد دال بر وجود پروتئین های خود تکثیر نیز بسیار ناقص است، آیا ممکن است فناوری شیمیایی دیگری وجود داشته باشد، که نیازهای منطقی نرم افزاری و سخت افزاری لازم برای تولید دستگاه های خودکار خودتکثیر را فراهم کرده باشد ؟

جواب این است : بله وجود دارد و درست در آستانه در است. دی.ان.ا، با این که نرم افزار متخصصی است ولی ظاهراً نمی تواند مانند سخت افزار عمل کند؛ و برای نمایش اطلاعات خود به حضور متابولیسم خارجی وابسته است. از طرف دیگر، آر.ان.ا، هم می تواند فعالیت آنزیمی تولید کند و هم می تواند مانند دی.ان.ا اطلاعات ژنتیک را به روش ترکیب شونده رمزدار کند. حداقل در تئوری، به نظر می رسد که، آر.ان.ا باید بدون نیاز به پروتئین ها، قادر به نمایش اطلاعات خود باشد و بنابراین همزمان اعمال سخت افزاری و نرم افزاری را انجام دهد. چون به نظر می رسد که، حداقل بعضی از ملکولهای آر.ان.ا این قابلیت ویژه و قابل توجه "همه -دریکی" را داشته باشند، آیا امکان دارد که ماده ژنتیک و متابولیک اولین دستگاه های بیولوژیک منحصرأ از آر.ان.ا ساخته شده باشند؟ و آیا، شالوده منطقی موجودات زنده که سابقاً در قالب آر.ان.ا ریخته می شد، ممکن است سرانجام در نتیجه فرآیند "چیرگی ژنتیک" دوباره در قالب دی.ان.ا ریخته شده باشند؟

متأسفانه، برخلاف استخوان، پوسته و دیواره بعضی موجودات تک سلولی، ژنها و ماده متابولیک، سنگواره نمی شوند. گر چه می توان دی.ان.ا را از بقایای موجودات صدها هزار سال پیش استخراج کرد ولی انتظار این که این ملکولها، پس از سپری شدن میلیونها سال از حیات بر روی زمین، دست نخورده باقی مانده باشند، غیر معقول است. تنها راه منطقی در مقابل ما این است که بکوشیم با جستجوی سنگواره (فسیل) های هوشمند، ساختمان شیمیایی نزدیک ترین نیاکان خود را، مشابه آنچه که شرح دادیم، استنتاج کنیم. به این ترتیب جستجوی فسیل های هوشمند را با بررسی شواهدی ادامه می دهیم که پشتیبان دنیای فرضی آر.ان.ا هستند، که طبق فرض، این دنیا، توسط موجوداتی اشغال شد که بر خلاف شکل حیات امروزی مبتنی بر دی.ان.ا، منحصرأ با آر.ان.ا ساخته شده اند.

توضیحات فصل ششم

۱- اتصال عرضی Cross link

یک پیوند جانبی که دو زنجیر مجاور از اتم هارا در یک مولکول مرکب به هم پیوند می زند.

جهان بدون دی.ان.ا

اکنون وارد جهان جدیدی می شویم. جهانی که در آن، دی.ان.ا هیچ جایی ندارد. جهانی که ساکنین آن آنقدر غریبه و عجیب هستند که برای دیدن آنها باید از عینک های مخصوص استفاده کنیم. ولی این جهان به ظاهر مضحک و غیرطبیعی، جهان جدیدی نیست. بلکه بسیار قدیمی است. اشکالی از حیات که ما را احاطه کرده اند، نه از دی.ان.ا و پروتئین، بلکه از آر.ان.ا ساخته شده اند. این جهان، *جهان آر.ان.ا* است، جهانی فرضی، مملو از فسیل های مولکولی آر.ان.ا و موجودات بی استخوان، که وجودشان، البته اگر واقعا زمانی موجود بوده باشند، هیچ رد پای قابل تشخیصی به جا نگذاشته است.

اکنون، در عمق *جهان آر.ان.ا*، با عینک های مخصوص بر چشم، قادریم سفر اکتشافی خود را شروع کنیم. در مقابل ما دروازه ای چدنی با تاق ضربی قرار دارد. با بررسی حروف آهنی تاق دروازه، فقط می توانیم این کلمات را تشخیص بدهیم " به باغ وحش آر.ان.ا خوش آمدید ". با احتیاط وارد می شویم و دوربین هایمان را محکم می چسبیم و آماده عکسبرداری می شویم، انگار منتظر دیدن جانور عجیبی با بالهای گسترده هستیم که قرار است در مسیر خود با آن مصادف شویم. ولی متأسفانه یا شاید خوشبختانه، چیزی سر نمی رسد.

باید بگویم که *باغ وحش آر.ان.ا* مکان غریبی است، و در آن احساس راحتی نمی کنم. فکر می کنم که این احساس از عدم تعلق سرچشمه می گیرد، یا این که برعکس، از این که شاید روزی به آن تعلق داشته ام. ولی مجبورم سفرم را ادامه بدهم. بله درست است، من به اینجا تعلق ندارم. از این گذشته، به نظر می رسد که نمی توانم به اینجا، به این *باغ وحش آر.ان.ا*، فلک زده تعلق داشته باشم. زیرا من، علاوه بر آر.ان.ا، از دی.ان.ا و پروتئین هم ساخته شده ام. اگر دی.ان.ا و پروتئین را از من بگیرد، حداکثر به سایه ای کمرنگ از خود پیشینم تبدیل می شوم. در حقیقت، قوانین باغ وحش آشکارا اظهار می کنند که من نمی توانم در اینجا به حیات خود ادامه دهم. چون *باغ وحش آر.ان.ا* در واقع نام دیگری برای 'فضای همه موجودات ممکن آر.ان.ا' است. در جزوه ای که از کنار دروازه برمی دارم، نوشته شده که موجودات آر.ان.ا ی باغ وحش "ریبورگ" نامیده می شوند. این اسم، خلاصه اسم کامل آن یعنی ارگانایسم های اسید ریبونوکلیک^۱ است.

در این لحظه فکر ناراحت کننده ای به مغزم خطور می کند، به پاهایم ضربه می زنم و زوزه وحشتناکی می کشم. آیا فریب دی.ان.ا ی خود را خورده ام و به ریبورگ تبدیل شده ام؟ غول آزاد شده ای که رگ هایش با شیمی آر.ان.ا می تپد؟ وقتی که نگهبان باغ وحش سر می رسد و به من اطمینان می دهد که تغییر نکرده ام، آرام می شوم. او، در قوانین باغ وحش استثنائی قائل شده و اجازه داده است که موجودات مبتنی بر دی.ان.ا، که نامشان را دیوریبورگ گذاشته (ارگانایسم های اسید دزوکسی ریبونوکلیک^۲)، با ویزای محدود بیست و چهار ساعته وارد باغ وحش شوند. البته به این شرط که یک دایره سبز به نیم تنه هایمان سنجاق کنیم، تا به آسانی شناخته و از ریبورگ ها تشخیص داده شویم. با این درخواست موافقت می کنیم و از دروازه عبور می کنیم. ولی دوباره موضوع دیگری فکر مرا مشغول می کند. آیا ممکن است کپی دقیقی از من، اما از جنس آر.ان.ا وجود داشته باشد که جایی درون باغ وحش آر.ان.ا کمین کرده باشد؟ و اگر هست، آیا شبیه من است؟ ممکن است شبیه من فکر

^۱ Ribonucleic acid organisms

^۲ Deoxyribonucleic Acid organisms (deoriborg)

کند، یا حتی شبیه من باشد؟ آیا باغ وحش، عاری از موجوداتی به پیچیدگی من است؟ این فکر بیشتر مایه دلسردی است، برای این که اگر این طور باشد حتی ساختمان منطقی من نیز نمی تواند در اینجا وجود داشته باشد.

نگهبان، قبل از این که ناپدید شود، به ما اطلاع می دهد که باغ وحش به دو بخش اصلی تقسیم شده است. یکی باغ وحش آر.ان.ا. های محتمل تاریخی است و دیگری باغ وحش آر.ان.ا. های بالقوه. باغ وحش دوم خیلی از اولی بزرگتر است چون شامل مجموعه کامل همه ریبورگ های ممکن است. ولی آنچه که مورد علاقه ماست باغ وحش آر.ان.ا. های محتمل تاریخی است، چون ناحیه ای است شامل موجودات آر.ان.ا. ای که احتمالاً زمانی که دی.ان.ا. و پروتئین ها به معنای امروزی با حیات همراه نبودند، در زمین سکنی گزیده بودند. نقشه نگهبان نشان می دهد که باغ وحش آر.ان.ا. های بالقوه نیز به دو قسمت تقسیم شده است. یکی از این قسمت ها شامل نمونه های اولیه ریبورگ های فرضی است که فاقد حجره بندی و فاقد شکل هستند. دیگری شامل ریبورگ های فرضی است که ساختاری مجزا و حجره بندی شده دارند.

آیا این اندیشه ها کاملاً خیالی هستند؟ آیا موجودات می توانند منحصرأ از آر.ان.ا. ساخته شوند؟ آیا دنیای آر.ان.ا. هیچوقت واقعا وجود داشته است و آیا هیچکدام از موجودات بالقوه آر.ان.ا. که در باغ وحش آر.ان.ا. قرار دارند هرگز هستی یافته اند؟ و آیا اصلاً جهان آر.ان.ا. باغ وحش دارد؟ قبلاً با نظریه وان نومن آشنا شده ایم که اظهار می دارد، پیش نیازهای منطقی حیات هم شامل جزء اطلاعاتی و هم جزء متابولیک است. در جهان دی.ان.ا. ی آشنای ما، این نقش ها به ترتیب توسط دی.ان.ا. و پروتئین ها اجرا می شود. دو فناوری جدا برای دو عمل مجزا. اما، ممکن است که ماده ساختمانی آر.ان.ا. به تنهایی هر دوی آن اعمال را یکجا با هم انجام داده باشد؟ اگر این چنین بوده باشد، آیا احتمال دارد که تصادفاً راه حل معمای مرغ و تخم مرغی را بیابیم، که این سوال را مطرح می کند که چگونه ممکن است اجزاء اطلاعاتی و متابولیک لازم برای حیات معاصر، مستقلاً و در عین حال همزمان آغاز شده باشند. روشن است که فرضیه جهان آر.ان.ا. می تواند تا حدی با این نظر موافق باشد یا به آن حمله کند.

ممکن است هرگز متوجه نشویم که اولین اشکال حیات حقیقتاً به چه چیزی شباهت داشته اند. بخش بزرگتر تاریخ مولکولی ما از سوابق زمین شناسی حذف شده است و خزانه موجوداتی که خود را به عنوان نیاکان محتمل ما معرفی می کنند بسیار وسیع است. ولی اگر بتوانیم نشان بدهیم که اصولاً ساخت موجودات زنده از آر.ان.ا. امکان پذیر است، در این صورت تا زمانی که مورد متقاعد کننده تری یافت شود، باید نظریه جهان آر.ان.ا.، موضوع جدی تاریخی تلقی شود. حداقل، این موجودات می توانند تقریبی از اجداد فرضی فاقد دی.ان.ا. ی ما را به دست دهند. این مسئله، ما را وادار به پذیرش این تصور ناخوشایند می کند که در حقیقت ممکن است زمانی، مثلاً چندین میلیارد سال پیش، زمین در اشغال ریبورگ ها بوده باشد. در واقع ممکن است که این موجودات مهجور، هزاران میلیون سال مشعل حیات را حمل کرده باشند. از این گذشته، معلوم نیست که نیاکان مبتنی بر آر.ان.ا. ی ما هرگز به نفع موجودی مبتنی بر دی.ان.ا.، آر.ان.ا. و پروتئین، از زندگی منحصرأ مبتنی بر آر.ان.ا. ی خود، تبری جسته باشند. اگر رویدادهای دیگری رخ می داد، ممکن بود تاریخ حیات منحصرأ در آر.ان.ا. نوشته و اجرا شود. ممکن بود باغ وحش دی.ان.ا. ناحیه ای ناملموس و نامربوط از دریای اطلاعات باقی بماند و هیچ اهمیت تاریخی نداشته باشد. در آن صورت ببر، پلیکان، نرگس زرد، و انسان، مانند دفترچه مشخصات کیت ژن موجودات مبتنی بر دی.ان.ا. ای بودند که هرگز آزمایش نشده بود.

پذیرش این احتمال تاریخی، که موجودات آر.ان.ا. ای در زمین اولیه می زیستند که اصلاً شبیه ما و دیگر موجودات معاصر نبودند، نتایج ژرفی به همراه دارد. چون، وقتی بپذیریم که حیات می تواند از تار و پود آر.ان.ا. بافته شود، خواهیم پذیرفت که فرایندهای پشتیبان حیات نیز می توانند از هریک از جلوه های خاص ماده منتزع شوند. به این ترتیب، به نظر می رسد که به تعریف دوباره اصطلاحاتمان نیاز داریم. وقتی که کلمه ژن را به کار می بریم، لازم است که نوع ژنی را که به آن اشاره داریم مشخص کنیم. یعنی مشخص کنیم که آیا ژن آر.ان.ا. است یا این که از دی.ان.ا. ساخته شده است. باید یاد بگیریم که

نگاه دی.ان.ا محور را ارتقاء دهیم و ببینیم که ژن به چه درد می خورد، نه این که ببینیم از چه چیزی ساخته شده است. هنگامی که در باره فضای ژن صحبت می کنیم، لازم است مشخص کنیم نوع فضای ژن مورد نظر ما چیست. آیا منظورمان، فضای ژن آر.ان.ا است یا فضای ژن دی.ان.ا یا نوعی دیگر از فضای ژن. فناوری های مختلف ذخیره اطلاعات، فضای ژن خود را دارند. در برخی موارد این فضاها ممکن است با طناب نجات هایی که نشان دهنده مسیرهای احتمالی فرایندهای "چیرگی ژنتیک" است به یکدیگر متصل باشند. در سایر موارد، ممکن است هیچ ارتباطی بین فضاهای مختلف ژن وجود نداشته باشد. تعریف هر فضای ژن بالقوه، هم باید شامل بهم پیوستگی داخلی آنها و هم رابطه آنها با نوعی فضای کد ژنتیک باشد. می توان تصور کرد که جزئیات پیوندهای بالقوه داخل فضای ژن و بین انواع فضاهای ممکن ژن، در همه شرایط قابل تصور، توسط نقشه های نامحدودی تشریح می شود.

آگاهی از این موضوع که موجودات زنده می توانند از مواد ساختمانی مختلف ساخته شوند، امتیازها و محدودیت های منحصر به فرد فناوری های مختلف را، پر رنگ می کند. اگر یک طراح، موقعیت این را داشت که موجودات زنده را با استفاده از اصول اولیه به طور مصنوعی بسازد، می توانست آمیزه دقیقی از فناوری های متفاوت را به کار گیرد. ویژگی های مورد انتظار ما از یک ماده ساختمانی بستگی به استفاده ای دارد که از آن می کنیم. برای مثال یک ماهیتابه آهنی نمی تواند به اندازه یک ماهیتابه مسی کارآمد باشد و یک پل معلق از جنس بتن در اولین تندباد فرو خواهد ریخت. تصوری که مغز، فقط از آر.ان.ا ساخته شده باشد سخت است، ولی نمی توان ادعا کرد که ابزار یا دستگاه محاسباتی معادل یا حتی قوی تر از مغز را نمی توان با این ماده ساخت. باید یاد بگیریم که اصول منطقی حیات را از هر شکل خاصی که آن اصول را نمایش می دهد، انتزاع کنیم. پس نتیجه می گیریم که، گرچه فقدان فناوری پروتئین و دی.ان.ا مانع حضور من در باغ وحش آر.ان.ا است، ولی شاید بتوانم وجود منطقی ام را در یکی از قفس های بیکران آن جای دهم. از فکر این که رونوشت آر.ان.ا ی من ممکن است به چه ریخت مضحکی درآید مشمنز می شوم. همچنین، این فکر که منطق مقدس ذهن من، می تواند سالم و دست نخورده، ولی با جامه مبدل در جلوه ای ترسناک در گوشه دور و ناخوشایندی از باغ وحش آر.ان.ا باقی بماند، هراسناک است.

لازم است که همه تعاریف تنگ نظرانه بیولوژی را، که به حیات اجازه نمی دهد در تار و پود فناوریهایی به جز دی.ان.ا و پروتئین بافته شود، رها کنیم. اما آر.ان.ا دقیقاً چیست و چگونه به دی.ان.ا مربوط است؟ از این گذشته چه تفاوتی ما بین دی.ان.ا و آر.ان.ا وجود دارد که یکی از این فناوریها را محدود می کند که منحصرمانند حامل اطلاعات عمل کند، در حالی که به دیگری اجازه می دهد ذخیره اطلاعات و اعمال متابولیک را باهم در آمیزد؟ ممکن است برای دانستن این مسئله کنجکاو شویم که، آیا آر.ان.ا در ذخیره اطلاعات به همان اندازه دی.ان.ا مهارت دارد، یا مانند پروتئین ها در تولید ساختارهای بیومولکولی و دستگاه ها و اجرای ریزه کاری های سوخت و ساز چیره دست است؟ این ملاحظات منجر به این سوال می شود که چه شد که موجودات زنده از ترکیب دی.ان.ا، آر.ان.ا و پروتئین ها ساخته شدند. برای جواب دادن به برخی از این سوالات باید به ساختار دی.ان.ا بازگردیم.

یک گردنبند می تواند به دو جزء اصلی تقسیم شود. جزء ثابت، سیمی است که از داخل دانه ها رد می شود و دانه ها یز جزء متغیر را تشکیل می دهند. جزء متغیر از طریق ترکیبات متفاوت دانه ها، اطلاعات را به رمز در می آورد، و به این وسیله مجموعه ای از دنباله ها را به وجود می آورد. هرچه گردنبند درازتر باشد و هرچه دانه های بیشتری در آن نخ شده باشند، محتوای اطلاعاتی آن بیشتر است. سیم، منحصراً نقشی ساختاری ایفا میکند و مانند داربستی عمل می کند که اطلاعات دنباله ها روی آن ردیف شده است. ویژگیهای فیزیکی گردنبند، تحت تاثیر این ستون فقرات قرار می گیرند. گردنبندی که به نخ کشیده شده باشد، اگر به زور کشیده شود یا این که در آب گذاشته شود ممکن است که پاره شود؛ البته اگر جنس سیم از طلا باشد، بادوام تر می شود. به همین نحو اگر مهره ها به سیم چدنی کشیده شده باشد، برای قرار دادن گردنبند در وضعیت عادی، مشکل زیادی خواهیم داشت. از این رو، انجام تغییرات در ساختمان فاقد اطلاعات گردنبند، می تواند ویژگیهای فیزیکی یک بُعدی آن را تغییر دهد، بدون این که بر محتوای اطلاعاتی آن تاثیر بگذارد. اما، می تواند موجب تغییرات چند بُعدی در آن بشود. برای

نمونه، تصور کنید که لاک پشتی بودید که سعی می کرد اطلاعات گردنبند را که به سیم چدنی کشیده شده است، رمزگشایی کند. به خاطر صلابت و انعطاف ناپذیری سیم چدنی، ساعتها طول می کشید که از یک سر گردنبند به سر دیگر آن برسید. همچنین ممکن بود که گردنبند، دور خود بپیچد و بعضی از وجوه اطلاعاتش در دسترس نباشد.

دی.ان.ا و آر.ان.ا هم، مانند گردنبند مهره دار رنگی، می توانند به اجزاء ثابت و متغیر تقسیم شوند. بازهای متغیر دی.ان.ا و آر.ان.ا برای نمایش خود به ساختار اسکلتی ثابت نیاز دارند. بازهایی که اطلاعات ژن ها را به رمز در می آورند، تنها اجزاء ساختمانی دی.ان.ا و آر.ان.ا نیستند. در واقع هر باز به شکل شیمیایی، به یک ملکول شکر چسبیده است و هر ترکیب شکر-باز، توسط پل های شیمیایی به نام پیوندهای فوسفو دی استر^۳، به ترکیبات مجاور خود پیوند می خورد. واحدی که از چسبیدن ترکیب قند-فسفات فاقد اطلاعات به باز رمزکننده اطلاعات به وجود می آید، نوکلئوتید نام دارد. رشته قندهای دزوکسی ریبوز و یا ریبوز که با فوسفو دی استر به هم پیوسته اند، به ترتیب، ستون فقرات ساختمانی دی.ان.ا و آر.ان.ا را، تشکیل می دهند. این رشته، در دی.ان.ا از قندی به نام دزوکسی ریبوز ساخته می شود، درحالی که در آر.ان.ا از ریبوز ساخته می شود. قندهای ریبوز، ماده ای شیمیایی به نام هیدروکسیل (که به نام $OH-2'$ شناخته می شوند) دارند که در قندهای دزوکسی ریبوز حضور ندارد. نوکلئوتیدهای ساخته شده از قند دزوکسی ریبوز، به نام دزوکسی ریبوز نوکلئوتید شناخته می شوند در حالی که آنهایی که شامل قند ریبوز هستند ریبونوکلئوتید نامیده می شوند.

اختلافات بین استخوان بندی قند دی.ان.ا و آر.ان.ا مسئول بسیاری از مشخصات منحصر به فرد این دو نوکلئیک اسید مشابه است، که فقط در این یک مورد اختلاف دارند. ولی دی.ان.ا و آر.ان.ا از نظر ساختمانی از دو نظر دیگر هم فرق می کنند. اول این که، آر.ان.ا از باز U (اوراسیل) به جای T (تی مین)، که در دی.ان.ا یافت می شود، استفاده می کند. ساختمان شیمیایی U تقریباً شبیه T است، به جز این که فاقد گروه متیل است که در T یافت می شود. U هم مثل T قادر است که پیوند جفت باز واتسون-کریک را با باز A تشکیل بدهد. دوم این که برعکس دی.ان.ا، در آر.ان.ا مارپیچ های دوکلافی کوتاهی، شامل ده جفت باز و یا کمتر، بین نواحی تک کلافی که تشکیل مارپیچ نمی دهند، پراکنده شده اند. عمل به عنوان عامل دوگانه مولکولی که قادر است هم اطلاعات را به رمز درآورد و هم در سوخت و ساز مشارکت کند، در قلب توانایی آر.ان.ا قرار دارد.

گرچه ساختمان مارپیچ دوگانه دی.ان.ا برای ذخیره اطلاعات با کیفیت بالا مناسب است، ولی این ساختمان مولکولها را وادار می کند که فقط سه نوع ساختار مشابه را بپذیرند. این ساختمانها عبارتند از A-DNA، B-DNA، Z-DNA، که از بین همه آنها تا کنون، ساختمان B معمول ترین است. آر.ان.ا بسیار منعطف تر است و هندسه های پیچیده زیادی را می پذیرد که از مجموعه محدودی از اجزاء موضعی ساختمانی ترکیب می شوند. این اجزاء شامل پیچ و حلقه های سنجاق سری^۴، شکم، برهم کنش های سه کلافه و گره نما می شوند. جنیفر دودنا^۵ و جمی کیت^۶، نشان داده اند که برخی از مولکولهای آر.ان.ا چین های کروی تشکیل می دهند که یادآور چین های پروتئین است. بنابراین گر چه آر.ان.ا محدود به چهار جزء ساختمانی نوکلئوتید است، ولی به نظر می رسد که تا اندازه ای می تواند با مخزن ساختارهای سه بعدی گوناگون و پیچیده تولید شده توسط زنجیره پروتئین ها، رقابت کند.

این نظریه که اولین موجودات از آر.ان.ا ساخته شده اند، مستقلاً توسط کارل وونز^۷ در ۱۹۶۷ و ولسلی اورگل و فرانسیس کریک در ۱۹۶۸ ارائه شد. عبارت جهان آر.ان.ا که به این دوران فرضی تاریخی اشاره می کند در ۱۹۸۶ توسط

^۳ Phosphodiester (*)

^۴ Hairpin loop . (*)

^۵ Jennifer Doudna

^۶ Jamie Cate

^۷ Carl Woese

والتر گیلبرت^۸ ابداع شد. تصور می شود که اولین موجودات جهان آر.ان.ا، از سوپ اولیه الفبایی و بی ساختار نوکلئوتیدهای T، C، A و U خود به خود ساخته شده باشند. به نظر می رسد که این موجودات آر.ان.ا، سرانجام سازوکاری برای جدا کردن خود از دنیای شیمیایی اطرافشان به کار گرفته باشند؛ مثلاً با محصور کردن خود داخل ذره های چربی کوچکی که همزمان تشکیل می شدند. به دست آوردن فضای واکنش حجره بندی شده، اولین گام به سوی تشکیل سلول نوین بود. موجودات حجره بندی شده آر.ان.ا ممکن است قادر به تولید و تثبیت مجموعه ای از عملکردهای متابولیک و نیز قادر به تکامل بوده باشند، چون، با این که به دلیل خطاهای ساخت و آسیب های وارده، در معرض خرابی بودند ولی در شرایط مناسب و با محدودیتی که از نظر طول داشتند، مخزن اطلاعاتشان ثابت می ماند.

به نظر می رسد که پیچیدگی مربوط به تسریع کنندگی^۹ موجودات فرضی آر.ان.ا، در طول زمان، هم از طریق تغییرات وارد شده به زنجیره آر.ان.ا و هم با تلفیق گونه های شیمیایی که به تسریع کنندگی آنها کمک می کردند، افزایش یافته باشد. به نظر می رسد که موجودات آر.ان.ا سرانجام توانایی به رمز در آوردن و ترکیب پروتئین ها را به دست آورده باشند. هرچند هیچ سازوکار روشنی برای این مسئله پیشنهاد نشده است. به دلایلی که بعداً شرح خواهیم داد، پروتئین ها از همتایان آر.ان.ا ی خود کاتالیزورهای بهتری هستند و ممکن است به مرور زمان، بیشتر وظایف کاتالیزور آر.ان.ا را به عهده گرفته باشند. به نظر می رسد که در صحنه آخر نمایش، زمانی که حیات از تیرگی های جهان آر.ان.ا به نوزایی جهان دی.ان.ا گذر می کرد، دی.ان.ا، عمل بایگانی اطلاعات را که توسط آر.ان.ا انجام می گرفت، متوقف کرده باشد.

فرآیندهایی که زمینه را برای گذارهای مفروضی فراهم آوردند، که حیات را قادر به باز آفرینی تدریجی خود ساخت، غیرقابل درکند. مثلاً، دنیای پیش آر.ان.ا، دقیقاً چگونه دنیای آر.ان.ا را به وجود آورد. از این گذشته، چگونه موجودات زنده ای که منحصر بر دستگاه سوخت و ساز فاقد رمز آر.ان.ا ی تکیه کردند، به این نتیجه رسیدند که روز آمد شوند و این دم و دستگاه را با فناوری به رمز درآمده دیجیتال پروتئین جایگزین کنند؟ آیا حتی معقول است که زنجیره آر.ان.ا را که فاقد سازو کاری برای رمزی کردن نمادین است، ژن بنامیم؟ موجودات آر.ان.ا قبل از این که اعمال سوخت و ساز آنها توسط پروتئین ها غصب شود، تا چه درجه ای می توانستند سوخت و ساز پیچیده به دست بیاورند؟ چگونه کد ژنتیک می توانست تکامل یابد و چگونه بایگانی اطلاعات حیات از مخزن آر.ان.ا به مخزن دی.ان.ا انتقال یافت؟ نمی توانیم این سوالات را کنار بگذاریم و نادیده بگیریم، انگار که اصلاً وجود ندارند. گرچه مدل های تفصیلی بخش بزرگی از این فرآیندها غایب است، ولی می توانیم فرض کنیم که در زمان مناسبی خواهیم توانست این مشکلات را به طور تجربی تحلیل کنیم. چون شواهد مستقیمی در دست نداریم، بر مقبولیت عام فرضیه جهان آر.ان.ا تمرکز می کنیم. زیرا اگر فرضیه ای نتواند در برابر استنتاج مقاومت کند در این صورت بیان جزئیات، خارج از موضوع خواهد بود.

گرچه فرضیه جهان آر.ان.ا پیش بینی میکند که احتمالاً آر.ان.ا در گذشته، مانند پروتئین های امروزی، عملکرد کاتالیزور داشته، ولی فرض می شود که این عملکردها چندین صد میلیون سال پیش گم شده باشند. آر.ان.ا ظاهراً مانند خانواده ای ایلپاتی، که مدتها پیش به مناطق شهری انتقال یافته، هنری را که به آن تکیه داشت فراموش کرده است. آر.ان.ا در حلول جدید خود نسخه ای رقیق شده از گذشته ای بود که، در قلمرو پادشاهی مولکولها واقعا شیری بود. و چقدر حیرت انگیز بود که اولین نشانه فسیل مولکولی این شکوه سوخت و ساز آغازین آر.ان.ا، نه زیر زمین و یا روی سطح صخره، بلکه در یک لوله آزمایش کشف شد. در ۱۹۸۲ آزمایشگاه توماس کچ^{۱۰} مولکول آر.ان.ا ای را که قادر به تسریع شیمیایی بود کشف کرد. به سختی می توان بیان کرد که این کشف در آن زمان چقدر شگفت آور بود. تا آن زمان، کلمات پروتئین، آنزیم و کاتالیزور (تسریع کننده) های شیمیایی مترادف هم بودند. اگر چه این فقط نمونه ای تک افتاده از فعالیت کاتالیزور به کمک آر.ان.ا می باشد، و فقط

^۸ Walter Gilbert
^۹ Catalytic
^{۱۰} Thomas Cech

به پردازش آر.ان.ا محدود است، با این همه چالشی را بر این نظریه مطرح می کند که پروتئین ها عامل انحصاری تسریع کنندگی هستند. عبارت ریبوزیم^{۱۱} برای مولکول های آر.ان.ا ی کاتالیزور در نظر گرفته شد، تا تاکید کند که دامنه کاتالیزورها دیگر منحصر به پروتئین ها نیست.

از کشف ریبوزیم توسط "کچ" تا کنون، مولکول های آر.ان.ا ی کاتالیزور طبیعی دیگری، کشف شده اند. هرچند، مخزن شناخته شده ریبوزیم های طبیعی، فقط مجموعه محدودی از واکنش های شیمیایی را تسریع می کنند. به استثناء بعضی موارد، مثلاً فعالیت ریبوزیم در ریبوزوم ها، که تشکیل پیوند بین آمینو اسید ها را تسریع می کند و احتمال وجود مخزن وسیع تری از کاتالیزورها را مطرح می کند، به نظر می رسد همه ریبوزیم های طبیعی در عملیات آر.ان.ا دست داشته باشند. دو توضیح برای کارایی محدود تسریع کنندگی ریبوزیم معاصر وجود دارد. یا این که واکنش هایی شیمیایی که ریبوزیم ها تسریع می کنند محدودیت ذاتی دارند، یا این که ریبوزیم های طبیعی امروزی، فقط تصور اجمالی فریبده ای از مهارت های قدیمی تسریع کننده آر.ان.ا را ارائه می دهند، که اکنون این مهارت به طور قابل توجهی تضعیف شده است. اگر اولین مورد درست باشد، در این صورت فرضیه جهان آر.ان.ا غیر قابل قبول و غیر قابل دفاع خواهد بود، چون حتی برای ساخت ساده ترین دستگاه های بیولوژیک، دایره وسیعی از فعالیت های کاتالیزور مورد نیاز است. اما، اگر دومین مورد صحیح باشد، در این صورت فعالیت های کاتالیزور فسیل شده که در شیمی مولکولهای نوین آر.ان.ا نوشته شده، علیرغم تهی شدن از علقه های باستانی خویش، ممکن است برای بازسازی بعضی از ترکیبات اسرارآمیز ساکنین جهان آر.ان.ا ی متکی بر ریبوز، مورد استفاده قرار بگیرند.

چگونه می توان به این مسئله نائل آمد؟ آیا می توانیم گوشه کوچکی از جهان آر.ان.ا را به طور مصنوعی بازسازی کنیم و یا پنجره مصنوعی محکمی بسازیم که بتوان از درون آن به گستره های منجمد زمان در حال تکامل و تاریخ کهن چشم دوخت؟ یا این که، آیا ممکن است که شبکه های آر.ان.ا ی کاتالیزور فرضی که احتمالاً نیاکان مبتنی بر ریبوز ما را تعریف کرده و به حرکت درآورده اند، حین کاوش جهان آر.ان.ا به طور جبران ناپذیری گم شده باشند، و هرگز نتوانند توسط مورخین تاریخ بیومولکولی زمین بازیابی شوند؟

یکی از موضوعات تکراری سفرما، کاوش فضایی ریاضی است که همه نمونه های محتمل انواع چیزهای معین را در بر می گیرد. بحثمان را ابتدا با ملاحظه مجموعه ناقصی از کله های پلاستیکی روسای سرخپوست که توسط دوستم کنراد گرد آوری شده بود، شروع کردیم، و با تشریح فضاهایی که شامل: فضای ژن، فضای کروکودیل، فضای زنجیره پروتئین، فضای شیمی و فضای سیب بود، ادامه دادیم. همه این فضاها مجموعه های بیکرانی هستند که نسخه های متفاوتی از اقلام مورد نظر را دربردارند. اطلاعات لازم برای ساختن هریک از اقلام مجموعه ای معین، به طور ریاضی بیان می شود. برای گلچین کردن یک کروکودیل از فضای کروکودیل، فقط کافی است که خوشه اطلاعاتی مناسب را بازیابی کنیم. با داشتن این توصیف ریاضی، می توانیم به مغازه ای خیالی که بی شباهت به مغازه های فتوکپی کنار خیابان نیست قدم بگذاریم، که ماشینی دارد که توصیفات ریاضی را به گوشت و پوست کروکودیل واقعی ترجمه می کند. فضای همه چیزهای ممکن، خواه فضای ماهی گوشتخوار پیرانا باشد، یا فضای پتروداکتیل^{۱۲}، فضای کشتی جنگی پرتغالی، یا فضای ماهی آبئوس یا هر فضای دیگری، یک فضای اطلاعاتی است. جریان اطلاعات جهانی است، و هم به موجودات زنده و هم غیر زنده اجازه می دهد که در زبان انتزاعی واحدی تعریف شوند، تحلیل بروند و دستکاری شوند. همچنین این فضا، به ما توانایی دکتر دولیتل^{۱۳} افسانه ای را می دهد که نه تنها قادر به صحبت با حیوانات است، بلکه با ماهی ها، حشرات، باکتری ها، صندوق های پست، دانه های برف و چراغهای خیابان گفت وگو می کند.

^{۱۱} Ribozyme (*۳)

^{۱۲} Pterodactyl راسته ای از سوسماران بالدار عهد ژوراسیک تا عهد مسوزوئیک

^{۱۳} Dr Dolittle

پادشاه کورینت^{۱۴} محکوم شده بود که سنگی را تا ابد به بالای تپه هل بدهد. متأسفانه آن سنگ عادت داشت که درست قبل از این که به نوک تپه برسد به پایین غل بخورد. حق دارید فکر کنید که سرنوشت بی رحمانه ای است. ولی او باید خدا را شکر می کرد، چرا که ممکن بود خیلی بدتر از این به سرش بیاید. مثلاً ممکن بود وادارش کنند که بر روی ساختن فضای شتر کار کند. حتی اگر اسطوره شناس دیگری لطف می کرد و او را به ساختن فضای شترهای یک کوهانه محدود می کرد، به جرات می توان گفت که خیلی قبل از این که او حتی ناحیه کوچکی از این فضای بالقوه را بسازد، جهان انباشته از شتر می شد. بدون شک، به محبوبیت او در دنیای اموات صدمه وارد می شد، چون عالم اسفل پر از شتر شده بود و بقیه ساکنین هم مجبور به تهیه غذا برای آنها می شدند. هرچند، اگر خوشه اطلاعاتی مربوط به شترهایی به اندازه سیاره مشتری را به دستش می دادند، احتمال داشت میلیاردها سال وقت صرف کند بدون این که حتی یک شتر را تکمیل کند.

اکنون متوجه می شویم که چرا ذخیره کردن موجودات بالقوه به شکل خوشه های اطلاعاتی به صرفه است. این روش آنقدر خلاصه است که تمام عالم امکانات، هیچ فضایی را اشغال نمی کند. قبلاً بیان کردم که مکان طبیعی مجموعه های بیکران همه فضاهای اطلاعات، دریای اطلاعات است که، فضای همه فضاهای اطلاعاتی ممکن است. همچنین کوشش کرده ام این واقعیت نسبتاً غریب را بیان کنم که از نظر ریاضی به نظر می رسد که این فضاها واقعا وجود دارند، گرچه هرگز ممکن نیست که غالب اقلامشان به واقعیت بپیوندند. در حقیقت، محدودیت هایی مانند زمان، فضا، ماده و ماهیت فرآیندهایی که عناصر را در جهان اشکال تحقق می بخشند، فقط به عجزترین عناصر اجازه غوطه ور شدن در دریای ممکن ها را می دهد.

دارم می شنوم که شما می گوئید، این ها همه درست، راحت می توان در باره جهان های دیگر، فضاهای ریاضی و مجموعه همه چیزهای ممکن صحبت کرد. ولی روی هم رفته، هیچکدام از اینها قابل لمس نیستند، یا بهتر است بگوئیم که بر دنیای واقعی تکیه ندارند. پس اینک من کوشش خواهم کرد امکان تحقق فیزیکی یک فضای ریاضی از میان بینهایت فضای اطلاعاتی ممکن را نشان دهم. اگر موفق به این کار شوم، طولی نمی کشد که خیال خود را پرواز دهم و احساس کنیم که این کار را برای فضاهای ریاضی دیگر هم می توانیم انجام دهیم.

فضایی که مایلیم مورد ملاحظه قرار دهم، فضای فرضی همه زنجیره های ممکن آر.ان.ا. است، که آن را فضای آر.ان.ا. می نامیم. این فضا بسیار شبیه فضای همه زنجیره های ممکن دی.ان.ا. است که آن را فضای ژن یا فضای دی.ان.ا. نامیدیم. چون فضای آر.ان.ا. شامل مجموعه کامل همه زنجیره های ممکن آر.ان.ا. است، طبق تعریف باید شامل کالبد همه موجودات ساکن در جهان آر.ان.ا. باشد. این فضا، موزه عظیمی است که عمدتاً پر از بنجل های بی معنی آر.ان.ا. است، ولی اگر خوب از نزدیک نگاه کنیم درمی یابیم که مملو از رگه های بقایای فسیلی اجزاء موجودات آر.ان.ا. است. اگر قادر بودیم فضا را به دقت جستجو کنیم، می توانستیم خود موجودات فرضی آر.ان.ا. را هم بیابیم. آیا ممکن نیست که از این فضا برای بدام انداختن موجودات جهان آر.ان.ا.، از میان تیرگی خواب غفلت میلیون ها ساله استفاده کنیم و گولشان بزنیم تا درمقابل چشمان ما برقصند؟

قبل از کوشش برای انجام این کار، اول باید جای این فضا را مشخص کنیم. اما، کجا باید دنبال فضایی شبیح مانند که فاقد تجسم مادی است بگردیم، و چطور می توان چیزی را که وجود ندارد پیدا کرد؟ ولی اگر می توانستیم ثابت کنیم که فضای آر.ان.ا. وجود دارد چه می شد؟ چه می شد اگر می توانستیم تاریخ را به مبارزه بطلبیم و به طور مصنوعی بخش کوچکی از این فضا را بسازیم، که تا زمان واقعیت یافتنش فقط یک وجود ریاضی مجرد و غیر مجسم داشت؟ آیا ساختن این بخش کوچک گواهی بر واقعیت کلی این فضاهای فرضی نبود، و نیز گواهی بر این که برای تحقق یافتن این فضاها، اطلاعات و منطق لازمه آنها باید مقدم بر وجودشان باشد. اگر می توانستیم حتی به شکلی شکسته و ناقص و برای چند ساعت یا چند روز به فضای آر.ان.ا. توسل جوییم، آیا این شانس را نداشتیم که از فضای جَنی آر.ان.ا. پرسشی مطرح کنیم؟ آیا فضای آر.ان.ا. ی دست ساز ما نوعی

^{۱۴} Corinth. شهری در جنوب یونان

ماشین زمان بیولوژیک فراهم نمی کند، که ما را قادر به سفر به عقب و به درون عمق تاریخ محتمل و واقعی کند، و اجازه دهد از نزدیک صورّ دنیایی باستانی را که مانند چشم گلاستر^{۱۰} مدتها پیش منقرض شدند مشاهده کنیم؟

بگذارید برای لحظه ای، از منطقِ عالمِ اسفل منحرف شویم و تصور کنیم که توسط الهه آن، یعنی پلوتو و همسرش پرسفون به عقوبت مهیبی محکوم شده ایم، که عبارت است از ساختن *فضای آر.ان.ا*. چطور باید این کار را شروع کنیم؟ چگونه می توانیم در خزانه ای بسیار گسترده تراز خزانه ارواح محبوس در عالم اسفل، میان زیاله ها به دنبال منابع ضروری برای دمیدن حیات به *چُنّ فضای آر.ان.ا* باشیم؟ هرگونه کوشش برای ساختن فضا با یک حرکت، آشکارا غیرممکن است. گذشته از اینها، *فضای آر.ان.ا* بی کران است و خدایانی هم که فکری جز این ندارند که ما را با اسب های وحشی از هم بدرند، بعید است که به عقوبتی محکوممان کنند که پایان شادی داشته باشد.

بگذارید به جای این که سراسر *فضای آر.ان.ا* را با یک چراغ تنها روشن کنیم، ناحیه کوچکی مشخصی را با نورافکن روشن کنیم. ولی چگونه *فضای آر.ان.ا* را باید تقسیم بندی کرد و نورافکن را کجا باید متمرکز کنیم؟ برای این که سر خود را گرم کنیم، ساعت ها را صرف جستجوی ساختمان های ملکولی موجودات منقرض شده و هرگز آزمایش نشده جهان *آر.ان.ا* می کنیم. عتیقه هایی که می یابیم، استخوان بندی کامل موجودات آر.ان.ا را نشان نمی دهند، چون این موجودات ممکن است فقط در *فضای همه موجودات ممکن آر.ان.ا* یافت شوند که آنرا باغ وحش آر.ان.ا نامیدیم. اینها درعوض، ریبوزیم های منفرد هستند که اجزای اساسی استخوان های موجودات آر.ان.ا، یا چرخ دنده های اطلاعاتی و متابولیک دستگاه های بالقوه زنده آر.ان.ا را تشکیل می دهند.

محتمل بودن فرضیه جهان آر.ان.ا بر این فرض استوار است که، می توان در میان زنجیره های ترکیب پذیر آر.ان.ا، خزانه پنهانوری از ریبوزیم ها یافت. این ریبوزیم ها باید بتوانند دامنه وسیعی از واکنش های شیمیایی را، که ممکن است بعضی از آنها اجزای سوخت و ساز ابتدایی آر.ان.ا را تشکیل بدهند، تسریع کنند. قبلاً گفتیم که مشخص شده است، تعداد کمی از زنجیره های آر.ان.ا ی معاصر فعالیت ریبوزیم دارند. پس این انتظار که بقیه آنها نیز این خاصیت را داشته باشند، منطقی است. چون *فضای آر.ان.ا* شامل همه ترکیبات ممکن زنجیره های آر.ان.ا، و با هر طولی است، باید بتوانیم ریبوزیم ها را از فضای آر.ان.ا صید کنیم. چون ریبوزیم های معاصر حدود ۴۰ تا ۴۰۰ باز ریبونوکلوئید دارند، دوراندیشانه به نظر می رسد که برای تفسیر *فضای آر.ان.ا* از زنجیره هایی با همین طول استفاده کنیم. از این گذشته، به دلایلی که بعداً معلوم می شود، شاید بهتر باشد به جای تمرکز روی دامنه ای وسیع، نورافکن را روی زنجیره هایی از آر.ان.ا که فقط طول مشخصی دارند متمرکز کنیم.

فضای آر.ان.ا می تواند درست به همان روش *فضای دی.ان.ا* ساخته شود. هر مکان در زنجیره آر.ان.ا می تواند توسط یک ریبونوکلوئید U، C، G، A اشغال شود. به این ترتیب 4^1 (4) زنجیره به طول یک ریبونوکلوئید (U,C,G,A) و 4^2 (۱۶) گردنبد با طول دو ریبونوکلوئید (UU,UC,UG,UA,CU,CC,CG,CA,GU,GC,GG,GA,AU,AC,AG,AA) وجود خواهند داشت. خوشبختانه ما می توانیم مانند *فضای دی.ان.ا*، از ریاضیات ساده برای محاسبه تعداد ترکیبات ممکن زنجیره های طویل تر استفاده کنیم. به طور کلی برای زنجیره ای با طول n، که دنباله ای از طول های مشخص است، 4^n ترکیب ممکن متفاوت از ریبونوکلوئید ها وجود دارد.

اگر می خواستیم نور افکن را روی ناحیه ای از فضای آر.ان.ا ای که شامل زنجیره هایی با طول ۲۵ ریبونوکلوئید است متمرکز کنیم فقط می توانستیم آرایه هایی با 4^{25} (10^{15}) زنجیره متفاوت آر.ان.ا را روشن کنیم. و اگر می خواستیم نور را روی ناحیه ای که زنجیره هایی با طول ۳۰۰ ریبونوکلوئید را در خود جای می دهد متمرکز کنیم، نور آنقدر پخش می شد

^{۱۰} Gloucester. یکی از شخصیت های نمایشنامه شاه لیر شکسپیر که شاه کورنوال چشمش را از حذقه در آورد.

که فقط کسر کوچکی از عدد نجومی 4^{300} (10^{180}) زنجیره ممکن را می توانست روشن کند. البته در مقایسه با زنجیره های با طول ۳،۰۰۰ یا ۳۰۰،۰۰۰ ریبونوکلئوتید یا حتی بیشتر، فضای زنجیره های ۳۰۰ ریبونوکلئوتیدی بسیار ناقابل به نظر می رسد. اگر ریبوزیم های مستعد در زیر فضایی از فضای آر.ان.ا قرار داشته باشند که همه زنجیره ریبونوکلئوتید را، از هر طول در بر می گیرد، شاید جستجوی ریبوزیم تاریخی یا غیر تاریخی در زیر فضایی از آر.ان.ا که شامل زنجیره هایی با طولی مشابه ریبوزیم های کنونی است، قابل درک باشد.

فناوریهای جدید، رویای ساختن تمام نواحی فضای آر.ان.ا و نمونه های محدودی از زنجیره های طویل تر را عملی کرده است. در حقیقت، اکنون می توان مجموعه هایی از آر.ان.ا های ترکیب شونده را در ابعاد کوچک از پیش تعیین شده، مصنوعاً در لوله آزمایش ترکیب کرد. این ترکیبات را بعداً می توان برای فعالیت های ریبوزیم برگزید. ریشه های هوشمندانه این نوع آزمایش ها می تواند به تجربیات سول اسپیکلمان^{۱۶} بازگردد، که در سال ۱۹۷۰ میلادی گروه های متنوعی از مولکول های آر.ان.ا را در لوله آزمایش تولید کرد. وی سپس نشان داد که می توان به طور مکرر مولکولهای گوناگون تولید کرد و سپس با انتخابی موشکافانه، مولکولهایی را که ویژگیهای مشخص مطلوبی دارند، از مخزن تولید شده بیرون کشید. لسلای اورگل در ۱۹۷۹ به طور مفصل قاعده جستجوی فعالیت های ریبوزیم در گروههای آر.ان.ا ای را که خارج از موجودات زنده و در لوله های آزمایش محبوس بودند تشریح کرد، و نشان داد که چگونه آنها در فرآیند تکامل ساختگی بالغ می شوند. هرچند این اندیشه ها تا سال ۱۹۹۰ که جرال د جویس^{۱۷} و جک ژوستاک کار مستقل خود را ارائه دادند، نتوانست به حیطه عمل در آید. از آن به بعد، تعداد زیادی ریبوزیم های گوناگون در مجموعه های آر.ان.ا های ساختگی کشف شده اند.

گرچه اولین گروه ریبوزیم هایی که به این روش جدا شدند محدود به تسریع واکنش هایی بود که دست اندر کار بهم تاباندن آر.ان.ا بودند، ولی در ۱۹۹۵ ویلسون و ژوستاک نشان دادند که ریبوزیم ها می توانند دامنه وسیع تری از واکنش ها را تسریع کنند. در حقیقت اکنون به نظر می رسد که می توان ریبوزیم هایی را که قادر به تسریع تقریباً همه واکنش های شیمیایی هستند، از مجموعه های ساختگی آر.ان.ا که دارای اندازه و طول مناسبی هستند، جدا کرد. این ریبوزیم ها به شرح زیر هستند: ریبوزیم هایی که تشکیل پیوند کربن-کربن را تسریع می کنند، ریبوزیم هایی که مولکولهای آر.ان.ا را به یکدیگر متصل می کنند، و ریبوزیم های دیگری که آمینو اسید ها را متصل می کنند و سیستم سازنده پروتئین را پایه گذاری می کنند. این واقعیت که جستجوی ریبوزیم در فضای زنجیره های ترکیب شونده ناقص و محدود، می تواند ریبوزیم هایی با ساختمان و عملکرد پیچیده را ارزانی دارد، نشان می دهد که احتمالاً تراکم و تنوع چنین گونه هایی در فضای زنجیره های آر.ان.ا، زیاد است. به این ترتیب، احتمال کلی فرضیه جهان آر.ان.ا به اثبات می رسد. ولی جام مقدس این مطالعات، یعنی کشف ریبوزیمی که، با توجه به اطلاعات درون قالب آر.ان.ا، قادر به تکثیر مولکولهای آر.ان.ا باشد، کماکان از دست ما می گریزد. هرچند، نمایش ریبوزیمی با فعالیتی ناقص و ابتدایی در ۱۹۹۶ توسط اریک اکلند و دیوید بارتل^{۱۸}، نشانه خوبی از دست یابی احتمالی به این هدف می باشد. اکنون من وارد زیر فضایی از آر.ان.ا می شوم که شامل مجموعه کامل مولکولهای ۳۰۰ ریبونوکلئوتیدی است که آن را سرزمین آر.ان.ا ۳۰۰ می نامم. به خاطر غیرعادی بودن این فضا، اندیشه سفر با پای پیاده را رها می کنم و کپسول فضایی را که برای کاوش فضای آر.ان.ا استفاده کردیم، قرض می گیرم. اکنون مشغول پرواز بر فراز این ناحیه از فضای آر.ان.ا هستم و قادرم از پنجره کپسول به زمین پایین نگاه کنم. زیر پای من گستره بیکرانی از جعبه های زنجیره آر.ان.ا قرار گرفته اند که هر یک شامل یک مولکول منحصر به فرد آر.ان.ا می باشد. ساعتها پرواز می کنم و هنوز منظره مقابلم تغییر نکرده است. سفر با قطار در استپ های روسیه را به یاد می آورم که منظره یکنواخت بیرون پنجره کالسکه با گذر زمان تغییر نمی کند. صبورانه به راهم ادامه می دهم و به طور قاعده مند این سرزمین را بررسی می کنم، تا این که چیز غریبی اتفاق می

Sol Spiegelman^{۱۶}
Gerald Joyce and Jack Szostak^{۱۷}
Eric Ekland & David Bartel^{۱۸}

افتد. جعبه های زیر پای من به کلید تبدیل می شوند و یک قفل هم در دست من ظاهر می شود. چون قفلی دارم که فاقد کلید است، تصمیم می گیرم کلید مناسب آنرا پیدا کنم. اگر همه جعبه ها به کلید تبدیل شده باشند، آنوقت به نظر می رسد که من باید کلیدم را از بین 4^{300} یا (10^{180}) کلید مختلف انتخاب کنم. اگرچه همه کلیدها، کورکورانه و بدون هیچ آگاهی پیشین از وجود قفل ساخته شده اند، ولی مطمئناً یکی از این کلید ها باید به قفل من بخورد.

از ترس این که مبدا کلیدها دستخوش استحاله دیگری شوند، بدون تاخیر بیشتر رهسپار تحقیق می شوم. در حالی که جای مشخصی را ندارم که از آن شروع کنم، تصادفی در دشتی از کلید ها به زمین می نشینم و شروع می کنم به آزمایش یک به یک آنها. بعد از امتحان تنها ده میلیارد (10^{10}) کلید، از یافتن کلیدی که به قفل من می خورد خوشحال می شوم. البته کاملاً مناسب آن نیست و به سختی قفل را باز می کند. چون می توانم مسافت های زیاد را بدون زحمت با کپسول فضاییم طی کنم تصمیم می گیرم که به جستجو ادامه دهم، به این امید که کلیدی را بیابم که مناسب تر باشد و قفل را بهتر باز کند. در خطی راست به راه رفتن ادامه می دهم و برای مسافت تقریباً یک میلیارد کلید دیگر، کلیدهای متوالی هر یک به طور جزئی بهتر از کلید قبلی به قفل می خورد. بعد از این، دیگر هیچ کلیدی مناسب نیست و من همه جا را می گردم. به ناحیه دیگری از سرزمین آریان! ۳۰۰ پرواز می کنم و بعد از امتحان ۱۰۰ میلیارد (10^{11}) کلید دیگر، کلیدی پیدا می کنم که به خوبی همان کلیدهای دشت قبلی، قفل را باز می کند. اکنون آشکار می شود که اگر می خواستم بهترین کلید ممکن را بیابم باید همه مجموعه کامل 10^{180} کلید را یکی یکی امتحان می کردم، چون حذف حتی یکی از کلید ها می توانست به کل پروژه آسیب برساند.

پیش از این که رهسپار این ماموریت جدید شوم، ماشینی طراحی می کنم که درجه تناسب هریک از کلیدها را با قفل خود بسنجم. نتیجه این عمل به درجه ای بین صفر، برای کلیدی که اصلاً داخل قفل نمی شود، تا یک میلیارد (10^9) که برای بهترین و مناسب ترین کلید است، ترجمه می شود. همین طور که همه کلیدها را امتحان می کنم در محل هر کلید یک آسمان خراش می سازم، که ارتفاع آن نشان دهنده میزان کارایی کلید است. اگر کلید اصلاً داخل نرود چیزی نمی سازم و اگر کلید به اندازه ای معادل یکصد فرو برود، آسمانخراشی به ارتفاع صد طبقه می سازم. بهترین کلیدهای ممکن، مربوط است به آسمانخراشی به ارتفاع یک میلیارد طبقه. بعد از سنجش همه 10^{180} کلید و ساختن تعداد انبوهی آسمان خراش به کپسول فضایی ام باز می گردم و بالای کلان شهری که ساخته ام پرواز می کنم. چشم انداز آن شبیه نیویورک است و مرکز شهری در آن وجود دارد که غالب آسمانخراشها در آن جمع شده اند. همچنین مناطق تجاری کوچکتری نیز در چشم انداز پخش شده اند که ساختمان های بلند مربوط به شهری با اندازه متوسط هستند. ساختمان امپایر استیت مانند برجی بر فراز بقیه آسمانخراشها، مقر بهترین کلید ممکن است. گرچه احتمال مکانی مانند برج های دوقلوی تجارت جهانی که در آن دو ساختمان مشابه هم در قله وجود داشته باشند منتفی نشده است، ولی در این دورنمای خاص به نظر می رسد که فقط یک راه حل بهینه وجود دارد.

با بررسی دقیق تر متوجه می شوم که انتقال از یک آسمان خراش به آسمان خراشی دیگر، علی الاصول راحت است، برای این که می توان از یک ساختمان میلیون طبقه راه افتاد و به پشت بام های دیگر پرید تا این که به امپایر استیت رسید. ولی برخی نواحی دورنما شبیه پراکندگی های غیر منظم شهری، در لوس آنجلس است. مثلاً، یک آسمان خراش تنهای صد هزار طبقه ممکن است با خوشه هایی از آسمان خراش های هزار طبقه احاطه شده باشد. پرش ۹۹ هزار طبقه ای از یک ساختمان به ساختمانی دیگر حتی چابک ترین ورزشکاران را هم به چالش می کشد. همچنین نواحی میان شهری دیگری هم هستند که در فواصل عظیم از ناحیه منتهن قرار گرفته اند. با استفاده از وسایل نقلیه امروزی، برای رسیدن به این خوشه های آسمان خراش، باید در طول دشتهای مسطح و بی شکل، مدت طولانی رانندگی کنیم. این نواحی نامربوط شامل کلیدهایی هستند که هیچ شباهتی به کلید من ندارند. به نظر می رسد که برخی از نواحی این دورنما سهل الوصول از بقیه اند. دورنمایی که در آن راهی از زمین مسطح با شیب کم به ارتفاعات منتهی می شود پیوندش آسان است. اما، اگر روی آسمان خراش فرعی در دورنمایی بی شکل و بی نظم قرار بگیریم، رفتن به ارتفاع بالاتر برایمان سخت است.

اکنون اگر بخواهیم به ارتفاعی پرواز کنیم، و از آنجا عکسی ماهواره ای بگیریم که همه سرزمین آر.ان.ا ۳۰۰ را در بر گیرد، می توانیم نقشه ای درست کنیم، که برای یافتن منهن در دورنمای ما و سپس یافتن امپایر استیت به کار رود. این نقشه همچنین اجازه می دهد به گشت هایی برویم که از داخل کلان شهر و از زمین های پست شروع می شوند و به آرامی در میان پشت بام های آسمان خراش ها پیش می رود تا به مرتفع ترین پنت هاوس امپایر استیت برسند. گشت هایی از این دست، در دنیای واقعی، مسیرهای تکامل هستند که در آنها سیستم ها به مرور زمان تغییر می کنند. اما، در دنیای مصنوعی مجموعه های ساختگی چنین محدودیت هایی وجود ندارند. اگر کل فضا ساخته شود، در این صورت همزمان می توان همه فضا را، بدون نیاز به عبور متوالی از مراحل میانی یا واسطه ای جستجو کرد.

مهم ترین نکته این است که آیا هرگز می توان یک کلید به درد بخور را در مجموعه هایی که تصادفی تولید شده اند یافت؟ عجیب این است که کلیدها قبل از قفل های مربوطه شان به وجود می آیند. در قیاس با سرزمین آر.ان.ا ۳۰۰، کلیدهای قرار گرفته در قله مرتفع ترین آسمان خراش ها، نماینده ریبوزیم هایی هستند که قادر به تسریع واکنش های شیمیایی هستند. این واکنش ها همان قفلی هستند که این کلید ها بازشان می کنند. دورنمای موجود در مثال ما مربوط می شود به پراکندگی کلیدهای ریبوزیم که قادر به تسریع واکنش شیمیایی نمایش داده شده توسط قفل هستند. اگر می خواستیم در سرزمین آر.ان.ا ۳۰۰ کلید دیگری را جهت قفلی دیگر جستجو کنیم، یعنی دنبال ریبوزیمی بگردیم که مشخصاً واکنش شیمیایی متفاوت دیگری را تسریع می کند، ساختار دورنمای ساخته شده کاملاً متفاوت می بود. بسیار احتمال داشت که منهن قدیمی، دشتی صاف باشد و یک منهن جدید، شبیه فونیکس، در گوشه غیر قابل انتظاری از دورنما، ظهور کند. ماهیت کلی این خطه هم ممکن بود تغییر کند. برای مثال، به جای این که آسمان خراشها باهم، در یک کلانشهر خوشه تشکیل دهند، ممکن بود به طور کتره ای در تمام دورنما پراکنده شوند؛ چون هر واکنش شیمیایی با ساختار سه بعدی متفاوتی تسریع می شود. خیلی بعید است که شکل ریبوزیم کاتالیزور یک واکنش، عین ریبوزیم کاتالیزور واکنش دیگری باشد، و نتیجتاً احتمال دارد که این دو در نواحی متفاوتی از فضا قرارگیرند.

عکس ماهواره ای ما، برای تخمین این که هر دورنمای خاص چقدر می تواند سهل الوصول باشد ارزش زیادی دارد. همچنین، حتماً دلمان می خواهد که با تقلید مصنوعی فرایندهای تکاملی، دورنمایی خاص را بییماییم. با آزمایش خط تراز زمین، می توانیم راهمان را با صعود ملایم به طرف قله پی بگیریم. ولی یک محدودیت فنی، مانع عمده ای در جستجوی موثر ما در دورنمای ساختگی پدید می آورد، و ساخت کامل ناحیه هایی از فضای آر.ان.ا را که طولشان از حدود ۲۵ ریبونوکلئوتید فراتر برود، منتفی میکند.

محدودیت از اینجا ناشی می شود که، درحال حاضر ساختن مخازن مصنوعی آر.ان.ا با بیش از 10^{15} گونه مختلف آر.ان.ا بسیار سخت است. در مورد زنجیره های آر.ان.ا که حدود ۲۵ نوکلئوتید یا کمتر دارند مشکلی وجود ندارد. تعداد زنجیره های متفاوتی که دارای ۲۵ نوکلئوتید باشند 4^{25} (10^{15}) است. بنابراین از نظر فنی می توان همه محتوای سرزمین آر.ان.ا یک (مجموعه ای که یک نوکلئوتید دارد) تا سرزمین آر.ان.ا ۲۵ (مجموعه ای که ۲۵ نوکلئوتید دارد) را واقعیت بخشید. نتیجتاً مخازنی ساختگی که در این محدوده قرار گیرند می توانند کامل باشند. اگر قفلی درون سرزمین آر.ان.ا ۲۵ انداخته شود و عمل ترکیب نمونه و کارآمد باشد، اصولاً ممکن است که محله منهن و بهترین زنجیره های ممکن درون منهن، با یک حرکت یافت شوند. هر چه اندازه زیر فضایی در آر.ان.ا که در آن جستجو می کنیم کاهش یابد، این احتمال افزایش می یابد. جستجوی امپایر استیت در سرزمین آر.ان.ا ۱۰ بسیار راحت تر است تا آر.ان.ا ۲۵؛ به این دلیل که در سرزمین آر.ان.ا ۲۵ زمانی که یک ملکول تنها را از مخزن خارج می کنیم، در بهترین حالت، هر کلید فقط با یک نسخه نشان داده می شود که یعنی، احتمال یک در 10^{15} دارد تا امپایر استیت را بیابیم. ولی در سرزمین آر.ان.ا ۱۰ بدون شبیهی که 10^{15}

عنصر دارد، ممکن است نسخه های متعددی از هر کلید حضور داشته باشند. معنی آن این است که باید چندین ساختمان امپایر استیت در روی دورنما مشخص شوند، که نتیجتاً یافتن کلید را برای ما آسان تر می کند.

اما، عکس آن نیز، زمانی که زیر جهان های آر.ان.ا را که زنجیره هایی طویل تراز ۲۵ ریبونوکلئوتید دارند، جستجو می کنیم، صادق است. برای نمونه، *سرزمین آر.ان.ا* ۳۰۰، حاوی 4^{300} (10^{180}) ماده متفاوت است. برای این که شانس منصفانه ای برای آزمایش همه کلیدهای ممکن داشته باشیم، باید صفحه نمایشی داشته باشیم که گنجایش حداقل 10^{165} مخزن پیاپی را داشته باشد، و هر کدام از مخازن اندازه ای معادل 10^{15} ماده داشته باشند. و این تعهد سنگینی است که نمی تواند عملی شود. با آگاهی از این که ما از نظر فنی قادر به جستجوی کارآمد و جامع در زیرفضاهای آر.ان.ا ای نیستیم که زنجیره شان از طول قابل قبولی برخوردار باشد، باید ببینیم که از چه ترفند دیگری می توانیم استفاده کنیم؟

یک ترفند می تواند این باشد که، یک فضای میکروسکوپی آر.ان.ا به اندازه 10^{15} ماده بسازیم، که نمونه ای تصادفی از فضای مورد نظر را ارائه می دهد. ممکن است این شانس را داشته باشیم که، درون این نمونه تصادفی که دورنماهای گوناگونی دارد، یک منهتن را به تور بیاندازیم یا شاید منهتن کوچکی را که در فاصله ای از ناحیه مرکزی شهر قرار گرفته است ببابیم. گرچه احتمال دارد که غالب دورنماها، دشت های بی شکلی را نمایش دهند که نواحی مختلف آسمان خراشها را از هم جدا می کنند. این ترفند، کمی شبیه کیوسک گوشه شهربازی است که در آن باید حلقه ای را به طرف میله ای پرتاب کنیم تا برنده جایزه شویم. اگر در لحظه پرتاب، چشم مان بسته شود، جایزه ها هم کیلومترها از ما دور می شوند. 10^{15} پرتابی که ما در این بازی اجازه داریم انجام دهیم، ممکن است زیاد به نظر برسد، ولی نسبت به عظمت فضایی که مایل به کاوش آن هستیم، این عدد حقیقتاً ناچیز است. این عمل در قیاس با *سرزمین آر.ان.ا* ۳۰۰، مثل پروازی است بر روی دورنما، که در آن هر از گاهی حلقه ای پرتاب می کنیم، به این امید که این حلقه روی آسمان خراش منهتن یا هر آسمان خراشی در هر جای دیگر فرود بیاید. ترفند دیگر این است که، ساختمان مجموعه را جهت دار کنیم تا این که به جای این که ریبونوکلئوتید ها در بیشتر مکان ها به طور تصادفی قرار بگیرند، در برخی مکان ها گیر بیافتند. وقتی به این روش از تنوع مخازن می کاهیم، غلظت مواد افزایش می یابد. هرچند، برای طراحی هوشمندانه مجموعه های غیر تصادفی، لازم است که از این موضوع که نواحی منهتن دورنما در چه مکان هایی می توانند قرار داشته باشند، تصویری داشته باشیم.

با آگاهی از این که، با نمونه گیری تصادفی بعید است که امپایر استیت یا حتی آسمان خراشی از خیابان پنجم را صید کنیم، و به این دلیل که این کار خسته کننده است و بعید است به نتیجه برسد، آیا راه دیگری وجود ندارد که برخی از آسمان خراش های کوچکتری را که پیدا می کنیم بهبود دهیم؟ آیا فرآیندی وجود ندارد که توسط آن، یک آسمان خراش کوچک ۴۰ طبقه را به ۴ هزار طبقه یا حتی ۴۰ میلیون طبقه تبدیل کنیم؟ اگر یکی از حلقه ها روی آسمان خراش مستقر در ناحیه کلانشهر فرود می آمد، حتی اگر این آسمانخراش در داخل بیگ اپل^{۱۹} قرار نداشت باز هم ممکن بود بسادگی از روی پشت بام های آسمانخراشهای همسایه بپریم تا به بلندترین آسمانخراش آن ناحیه برسیم، و به این ترتیب اندازه کلید را بهبود بخشیم. ولی هنگام رسیدن به بلند ترین آسمان خراش منطقه، ممکن است بفهمیم که آسمان خراش بلند بعدی در فاصله دوری قرار گرفته که باید با هواپیما به آن پرواز کنیم، و به این ترتیب پرش به روی آن برای ما غیر ممکن است. ممکن است که به بلندترین ساختمان محل دست پیدا کنیم ولی بهترین کلیدهای ممکن از دسترس ما دور بمانند. البته، بدون کمک یک نقشه ماهواره ای، ممکن است هرگز نفهمیم که منهتنی که ما اتفاقی به آن برخورد کرده ایم منتهتن واقعی نیست. از طرف دیگر، اگر حلقه روی آسمان خراش تنهایی که با خانه های یک طبقه یا بلوک های ۴ طبقه احاطه شده است فرود بیاید، هیچ راه طبیعی وجود ندارد که به طبقات بالاتر منتهی شود.

^{۱۹} Big Apple لقب نیویورک

این نوع نمونه برداری تصادفی، با موفقیت برای ساختن مصنوعی مینی فضا‌های لوله-آزمایشی آر.ان.ا استفاده شده است. در عمل، مجموعه ای تصادفی از 10^{15} مولکول آر.ان.ا با طول مشخص، تقریباً همیشه فعالیت ریبوزیمی را که به دنبالش هستیم در بر خواهد داشت. ولی این ریبوزیم، کیفیت مطلقاً پایینی دارد و معادل آسمان خراشی هشتاد طبقه است در دنیایی که در آن یک میلیارد طبقه هم قابل حصول است. آیا نمی توان به همان طریقی که آسمان خراشهای کوتاه را، با کاوش مناطق نزدیک دور و بر آنها بهبود می بخشیم، این فعالیت ناقص را هم بهینه کنیم؟ آیا می توانیم به طور ساختگی از فرآیندهایی طبیعی تقلید کنیم که در آنها همه چیز به مرور زمان تغییر می کنند؟ جواب مثبت است. اصل تکامل از طریق انتخاب طبیعی داروین و والاس^{۲۰}، فقط منحصر به تکامل موجودات کامل نیست بلکه عیناً در مورد اجزای آنها نیز کاربرد دارد. گروههایی از مولکولهای آر.ان.ا می توانند با فرآیند انتخاب طبیعی یا ساختگی تکامل یابند، همان طور که پروانه ها، بوفالو ها یا گورکن ها در طول زمان با گردش در فضای اطلاعاتی خود، در طول زمان تغییر می کنند. در حالی که در سیستم های تکاملی طبیعی، الگوی تغییر توسط شرایط محیطی دیکته می شود، در سیستم های تکاملی ساختگی، فشارهای گزینشی خارجی آنها را مجبور به جهت گیری های خاصی می نماید.

راه حل های گزینش و تکامل مصنوعی مولکولهای ساختگی آر.ان.ا در لوله آزمایش را، می توان به طریق زیر درک کرد. ابتدا، یک مجموعه تصادفی از 10^{15} زنجیره آر.ان.ا های کلید ساخته می شود. به جای منظم کردن کلیدهای تازه ساخته شده روی زمین، که دورنمایی صاف و یکنواخت تشکیل می دهد، آنها را با سوپ پیچیده ای از کلیدها مخلوط می کنند. نسخه های متعددی از قفل هدف به چوب ماهیگیری چسبانده و به درون سوپ فرو برده می شود. وقتی چوب را عقب می کشیم کلید هایی که به درون قفل فرو رفته اند، صید می شوند. کلیدهایی که به این روش گزینش می شوند مجموعه برتری هستند که برخلاف کلیدهای بدشانسی که با خماری در سوپ درمانده تاریخی مانده اند، کششی به قفل دارند که قابل اندازه گیری است. شدت گزینش قابل کنترل است. اگر ضربه ای ملایم به هر ترکیب قفل و کلید بزنیم، هنگامی که آنها از سوپ بیرون می کشیم، کلیدهایی که خوب در قفل فرو رفته اند از آن جدا می شوند. هر چه مجموعه قفل و کلید سخت تر ضربه بخورند، تعداد کلید هایی که از جای خود بیرون می آیند بیشتر می شود. پالایش های دیگری نیز می توان انجام داد تا سختگیری بیشتر شود و کیفیت کلید هایی که در اولین دور گزینش استخراج می شوند ارتقاء یابد. برای مثال، می توان تعداد چوبها را افزود، تا به کلیدهای با کیفیت تر شانس بیشتری برای تصادم و برخورد با قفل ها را داد. یا زمان صید را تمدید کرد. اگر قبل از برداشتن مجموعه جفت های کلید و قفل، چوب ها را با دقت بشوئیم، بیشتر پیوندهای کم بنیه از بین می روند. به این ترتیب، کلیدهایی هم که عملکردی نامناسب دارند و با چسبیدن ضمنی به چوب ماهیگیری یا قفل ها، سواری مجانی می گیرند، دور انداخته می شوند. پس با استفاده از این روشها می توانیم تعداد عناصر ناخواسته را در مجموعه انتخابی خود، که کیفیت صید را زیر سوال می برد، به حداقل برسانیم.

کلیدهایی که با موفقیت این موانع را پشت سر می گذارند، بخش کوچکی از کلیدهای گروه اول هستند. چون در دنیای واقعی، از نعمت نقشه های ماهواره ای محرومیم، نمی توانیم آدرس کلیدها را در دورنما، و نیز ساختار موضعی ناحیه ای را که کلیدها در آن قرار گرفته اند، تعیین کنیم. تنها فرضی که می توانیم با خیال راحت انجام دهیم، این است که چون کلیدها در قفل فرو می روند پس نمایانگر نواحی مشخص موردنظر هستند، که به جای زمین لم یزرع عقب مانده، شامل آسمان خراش ها هستند. گرچه آسمان خراشها در این دورنما ها نادرند ولی به اندازه آسمان خراشهای بلند کمیاب نیستند. اگر مجموعه کلیدها کامل باشد، مشکلی وجود ندارد، چون در هر حال شامل بهترین کلیدهای ممکن است. ولی چون اندازه مخزن های ساختگی محدود است، معمولاً این مخزن ها ناقصند.

ساخت و نگهداری مجموعه کاملی از همه کلیدها هم گران است و هم زمان بر. همچنین این مجموعه ها فضای عظیمی را اشغال خواهند کرد که بیشتر آنها به هیچ قفل مشخصی مربوط نمی شود. بنابراین به صرفه است که به جای تولید مخازن

کامل همه کلیدهای ممکن، به نمونه ای تصادفی از محتویات آن بسنده کنیم. احتمال زیادی دارد که این نمونه شامل بهترین کلید ها نباشد ولی احتمالاً حداقل یک کلید دارد که قفل مورد نظر را باز می کند. کیفیت کلیدها در نمونه تصادفی به اندازه نسبی آن نمونه و ماهیت مخزنی که از آن برداشته می شود بستگی دارد.

به دلایل فوق، احتمال دارد که کلیدهایی که اولین دور انتخاب را پشت سر می گذارند، به جای سرچشمه گرفتن از هیولاهای مرکز شهری که شیشه های آینه سان شان در آفتاب تابستان می درخشد، از نواحی مربوط به آسمان خراشهای کوتاه یا متوسط سرچشمه گرفته باشند. ولی چون کلیدهای انتخابی، از نمونه ای تصادفی متعلق به دورنمای کامل برداشته شده است، انتظار می رود سفرایی از نواحی اصلی یا فرعی آسمانخراش ها داشته باشد. برخی از آنها ممکن است نشان دهنده آسمان خراشهایی مجزا در دشت های صاف بی شکل باشند که در همه جهات گسترده شده. برخی دیگر ممکن است در کلانشهر همسایه قرار گرفته باشند و با آسمان خراشهایی احاطه شده باشند، که گرچه در مقیاس جهانی کوتاه اند ولی در مجموع بلندترند و به سهولت قابل دسترسی اند. هنوز هم ممکن است آسمان خراشهای دیگری در مرز منتهن قرار داشته باشند و به پیاده رویی دسترسی داشته باشند که از بالای سر تاکسی ها، اغذیه فروشی ها و نوازنده های دوره گرد، بالا می رود و به ساختمان امپایر استیت ختم می شود. چون در مورد ساختار محلی و جهانی دورنمایی که کلید را در خود جای داده، اطلاعاتی نداریم، به سختی می توانیم بفهمیم که هر آسمانخراش، هم نسبت به همسایگان پهلویی اش و هم نسبت به حداکثر جهانی چقدر بلند است. احتمال دارد که شل ترین و نالایق ترین عضو اولین کلیدهای انتخاب شده، بیشترین استعداد را برای اصلاح داشته باشد و در نتیجه، عملاً درخشان ترین آینده تکاملی را داشته باشد. متقابلاً، کلیدی که بهترین اندازه را دارد ممکن است ظرفیت کمی برای اصلاح داشته باشد. بنابراین به صلاح است که قبل از بیرون انداختن هر کلید از مجموعه انتخابی، دقیقاً فکر کنیم.

اکنون که می دانیم در برخی موارد، کلیدهای ممتاز نزدیک کلیدهای نامناسب صید شده مجاور قرار دارند، چگونه می توانیم اولین نسل بازماندگان را پالایش کنیم تا ساختارهای نسل دومی را تولید کنند که ماهیت مقبول تر و دقیق تری داشته باشد. در واقع، چگونه می توان به هریک از کلیدهای خوب ولی در عین حال زیر حد مطلوب، فرصت داد که استعداد ذاتی ناحیه ای از دورنما را که در آن قرار دارند، تشخیص دهند. ترفند های متفاوتی را می توان به کار گرفت و نوعی ماشین تکاملی مصنوعی ساخت که به این اهداف نائل آید، که در حقیقت هم اکنون نیز تعدادی ساخته شده اند. ساده ترین ترفند برای انجام تغییرات تکاملی ساختگی، از فرایندهای خود طبیعت برای ساختن یک بن مایه، اعمال تغییراتی در آن و سپس انتخاب مجموعه ای از عناصر جهش یافته مخزن تازه تولید شده، استفاده می کنند.

هر خوشه آسمان خراش شبیه منتهن در فضای آر.ان.ا، متناظر است با مجموعه ای از زنجیره های آر.ان.ا. درچنین دورنماهای ترکیب شونده ای، عناصر مشابه همیشه در کنار هم یافت می شوند. بنابراین اگر زنجیره خاصی از آر.ان.ا فعالیت ریبوزیمی دارد، احتمال دارد که بسیاری از همسایگان نزدیکش هم این خاصیت را داشته باشند. وقتی که ناحیه ای شبیه منتهن در زنجیره های آر.ان.ا یافت می شود، با تغییر ریبونوکلئوتیدهای مجزا در مکان های مجزای زنجیره مورد نظر، می توان از یک آسمان خراش به آسمان خراش دیگر تغییر مکان داد. برای مثال، در *سرزمین آر.ان.ا* ۶، حرکت از بالای مجموعه ای از آسمان خراشها به طرف امپایر استیت، می تواند شامل تغییر مکان هایی در دورنمای فضای زنجیره آر.ان.ا به شکل زیر باشد. گونه وحشی^{۲۱} زنجیره AAUAAU ابتدا می تواند به زنجیره جهش یافته AAAAAU تغییر یابد. سپس خود این زنجیره هم به AAAGCU تبدیل می شود. فرآیندی که در آن یک ریبونوکلئوتید با ریبونوکلئوتید دیگری جابه جا می شود جهش نامیده می شود. در مثال بالا، تغییر از زنجیره وحشی به زنجیره جهش یافته، نیازمند جابه جایی متوالی سه ریبونوکلئوتید است که آن را جهش سه مرحله ای می نامیم. فاصله اطلاعاتی موجود بین زنجیره نوع وحشی مادر و نوع جهش یافته، ارزش عددی ۳ را داراست. اگر شانس داشتیم و نقشه ماهواره ای دورنما را داشتیم، می توانستیم با دنبال کردن راه هایی که از آسمان خراشهای کوتاه به ارتفاعات بالا منتهی می شوند، کلیدهای مناسب تری را بسازیم. تحقق یافتن چنین راههایی درون فضای آر.ان.ا تباری

^{۲۱} استاندارد یا نرمال

از زنجیره های آر.ان.ا یا یک شجره خانوادگی به وجود می آورد. می توانیم راهنماهایی استخدام کنیم که به ما کمک کنند باصرفه ترین پیاده روها را برای جهش در فضای آر.ان.ا بیابیم. اما بهتر است که آنها را با دقت انتخاب کنیم چرا که اگر مسیر درستی را نپیماییم ممکن است از یک طرف آسمان خراش به پایین پرت شویم.

چون طبیعت ما را از دستیابی به نقشه فضاهای نظری خود بازداشته، در حال حاضر طراحی مسیرهایی برای جهش در دورنمای زنجیره ها، که متضمن محصولی حاصل خیز باشد، کارآسانی نیست. گرچه در برخی موارد، مدلسازی کامپیوتری و تخمین بنیادی، ما را قادر به طراحی جهش های مطلوب می کند، ولی برای کشف دورنمای ناشناخته ای که هریک از عناصر مجزا را احاطه کرده، بهتر است که اصول طراحی را رها کنیم و به جای آن از روشی تکاملی جهت کاوش استفاده کنیم. این کار نیاز به تولید، انتخاب، تقویت از طریق اعمال تغییرات تصادفی و سپس گزینش دوباره از میان عناصر تغییر یافته دارد. اگر یک ریبوزیم نامرغوب را بگیریم و به طور مصنوعی یک یا چند جهش به زنجیره آن وارد کنیم، می توانیم گزینه های مناسب محلی را در زنجیره های مجاور بررسی کنیم. اگر مخزن عناصر جهش یافته به اندازه کافی بزرگ باشد، یکی از زنجیره های همسایه می تواند به طور تصادفی، در راهی جهشی قرار بگیرد که به ارتفاعات منتهی می شود. بعداً، این ریبوزیم اصلاح شده، می تواند تقویت شود و جمعیتی را تولید کند که حول زنجیره جدید آر.ان.ا خوشه تشکیل دهد. با تقویت ریبوزیم پس از جهش، می توان تغییراتی تصادفی را در زنجیره فرزند داخل کرد. جمعیت جدیدی را که از عناصر جهش یافته تشکیل می شود می توان به همان روش سابق صید کرد. اما، این بار می توان به هر زوج قفل و کلید ضربه محکمتری زد، چون عناصر بازمانده، نسبت به نسل پدران خود، میل ترکیبی بیشتری به یکدیگر دارند.

فرآیند تولید ریبوزیم های جدید، گزینش، تقویت و گزینش دوباره، همراه با جهش، می تواند به دفعات تکرار شود. گشت هایی که در نواحی معین دورنمای محلی به منظور جهش صورت می گیرند، اجازه می دهند که راههای بالقوه ای که از زمین های پست به ارتفاعات منتهی می شوند تا رسیدن به نتایج منطقی دنبال شوند. کیفیت بهترین کلید قابل دست یابی فقط توسط ساختمان دورنمای اولیه و کارآمدی هر یک از گامهای تکاملی محدود می شود. ساختمان دورنما، سهولت پیمایش آن توسط فرآیندی تکاملی را نشان می دهد. در حالی که بعضی از دورنماها برای تکامل مناسب هستند، ولی در بسیاری دیگر از دورنماها نمی توان به راحتی سیرو سفر کرد.

اگر یک دورنما بهم پیوسته نباشد و آسمان خراش هایش به طور تصادفی در سراسر دورنما پراکنده شده باشند، تغییر مکان از یک کلید نامناسب به کلیدی عالی، ممکن است مستلزم عبور از دشتهایی از کلیدهای اهریمنی باشد. با توجه به محدودیت های فرآیند های تکاملی، دشت ها نشان دهنده مناطق ممنوعه ای هستند که نمی توان از آنها عبور کرد. مسیر یک جهش که از بلند ترین آسمان خراش محلی به آسمان خراشی بلندتر در کلاتشهر همسایه منتهی می شود، مستلزم ساختن مجموعه ای از کلیدهای اهریمنی است که شانس برای این که در قفل فرو بروند ندارند. چون کلیدهای متوالی باید از آزمایش سخت مربوط به قفل، جان سالم در ببرند، به سرعت از حیض انتفاع می افتند و دودمانشان منقرض می شود. از طرف دیگر اگر دورنما همبسته باشد و مرتفع ترین آسمان خراش ها در ناحیه مرکزی شهر دورهم کپه شده باشند، در این صورت می توان جهش هایی را طراحی کرد که در آنها کلیدهای متوسط، به اندازه اجدادشان خوب هستند. به این ترتیب، روشن است که موفقیت تجربه های تکامل ساختگی و کاوش های تاریخی طبیعت، به طور حیاتی به ساختمان دورنماهایی که سیستم در آنها تکامل می یابد وابسته است. باید مطمئن باشیم که دورنماهایی وجود دارند که، با وجود داشتن راه حل های فراوان جهت طراحی بهینه، به علت فقدان ساختار همبسته، قابل پیمایش نیستند.

قدرت مکانیسم های مناسب و در دسترس که امکانات ترکیب شونده پیچیده دورنما را کاوش می کند، جستجوی کارآمد آنها را توسط فرآیندهای طبیعی یا مصنوعی، با محدودیت روبرو می کند. موفقیت موجودات زنده، وابسته به تکامل این موتورهای جستجو است. یکی از سازوکارهای مهم جستجو، ترمیم یا تجدید سازمان ماده ژنتیکی است که در نتیجه فرآیند جنسی به نام جفت گیری ظاهر می شود. این عمل، به فرآیند جستجو اجازه می دهد، به مناطقی از دورنمای زنجیره ها دست پیدا کند که

در فاصله ای دور از زنجیره وحشی قرار دارند. از طرف دیگر، کاوش از طریق جهش نقطه ای، جستجو را فقط به همسایگان محلی محدود می کند. موفقیت راهبردهای مصنوعی تکاملی، به پیشرفت فناوریهای کارآمدتر برای جستجو در فضاهای اطلاعاتی وابسته خواهد بود. برای مثال، فرآیند جفت گیری جنسی، ممکن است به طور مصنوعی انجام شود. در واقع جفت گیری های دی.ان.ا. توانسته اند با موفقیت در لوله آزمایش تقلید شوند.

نکته دیگری که در رابطه با ساختمان دورنما مطرح است، نکته ای تاریخی است. اگر دورنما دارای ساختمانی "همه یا هیچ" می بود، یعنی این که یا از دشت های صاف ساخته شده بود یا از آسمان خراشهای یک میلیارد طبقه، بدون هیچ چیز بینابینی، در این صورت احتمالات تاریخی درون دورنما محدود می شد. به این دلیل که، فارغ از مکان اولیه ما در دورنما، فقط دوگزینه برای آینده در مقابل ما قرار می داشت. اگر دورنما شامل آسمان خراشهایی با ارتفاع های متفاوت بود، احتمال داشت که آسمان خراشهایی با ارتفاع یکسان، در نواحی بسیار جدا قرار گیرند. گرچه دو آسمان خراش جدای با ارتفاع مساوی، ممکن است یکسان به نظر برسند، ولی آینده های احتمالی که از این دو نقطه سرچشمه می گیرند، می توانند کاملاً متفاوت باشند. از این رو، غنای استعداد ذاتی یک دورنمای مفروض، به طور لاینحلی توسط طبیعت و مقدار پیچیدگی ساختار آن دورنما محدود می شود.

اگر بنیان های آر.ان.ا. ی مربوط به حیات امروزی مبتنی بر دی.ان.ا.، به جای این که از دوقلویی در ناحیه دیگری از دورنما آغاز شوند، از یک آسمان خراش آغاز شده بودند، تاریخ حیات در روی زمین بسیار متفاوت می بود. آن طور که ما می دانیم، حیات تحت تاثیر دسته ای از حوادث سخت تاریخی قرار گرفته است که منجر به دودمان هایی شده است که این دودمان ها، به جای این که از آسمان خراش هایی آغاز شده باشد که تقریباً یکسان در دورنمایی هم ارز پراکنده شده اند، از مجموعه ای از آسمان خراش سرچشمه گرفته است. میزان تاثیر این تفاوتها به همبستگی دورنما بستگی دارد. در دورنمایی که کاملاً هم بسته است، همه آسمان خراشها در ناحیه مرکزی منتهن قرار خواهند گرفت. در چنین دورنمایی راه حل های گوناگون یک مسئله کنار هم کپه می شوند و احتمال این که در آینده بهم پیوندند زیاد است. اما، در یک دورنمای غیرهمبسته، آسمان خراشها به طور تصادفی در سراسر دورنما پراکنده اند و احتمال این که در آینده به هم پیوندند کم است.

به زودی زمان آن فرا خواهد رسید که سرزمین آر.ان.ا. ۳۰۰، فضای آر.ان.ا.، جهان آر.ان.ا. و باغ وحش آر.ان.ا.، یعنی جایی که سفرمان را از آنجا آغاز کردیم، ترک کنیم. نکات مهم بسیاری برجای مانده اند که فرصت نخواهیم داشت درموردشان صحبت کنیم. به عنوان مثال این که چگونه جهان فرضی آر.ان.ا. سرانجام با مرگ مواجه شد و چگونه حیات مبتنی بر کاوش در فضای آر.ان.ا. به مرحله ای رسید که نوع جدیدی از حیات را که درون مخازن اطلاعاتی فضای دی.ان.ا. جریان داشت جایگزین آن کند. ممکن است هیچوقت جواب این سوالات را نفهمیم. ولی بدون شک سرانجام خواهیم توانست مدلهای قابل قبولی از این فرایندها را که مبتنی بر ملاحظات تنوریک و تجربی باشد بسازیم. علاوه بر این، مولکولهای آر.ان.ا. چگونه قادر به تکثیر خود بودند و مانع از نابودی اطلاعات خود می شدند؟ و اگر موجودات فرضی آر.ان.ا. از شبکه ای از ریبوزیم هایی که بر روی یکدیگر اثر متقابل داشتند ترکیب شده بودند، چگونه زنجیره های خود تکثیر مجزای آر.ان.ا. با یکدیگر همکاری می کردند؟ برخی از این پرسش ها در فصل بعدی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. ولی قبل از ترک باغ وحش آر.ان.ا.، کارهای ناتمامی باقی مانده اند که باید به نتیجه برسانیم. چرا مولکولهای آر.ان.ا. در سرزمین آر.ان.ا. ۳۰۰ به کلید ها تغییر ماهیت می دهند؟ کلیدها و ریبوزیم ها چگونه به هم وابسته اند، و آیا موقعیت هایی وجود دارند که در آنها مولکول های دی.ان.ا. مانند کلیدهای کاتالیزور عمل کنند؟ خاطر نشان کردم که ریبوزیم ها کلیدهایی مجازی هستند، که قادرند قفل واکنش های شیمیایی را بگشایند. ریبوزیم ها نیز مانند آنزیم ها، واکنش های شیمیایی را با زیاد کردن نرخ رخدادشان تسریع می کنند. ولی آیا ممکن است مولکول کاتالیزور آر.ان.ا. و کلیدها به مفهوم واقعی تری به هم وابسته باشند.

تشبیه قفل و کلید در ۱۸۹۰ توسط امیل فیشر^{۲۲} برای تشریح سازوکار عملکرد آنزیم ارائه شد. فیشر اظهار کرد که شکل یک آنزیم، مکمل موجودی شیمیایی است که با آن همراه می شود، درست مانند شکل کلید که مکمل شکل قفلی است که برای بازکردن آن به کار می رود. اختصاص یک آنزیم برای یک واکنش شیمیایی، نتیجه شکل منحصر به فرد محل اتصال آن است. بنابراین فضایی حاوی ترکیبات تولید شده توسط همه انواع آنزیم های پروتئین ها، می تواند فضای جایگاه های اتصال پروتئین ها نامیده شود. به همین نحو می توانیم فضای همه جایگاه های فعال ممکن را که توسط پروتئین ها تولید می شوند در نظر بگیریم و آنرا فضای جایگاه های فعال پروتئین ها بنامیم. برعکس نقطه اتصال آنزیم که ناحیه ای مسئول تشخیص محیط است، جایگاه فعال آنزیم ناحیه ای است که در آن عمل تسریع واقعا رخ می دهد. چون ساختار سه بعدی پروتئین برای عملکرد آن به عنوان آنزیم حیاتی است، آیا احتمال ندارد که فناوری های دیگر، مانند آر.ان.ا، بتوانند شکل سه بعدی " جایگاه های اتصال" و " جایگاه های فعال" را تقلید کنند و به این ترتیب مستقیماً با فضای جایگاه های اتصال پروتئین ها و فضای جایگاه های فعال پروتئین ها متناظر شوند؟ در حقیقت ممکن نیست که مخزن شکل های مولکولی بالقوه ای که قادرند مانند جایگاه های اتصال و جایگاه های فعال عمل کنند، حیاتی تر از آن فناوری باشند که این شکل ها را تجسم می بخشد؟

حال بیایید فضایی از شکل های جایگاه اتصال را که فضای ترکیبیات کاتالیزور می نامیم در نظر بگیریم. این فضا عبارت است از فضای فرضی همه ترکیبیات مولکولی سه بعدی ممکن که قادر به تسریع واکنش های شیمیایی هستند و شامل همه کاتالیزورهایی است که در فضای همه سوخت و سازهای ممکن قرار دارند. فضای ترکیبیات کاتالیزور هم شکل سه بعدی انتزاعی یک مولکول در فضای سه بعدی را مستند می کند، و هم مستقل از فناوری خاصی است که این شکل ها و فعالیت های کاتالیزور همراه آنها در آن تحقق می یابند. هر شکل مولکولی سه بعدی، قابلیت الکترواستاتیک سطحی منحصر به فردی دارد پس ما می توانیم فضای همه کاتالیزورهای ممکن را فضای قابلیت الکترو استاتیک سطحی کاتالیزور بنامیم. واضح است که فناوری پروتئین که آنزیم ها از آن ساخته می شوند، می تواند متناظر بعضی از شکل های درون این فضاها یا قابلیت های الکترو استاتیک سطحی موجود در این فضاها، قرار گیرد. بدون شک حفره هایی در مخازن ترکیبیات پروتئین ها وجود خواهند داشت که ترکیبات مولکولی بالقوه و فعالیت های کاتالیزوری را نشان می دهند که اصولاً هیچ پروتئینی نمی تواند آنها را به وجود آورد. اما، بعضی از این حفره ها ممکن است با بازدیدی از فضای زنجیره پروتئین متصل به مراقب مولکولی، پر شوند. در این چهارچوب، می توان اظهار کرد که توانایی تسریع کنندگی ریبوزیم ها از اینجا ناشی می شود که زنجیره های آر.ان.ا قادر به تولید برخی از معماری های فضای ترکیبیات کاتالیزور، که از نظر بیولوژیک مرتبط هستند می باشند. شواهد تجربی این مسئله را ثابت می کنند و اظهار می کنند که آنزیم ها و ریبوزیم ها واقعاً واکنش های شیمیایی را به روشی یکسان تسریع می کنند. هرچند، به نظر می رسد که آنزیم ها در همه اعمال کاتالیزور از همتایان ریبوزیم شان بهتر باشند.

توانایی زنجیره های آر.ان.ا برای جا افتادن در نقاط اتصال سه بعدی پیچیده، توسط چندین گروه تحقیقاتی ثابت شده است. دینشا پاتل^{۲۳} نشان داده است که مولکولهای کوچک ATP^{۲۴} که وجه رایج جهانی انرژی سلولی هستند، می توانند درون یک جایگاه اتصال ریبوزیم جای بگیرند. بنابراین به نظر می رسد که زنجیره های خطی آر.ان.ا مانند زنجیره اصلی آمینو اسید پروتئین ها، اطلاعاتی از ابعاد بالاتر را به رمز در می آورند که به زنجیره دستور می دهد چگونه خودش را به شکلی سه بعدی مونتاژ کند. تقلید آر.ان.ا از ساختار و عملکرد پروتئین، مبنایی فیزیکی برای قابلیت سوخت و ساز مولکولهای آر.ان.ا فراهم میآورد. ولی تنها شکل نیست که ریبوزیم ها را قادر به تقلید اعمال پروتئین ها می سازد. بلکه همچنین توانایی آنها برای اتصال

Emil Fischer^{۲۲}
Dinshaw Patel^{۲۳}
(۴*)^{۲۴}

به یون های فلز، که اجزای ضروری جایگاه های فعال هستند، می باشد. مولکولهای آر.ان.ا، با ساختن داربستی که قادر به نمایش یون های فلز در موقعیت فضایی است، قادرند این ساختار مهم آنزیم ها را نیز تقلید کنند. سرانجام، تفاوت در قابلیت های تسریع کنندگی بین آنزیم ها و ریبوزیم ها، ممکن است تا اندازه ای نتیجه توانایی های متفاوت آنها در اتصال و جهت دادن یون های فلز به روش های خاص باشد. از این رو، فضای ترکیبیات کاتالیزور یک فضای آرایه سه بعدی فضایی یون فلز، را در خود جای می دهد که خود ناحیه ای از فضای جایگاه های فعال است.

در حالی که پروتئین ها از ترکیبات مختلف ۲۰ جزء اساسی ساخته شده اند، زنجیره های آر.ان.ا از ترکیب فقط ۴ جزء اساسی ساخته می شوند. بنابراین، زنجیره های آر.ان.ا، با این که پیچیدگی شیمیایی نسبتاً محدودی دارند، چگونه قادرند مخازنی از هندسه های سه بعدی فشرده تولید کنند که یاد آور مهارت های ساختاری نقاط اتصال پروتئین هاست؟ شواهد نشان می دهند، که جاگرفتن زنجیره یک بعدی آر.ان.ا در ساختمان های چند بعدی، دقیقاً سلسله مراتبی است. در مورد پروتئین ها هم، احتمالاً این مسئله براساس مجموعه ای از قوانین بنیادی چین خوردگی^{۲۰} رخ می دهد، که تاکنون به خوبی درک نشده اند. مسئله چین خوردگی آر.ان.ا ممکن است به دو مسئله کوچکتر شکسته شود، اول تولید ساختمان ثانویه و سپس فروریزی مجموعه ای از عناصر ساختمان ثانویه به ساختمان سه بعدی پایدار. چون عناصر اصلی ساختمان ثانویه زنجیره آر.ان.ا بند های کوتاه، مستقل و دومارپیچی هستند، مسئله ساختمان ثالث آر.ان.ا به فشردگی مارپیچ آن تقلیل می یابد. ولی زنجیره های آر.ان.ا چگونه نواحی متعددی کوتاه مارپیچی، ناپیوسته و تکه تکه خود را متراکم و به نحوی سازمان می دهند، که بتوانند معماری "جایگاه فعال" را که با فضای ترکیبیات کاتالیزور متناظر است، شکل بدهند؟

برخلاف مارپیچ دوگانه دی.ان.ا که گروه های شیمیایی خود را، در خارج مارپیچ نمایش می دهد، یعنی جایی که آنها در شرایط مطلوب مترصد واکنش های شیمیایی اند، گروه های شیمیایی منحصر به فرد ریبونوکلئوتیدهای آر.ان.ا، داخل مارپیچ های آن مدفون شده اند. آر.ان.ا برای ساختن هندسه های پیچیده باید بر این معلولیت غلبه کند. این کار به روش های متعددی قابل دست یابی است. واحدهای ساختمان آر.ان.ا، پشته های بزرگی از پیچک ها هستند که در نتیجه شکنج در فضا، غالباً مانند کره روی نان، روی سر همدیگر قرار می گیرند و مارپیچ بزرگتر ولی منقطعی را تشکیل دهند. این شکنج ها، به دلیل درجه آزادی زیادی که ستون فقرات تک زنجیره ای قند فسفات اجازه می دهد، ممکن می شوند. سازماندهی توده های پیچک ها نیز به طرق متعددی به انجام می رسد.

گروه یگانه هیدروکسیل ($2'-OH$) که قند ریبوز آر.ان.ا را از قند دزوکسی ریبوز دی.ان.ا تشخیص می دهد، نقشی حیاتی در تسهیل فشردگی مارپیچ آر.ان.ا بازی می کند. درحالی که گروه های شیمیایی بازهای آر.ان.ا درون مارپیچ ها پنهان شده اند، گروه های $2'-OH$ که در لبه بیرونی رشته قند ریبوز قطار شده اند، در مکان های مطلوب جهت واکنش های شیمیایی مستقر می شوند؛ و قادرند با یکدیگر شبکه گسترده ای از اتصالات هیدروژنی تشکیل دهند، که جمعاً به نام زیپ ریبوز شناخته می شود. برعکس دی.ان.ا که قوانین جفت شدگی بازهای واتسون- کریک فقط به اتصالات A به T، و G به C اجازه می دهد رخ دهند، در آر.ان.ا، جفت شدن غیر سنتی هم رواج دارد. این مورد معمولاً در بین نواحی مارپیچی آر.ان.ا یافت می شود و اختلالاتی درون ساختار آنها تولید می کند. به نظر می رسد که انواع خاصی از اختلالات مارپیچی در گونه های مختلف آر.ان.ا نگهداری می شوند، که نشان دهنده این است که این اختلالات عناصر مهمی از ساختار آر.ان.ا هستند. اهمیت رخداد جفت شدگی غیرسنتی بازها، مانند A-A, G-A, G-G, C-U و غیره، در این است که معمولاً گروه های شیمیایی غیر قابل دسترس را برای واکنش های شیمیایی قابل دسترسی می کنند. از این رو، تولید مارپیچ های ناقص توسط جفت شدن بازهای غیر سنتی، برای تشکیل ساختمان ثالث آر.ان.ا ضروری است.

یون های فلز با بار مثبت ۲ +، مانند منیزیم، علاوه بر نقش شان در تسریع کنندگی، به ساختن ساختار آر.ان.ا نیز کمک می کنند. این یون ها هم برای خنثی کردن بارهای منفی ستون فقرات قند فسفات به کار می روند، که اجازه می دهد

مارپیچ های مجاور بیشتر فشرده شوند، و هم جایگاه هایی برای لنگرگیری تشکیل می دهند، که عناصر ساختمان ثانویه می تواند حول آنها سازماندهی شوند. علاوه بر این مکانیسم ها، واکنش های تثبیت کننده دیرپای بین مارپیچ ها، با وساطت گروهی از نقش های مراتب بالاتر انجام می گیرد. مثلاً مارپیچ ها می توانند با استفاده از نقش های متوالی خاص و نواحی گیرنده متناظر شان کنار یکدیگر پهلوی بگیرند. یک مثال برای این نقش حلقه *GNRA* (و گیرنده متناظر آن) و حلقه *GAAA* است. در حلقه *GNRA*، *N* می تواند هر بازی باشد و *R* می تواند یا *A* باشد یا *G*. این نوع نقش ها، خود را به نقاط گیرنده متناظر شان الصاق می کنند و با این کار پیچ و تاب را در زنجیره آر.ان.ا وارد می کنند. گرچه این مکانیسم ها فرصت کافی برای معماری پیچیده زنجیره آر.ان.ا فراهم می کنند، ولی شواهد نشان می دهند که تنوع شیمیایی زنجیره های آغازین آر.ان.ا ممکن است با الحاق بازهای اصلاح شده شیمیایی که ممکن است در شرایط پیش زیستی تشکیل شده باشند، بازم بیشتر شده باشد.

قبلاً خاطر نشان کردم که دلیل اصلی عدم توانایی دی.ان.ا برای تولید مخزن گوناگونی از ساختارهای سه بعدی، ساختار مارپیچ دوگانه اش است. نظریه جهان آر.ان.ا بر این واقعیت تکیه دارد که دی.ان.ا ی دوکلافی قادر نیست معماری هایی تولید کند که به طور کارآمد با فضای ترکیبات کاتالیزور متناظر باشند و عمل کاتالیزور داشته باشند. از طرف دیگر، آر.ان.ا یک کلافی است و بنابراین همه کاره ای مولکولی است، که هم می تواند اطلاعات را ذخیره کند و هم بر نتایج بیوشیمیایی آن تاثیر بگذارد. برعکس فعالیت های ریبوزیمی تسریع کننده که در زنجیره های آر.ان.ا ی طبیعی یافت می شوند، هیچ مولکول دی.ان.ا ی تسریع کننده زیستی نمی شناسیم که در طبیعت ظاهر شده باشد. همان طور که قبلاً گفته ایم، فقدان ظاهری یک آنزیم دی.ان.ا ی طبیعی، احتمالاً این واقعیت را منعکس می کند که تقریباً همه دی.ان.ا های موجودات امروزی ساختاری دوکلافی دارند، که مانع ساختن معماری های پیچیده است. گرچه این مسئله در موجودات کنونی صحت دارد، ولی به این معنی نیست که موجودات باستانی از زنجیره های یک کلافی دی.ان.ا برای اهداف اطلاعاتی یا ساختاری استفاده نمی کرده اند. با شباهت های شیمیایی موجود بین دی.ان.ا و آر.ان.ا، این پرسش به نظر معقول می رسد که اگر دی.ان.ا از محدودیت های محیط دوماپیچی رها می شد، آیا زنجیره تک کلافی آن می توانست معماری های سه بعدی پیچیده متناظر با فضای ترکیبات کاتالیزور را، تولید کند؟

چون مولکول های تک کلافی دی.ان.ا فاقد گروه $2'-OH$ هستند، که این مولکولها باعث می شوند برهم کنش های زیپ ریبوز برای تولید ساختار آر.ان.ا حیاتی باشد، بعید است که دی.ان.ا ی تک کلافی بتواند مخزنی از ساختارهای پیچیده تولید کند که به بزرگی مخزن ریبوزیم های بالقوه باشد. گرچه زنجیره های تک کلافی دی.ان.ا ممکن است نتوانند ساختارهایی یکسان با همتایان آر.ان.ا شان به وجود بیاورند، ولی ممکن است بتوانند انواع دیگری از برهم کنش ها را برای دست یابی به همه چین خوردگی ها به کار برند.

قابلیت تسریع کنندگی دی.ان.ا، با استفاده از مجموعه هایی از دی.ان.ا ی تک کلافی مصنوعی که مورد مطالعه فناوریهای تکامل مصنوعی هستند، بررسی شده است. دسته ای از آنزیم های مصنوعی دی.ان.ا یا چیزی که آن را دی.ان.ایزیم^{۲۶} یا دزوکسی ریبوزیم می نامیم، در مجموعه های ترکیب شونده یافت شده اند، که شامل زنجیره هایی هستند که ناحیه های کوتاه تک کلافی دی.ان.ا را بهم می پیوندند و نیز زنجیره هایی که زنجیره های آر.ان.ا را پاره می کنند. علاوه بر این، کارایی هر ذره آنزیم های دی.ان.ا به خوبی همتایان ریبوزیم اش است. مطالعات ساختاری مقدماتی نشان می دهد که دی.ان.ا ی تک کلافی قادر به تولید ساختمان های ثالث متنوع شگفت آوری است، که شامل تعداد زیادی از نقش (موتیف) های ساختمانی است که در مولکول های تاخورد آر.ان.ا یافت می شوند. هرچند، ماهیت و اندازه کامل فضای همه آنزیم های دی.ان.ا ی ممکن، هنوز باید کاوش شود.

آیا نباید در تصور خود از احتمال وجود تاریخی جهان آر.ان.ا، تجدید نظر کنیم؟ آیا ممکن است نیاکان اولیه ما آنزیم هایی از جنس دی.ان.ا داشته و به این ترتیب در جهان دی.ان.ا ی تک کلافی ساکن بوده باشند؟ در حقیقت اگر دی.ان.ا قابلیت داشت که هم مانند یک ملکول اطلاعاتی عمل کند و هم مانند یک آنزیم، در این صورت به نظر می رسد که بدون توسل به فناوری آر.ان.ا باستانی، معمای مرغ و تخم مرغ را حل کرده باشیم. نمی توانیم این احتمال را رد کنیم، ولی این واقعیت که آنزیم های آر.ان.ا نقشی حیاتی در بیوشیمی جدید بازی می کنند، درحالی که هیچ آنزیم دی.ان.ا با منشأ طبیعی تا به حال شناخته نشده است، و علاوه بر آن این حقیقت که بعضی از ویروس ها ژنوم آر.ان.ا دارند، ممکن است شواهدی به نفع فرضیه جهان آر.ان.ا در نظر گرفته شوند. اگر روزی زیست کاتالیزورهای طبیعی دی.ان.ا کشف شوند، ممکن است که احتمال وجود جهان آر.ان.ا نیاز به ارزیابی دوباره پیدا کند.

تفاوت بین آنزیم های دی.ان.ا و آر.ان.ا ممکن است ظریف تر و پیچیده تر از آن باشد که در ابتدای امر به نظر می رسد. برای نمونه، ساختار آنزیم های پروتئین قادرند که جهش های نقطه ای متعددی را در خود جای دهند، بدون این که تغییر عمده ای در ویژگی ها و تسریع کنندگی شان ایجاد شود، درحالی که نوعاً به نظر می رسد جهش های تک نقطه ای در ریبوزیم ها یا دزوکسی ریبوزیم ها، فعالیت کاتالیزور آنها را کاملاً نابود می کند. این باعث می شود که آنزیم های دی.ان.ا و آر.ان.ا بی شکننده تر و نحیف تر ظاهر شوند و در نتیجه کمتر از پروتئین ها قابلیت تکامل داشته باشند. اما، حساسیت این فناوری ها نسبت به تغییرات کوچک ممکن است، امتیازی باشد که از قدیم داشته اند، و این امتیاز زنجیره ها را قادر ساخته در اثر تغییرات حداقل در زنجیره ها، پرش های بلندی در فضای ترکیبات کاتالیزور بردارند. ولی همزمان این عناصر را در مقابل تغییرات تصادفی، بی نهایت شکننده و مستعد تباهی کرده باشد.

بنابراین توانایی آر.ان.ا در فراهم کردن اعمال اطلاعاتی و سوخت و ساز، منحصر به فرد نیست، ولی تا کنون شواهد مستقیمی وجود نداشته که نشان بدهد کوشش های مصنوعی برای وادار کردن دی.ان.ا به نشان دادن رفتاری مشابه آنزیم، ارتباط مستقیمی با رویدادهای تاریخی عامل شکل گیری حیات معاصر دارد. اما، این واقعیت که ویژگی و میل ترکیبی دزوکسی ریبوزیم ها کاملاً به خوبی ریبوزیم هاست، نشان می دهد که تفوق ظاهری مولکول های آر.ان.ا به دی.ان.ا، در ساختارهای اطلاعاتی و سوخت و ساز موجودات اولیه، بیشتر نتیجه قابلیت دسترسی بهتر به آر.ان.ا بوده است تا برتری ذاتی فناوری آر.ان.ا بر دی.ان.ا. اما این امکان نیز وجود دارد که تاریخ، از فناوری تک کلافی دی.ان.ا به دلیل ناتوانی نسبی اش در فراهم کردن دورنمایی که به راحتی و باکفایت توسط فرایندهای طبیعی کاوش شوند، چشم پوشی کرد.

این واقعیت که واکنش جفت بازهای واتسون-کریک در مولکولهای دی.ان.ا و آر.ان.ا به طور شیمیایی در زنجیره های آنها برنامه ریزی شده، دزوکسی ریبوزیم ها و ریبوزیم ها را قادر می سازد ساختمان های تاخوردۀ فشرده ای تشکیل بدهند که از زنجیره های خیلی کوتاه ساخته شده اند. از طرف دیگر، عموماً به نظر می رسد که پروتئین ها برای تشکیل تاخوردگی های پیچیده، به زنجیره های طویل تر آمینو اسید نیاز داشته باشند. از این رو، در حالی که زنجیره های کوتاه پیش زیستی دی.ان.ا و آر.ان.ا، احتمالاً قادر به تولید مخازن انبوهی از فعالیت های کاتالیزور بوده اند، ولی احتمال این که زنجیره های کوتاه آمینو اسید ها نیز قادر به انجام این کار بوده باشند، کم است.

زمانی که از باغ وحش آر.ان.ا خارج می شویم، دروازه های آهنی آن با شدت به هم کوفته و بسته می شوند. هوا آتشین است و نگرهبان باغ وحش که قبلاً لبخندش دوستانه به نظر می آمد، اکنون به نظر کاملاً خبیث و شریر می رسد. پاسپورتمان منقضی شده است و باید از این مکان ناپدید شویم. حروف فلزی که نوشته بود "به باغ وحش آر.ان.ا خوش آمدید" پاک شده اند و با نوارهای فلزی بی شکل جایگزین شده اند. وقتی که باغ وحش آر.ان.ا را ترک می کنیم، جانوران بالقوه آر.ان.ا جیغ می کشند و فش فش می کنند. فریاد های نومیدشان در هوای شامگاهی انعکاس می یابد و در حالی که راهمان را در تاریکی پی می گیریم، ما را دنبال می کند. یک جا، صدای قدم هایی را پشت سرم می شنوم ولی در مقابل این وسوسه که برگردم و پشت سرم را نگاه کنم، مقاومت می کنم. خیلی زود از باغ وحش آر.ان.ا دور می شویم و سایه های بی شکل و فلک

زده موجودات بالقوه آر.ان.ا، تدریجاً در صدای زنجیره‌هایی که تلقی تلقی می‌کنند و پرده نمناک دود، که چشم انداز ما را محومی کند، حل می‌شوند.

توضیحات فصل هفتم

۱- فوسفودی استر

یک پیوند فوسفو دی استر دسته ای از اتصالات کووالانس است بین یک گروه فسفات و دو حلقه هیدرات کربن که ۵ کربن دارند بر روی دو اتصال استر پیوند های فوسفو دی استر برای حیات در روی زمین حیاتی هستند چون آنها ستون فقرات رشته های دی ان ا را می سازند.

۲- میله حلقه Stem-loop یا Hairpin-loop

جفت شدن بازی بین مولکولی شکل میله حلقه طرحی است که می تواند در دی ان ا ی تک کلافی رخ دهد. این ساختار همچنین به عنوان سنجاق سر یا حلقه سنجاق سری نامیده می شود. وقتی که دونا حیه از یک کلاف، معمولاً به صورت مکمل در یک زنجیره نوکلئو تید، در جهت های مخالف خوانده شوند، باز هایشان جفت می شود تا یک ماریپچ دوگانه بسازند که به یک حلقه جفت نشده منتهی می شود. ساختاری که شکل آب نبات چوبی است یک عنصر اساسی از ساختمان ثانوی آر ان ا است.

۳- ریبوزیم Ribozyme

ریبوزیم که از کلمه ریبونوکلیک اسید آنزیم گرفته شده است مولکول RNA ای است که دارای ساختمان ثالث است و می تواند واکنش های شیمیایی را کاتالیز کند.

۴- آت پ ATP (adenosine triphosphate)

شکلی از انرژی ذخیره شده در اندام ها که ترکیب شده است از یک نوکلئو تید با قند ریبوز و سه فسفات

مخلوقات آنالوگ

در ۱۸ دسامبر ۱۸۳۲، چارلز داروین و کاپیتان فیتزروی^۱ ناودریایی بیگل^۲ را ترک کردند و به طرف ساحل راندند. آنها دوروز پیش مونته ویدنو را ترک کرده بودند و اکنون در خلیج گودساسکس، نزدیک نوک جنوبی تیرادل فوگو^۳ در آمریکای جنوبی بودند. هوا، هوایی بود که احساس فرحبخش زمستان انگلیس را می داد ولی این مسئله آنها را منصرف نکرد، برای این که قرار بود دیدار از "وحشی ها" یکی از نقاط جالب سفر آنها باشد. همین طور که داروین مشغول تماشای "موجودات فلک زده" بود، رفتار وحشی و "ادا و اصول زشت و زننده شان" باعث می شد که مثل "اشباح آشفته دنیایی دیگر" به نظر برسند. او همچنین با دیدن بازوی عریان یکی از اعضای گروهش، اظهار کرد که بومی های "فوجیان" شگفتی شان را درست مانند اوران اوتان های باغ وحش ابراز می کنند. "درست حدود ۲ ماه بعد از آن در ۲۴ فوریه، وقتی که در جزایر ولاستون^۴ درست بالای دماغه^۵ در کنار ساحل پهلو گرفتند، داروین با گروه دیگری از بومیان فوجین مواجه شد. او این "وحشی های رام نشده" را کریه یافت و درعین حال مسحور آنان شد. این مردمان از کجا آمده بودند؟ چون گرچه اساساً موجوداتی مشابه بودند ولی در واقع دنیایی اختلاف "بین قوای ذهنی یک وحشی فوجین و سر ایزاک نیوتن" وجود داشت.

داروین از این فکر که جنتمن های عصر ویکتوریا ممکن است از چنین تخمه حقیری انشقاق یافته باشند، به وضوح شوکه شده بود. حقیقتاً شان و مقام انسانهایی که "برهنه و اغلب بدون حفاظ در برابر باد و باران ... روی زمین مرطوب در حال چمبره مانند حیوانات می خوابیدند"، کجا بود؟ او همچنین اندیشید "حدس و گمان راجع به این موضوع زیاد است، که حیوانات پست تر چه لذتی از زندگی می توانند ببرند" اما، "منطقی تر است که این سوال در مورد این بربرها پرسیده شود!" بالاخره با ترک خلیج کوچک وولیا^۶ در ۵ مارس، او اشاره کرد "من معتقدم، در این بخش انتهایی آمریکای جنوبی، انسان از نظر پیشرفت نسبت به همه نقاط دیگر جهان پایین تر است."

در فصل قبلی، این احتمال را مورد مذاقه قرار دادیم که اشکال اولیه حیات ممکن است به جای فناوری دی.ان.ا از آر.ان.ا استفاده کرده باشند. گرچه فرضیه جهان آر.ان.ا در محدوده حدس و گمان باقی می ماند، ولی اکثریت عمده شواهد تجربی اشاره می کنند که چنین جهانی می توانسته است وجود داشته باشد. از این گذشته، جهان آر.ان.ا معمای مرغ و تخم مرغی را که بر پرسش چگونگی آغاز حیات در زمین سایه می افکند، حل می کند. اما قبل از این که فناوری آر.ان.ا، تجارت ساختمان ژن را در انحصار خود بگیرد چه چیزی وجود داشت؟ و "مولکول های وحشی" صاف و ساده فلک زده و محقری که بر جهان آر.ان.ا مقدم بودند چه شکلی بودند؟

^۱ Fitzroy
^۲ Beagle
^۳ Tierra del Fuego
^۴ Fuegian
^۵ Wollaston
^۶ cape horn
^۷ Woolya

شواهد اظهار می دارند که هر تعدادی از ملکول های متفاوت ممکن است اطلاعات را با استفاده از ترفندهای ترکیب شونده ژن های کنونی، به رمز در آورده باشند. ولی تا این تاریخ، آر.ان.ا تنها ملکول شناخته شده اطلاعاتی است که قابلیت تسریع دامنه بزرگی از واکنش های شیمیایی را به روشی مشابه آنزیم ها دارد و هم در بُعد ژنتیک و هم در بُعد سوخت و ساز مشارکت می کند. این مسئله ما را وادار می کند که این احتمال را در نظر بگیریم که حیات با ژنهایی شروع شد که از آر.ان.ا ساخته شده بودند، و نیز این که شجره خانوادگی همه موجودات زنده می تواند تا رسیدن به یک یا چند مولکول آر.ان.ا ی اجدادی، به عقب دنبال شود.

ولی من مایلم احتمال دیگری را در نظر بگیرم، که شاید پذیرش آن سخت تر از تصور ساخته شدن ژنهای اولیه از آر.ان.ا باشد. چه می شد اگر اولین موجودات کلاً فاقد ژن می بودند و به قول استوارت کافمن، " . . . کریستالهای بزرگ غیر متناوبی که یک رمز کوچک را حمل می کنند"، " برای ظهور و تکامل حیات، نه لازم و نه کافی هستند "؟ چه می شد اگر به جای این که ژنها درست از ابتدای حیات حاضر باشند، فقط نوعی نوآوری در فناوری بودند که بعدها ارانه می شدند. در این صورت، ژنها ترکیبی ضروری برای حیات نمی بودند، بلکه زینتی تاریخی بودند. البته معنی این حرف این نیست که اشکال حیات بدون ژن قادر بوده اند به این چنین پیچیدگی دست یابند که در اولاد صاحب ژن آنها مشاهده می شود؛ درحقیقت دلایل خوبی وجود دارد که نشان می دهد چرا موجودات فاقد ژن نخستین، سرانجام با زیست ماشین های ژنتیک جایگزین شدند. ما نیز ممکن است مانند داروین در اولین مواجهه اش با "وحشی ها"، این اندیشه را که موجودات رفیعی مانند خودمان ممکن است چنین آغاز سخفی داشته باشند را، مورد ناسزا و تحقیر قرار بدهیم. در حقیقت ممکن است احساس کنیم که شالوده قطعی بیولوژیک درست زیر پای ما در حال فروپاشی است. با این حال، به این مسائل توجه خواهیم کرد و در این راستا، مانند داروین به جایی می خواهیم رسید، که تشخیص دهیم نیاکان فرضی فاقد ژن ما احتمالاً پیچیده تر و پیراسته از آن چیزی هستند که ما بتوانیم تصور کنیم .

مکانی که به زودی وارد آن می شویم جایی بسیار بیگانه تر از جهان آر.ان.ا است. چون، حداقل، ژنهای آر.ان.ا از منطق ضروری دیجیتال قالبی همتایان مبتنی بر دی.ان.ا خود تقلید کرده بود. از این گذشته، برخلاف جهان آر.ان.ا، احتمالاً بیشتر شواهد مولکولی فسیلی مربوط به این دوره فرضی تاریخ حیات پاک شده است. تنها راهی که ابتدائاً ما را قادر به احیاء این دنیای فرضی مبهم و معمایی، که موجودات بدون ژن در آن سکنی داشتند، می کند، کمک گرفتن از کامپیوتر هاست.

وجود آن چیزی که من جهان بدون ژن می نامم کاملاً فرضی است. برعکس فرضیه جهان آر.ان.ا که بر بنیان های تجربی محکم قرار گرفته است، فرضیه جهان بدون ژن فقط بر نظریه و بنیان های تجربی تکیه پاره و سطحی قرار گرفته است. گرچه، این دلایل، به اندازه کافی برای اثبات وجود دوران بدون ژنی که مقدم بر آغاز اولین موجودات ژنتیک هستند، مجاب کننده اند. از این گذشته، گرچه شواهد آزمایشگاهی زیادی وجود ندارد که نشان دهد این فرضیه از نظر بیولوژیک محتمل است، ولی به سادگی می تواند منعکس کننده این واقعیت باشد که هنوز آزمایش های مناسب انجام نشده اند. درحقیقت اگر فرضیه جهان بدون ژن قابل آزمایش نبود، این مسئله بیشتر جای نگرانی داشت .

قبل از آزمایش ماهیت و ساختمان جهان بدون ژن و نظریه های حامی آن، لازم خواهد بود که برخی از واژه هایمان را توضیح دهیم. معقول به نظر می رسد که منظورمان از واژه "ژن" را بررسی کنیم . قبلاً دیده ایم که ژنها ممکن است در بیش از یک فناوری تحقق یابند، بنابراین آشکار است که لازم نیست ، نه دی.ان.ا و نه آر.ان.ا، قسمتی از تعریف را تشکیل بدهند. چیزی که نیاز داریم تعریفی کلی تر است که چکیده منطقی ژن را بستاند. می توان اظهار کرد که ژن عبارت است از : (۱) پلیمرهای شیمیایی مجزا که (۲) اطلاعات را از طریق روش ترکیب شونده ای که زنجیره های یگانه نمادهای گسسته دیجیتال را به کار می گیرد، به رمز در می آورد و (۳) می تواند با یا بدون کمک دیگر مواد شیمیایی پیچیده خودش را تکثیر کند. (۴) تکثیر آنها اصولی از نسخه برداری مکمل قالبی را در هم می آمیزد که به موجب آن (۵) اطلاعات زنجیره ها باید حفظ شود، به این منظور که محصولات تکثیر شده در جوهر و اصل ساختار اطلاعاتی والدین سهیم باشند ولی (۶) برخی اوقات تغییر جزئی و

بعضاً بزرگ، به طور تصادفی یا نیمه تصادفی توسط رویدادهایی چون جابه جایی، حذف، اضافه کردن و بازترکیب نمادهای دیجیتال سازنده آنها، در ساختار اطلاعاتی شان وارد می شود. (۷) میزان تغییراتی که وارد زنجیره های دیجیتال می شوند و تثبیت می شوند باید بسیار دقیق تنظیم شده باشد، یا مقدار آن به طور طبیعی زیرآستانه مشخصی باشد، تا توازن بین حفظ یکپارچگی ساختارهای اطلاعاتی قبلی و تولید اطلاعات جدید نگهدارد، (۸) یعنی اطلاعاتی که هزاران گاه قابلیت بقا ژنها را تغییر می دهد، تا ژنهای فرزند با کفایت بیشتری در نسل بعدی ظهور کنند و گروه ژنها به مرور زمان تحول یابد. (۹) گرچه بعضی از زنجیره های دیجیتال ممکن است در نتیجه ترکیب شیمیایی شان، نسبت به دیگر زنجیره ها امتیاز بقا بی کم و کاستی داشته باشند، ولی مفهوم بیولوژیک آنها، در طراحی یک بعدی که نمادها را نظم داده، رمز دار شده است. این اطلاعات مجرد نمادین، با رمزگشایی بیرونی و ترجمه، آشکار می شوند. بنابراین، ژنها علاوه بر بُعد نحوی و دستوری^۸، دارای بُعد معنا شناختی^۹ نیز هستند. یعنی، اجازه می دهند که ساختار یک بُعدی نوشته شده در دی.ان.ا، به ساختمانی سه بعدی که به زبان آمینواسیدها نوشته شده، ترجمه شود. (۱۰) به این ترتیب ژنها رمزگذاران مولکولی هستند که در آنها اطلاعات بیولوژیک به طور سیستماتیک به رمز در می آیند. ژنها مرکز اطلاعات اصلی را تشکیل می دهند که برنامه های مشخص کننده ساختمان دینامیک موجودات زنده، از آنجا به کار انداخته می شوند. (۱۱) آنها همچنین قادر به فشرده سازی اطلاعات هستند.

از این رو، یک منبع متناهی و کوچک از نمادهای دیجیتال گسسته، می تواند طبق رمزی ساده و با روشی منحصر به فرد ترکیب شود، و دامنه ای از مفهوم های ژنتیک بالقوه نامتناهی تولید کند. ظرفیت استفاده نامتناهی از وسایل متناهی با استفاده از احتمالات ترکیبی، صفت بارز روش های کسب، ذخیره و انتقال اطلاعات دیجیتال ژنتیک است. در ژنهای ساخته شده از آر.ان.ا، اطلاعات زنجیره اصلی به همان زبان آر.ان.ا ای بیان می شود که توسط آن به رمز در آمده است و نیازی به دستگاه ترجمه ندارد. زنجیره خطی آر.ان.ا، خود، قوانینی مربوط به تاخوردگی دارد که به مولکولهای آر.ان.ا اجازه می دهد ساختمان پیچیده سه بعدی تشکیل دهند. با توجه به تعریف بالا، می توان منطقاً استدلال کرد که زنجیره های خود تکثیر آر.ان.ا ای که پروتئین ها را به رمز در نمی آوردند ژنهای واقعی نبودند، و زنجیره های آر.ان.ا ای که ریبوزیم های اولین موجودات فرضی مبتنی بر آر.ان.ا ی ساکن جهان آر.ان.ا را به رمز در می آوردند، فقط زمانی ژن واقعی شدند که ظرفیت رمزگذاری و سازوکار ترجمه همراه آن ونیز دستگاهی برای ساخت پروتئین ها را به کار بردند. نتیجتاً، ممکن است مایل باشیم که جهان آر.ان.ا را به دوران اولیه غیر ژنتیک و دوران انتقالی بعدی ژنتیک تقسیم کنیم که، در طی آن، سوخت و ساز مخلوقات آر.ان.ا شروع به آمیختن عناصر پروتئین رمزدار کرد. و اگر بخواهیم دقیق تر بیان کنیم باید آنرا *جهان آر.ان.ا / پروتئین* بنامیم.

ممکن است بخواهیم با کنار گذاشتن نیاز به نسخه برداری قالبی، یا شیمیایی بودن ژنها در طبیعت، تعریف خود از ژن را عمومی تر کنیم. ولی اگر ژنهای مبتنی بر دی.ان.ا، پایه های اطلاعاتی حیات معاصر و نیز بخش عمده ای از حیات کهن را فراهم کرده باشند، به نظر منطقی می رسد که تعریف خود از ژن را، به نحوی که در بالا توضیح دادم، به روشی متمایل به دی.ان.ا محدود کنیم. این رویکرد، همچنین به ما کمک خواهد کرد که تفاوت بین ژن های کلاسیک دی.ان.ا و آر.ان.ا را که بیش از سه میلیارد سال صنعت معیار برای ساخت حیات در تاریخ بوده اند، و عناصر اطلاعاتی فرضی غیر کلاسیک تکثیر یابنده ای را برجسته کنیم، که گرچه تقریباً عملکردی مشابه نمونه های ژن دی.ان.ا و آر.ان.ا دارند ولی احتمالاً به روش های بسیار متفاوتی ساخته شده اند.

اینک تعریفی ابتدایی از ژن را مورد ملاحظه قرار می دهیم که مناسب نیاز های فعلی ما است. با فرموله کردن این تعریف، برای فضایی فرضی که آن را *فضای همه ژن های ممکن* می نامیم، رمز ترسیم می کنیم و آن را محدود می کنیم. هر یک از اقلام این فضا باید معیارهای شمولی را که در بالا لحاظ کردیم ارضا کند. برطبق این تعریف می توانیم به درستی

تصمیم بگیریم که، موجودات اولیه آر.ان.ای فاقد سوخت و ساز سمبلیک رمزگذاری شده را، از این مقوله خارج کنیم و فقط آنهایی را ژن به حساب بیاوریم که اطلاعات زنجیره های آر.ان.ا را به زنجیره های پروتئین ترجمه می کنند.

اکنون مایل به اظهار این مطلب هستم که، اولین موجودات زنده، یعنی وحشی های مولکولی فرضی، که بنیان های اطلاعاتی حیات مدرن را بر پا کردند، ممکن است از سازه هایی اطلاعاتی با ماهیت غیر دیجیتال ساخته شده باشند، و مانند اولین موجودات آر.ان.ا، اطلاعات خود را به طور سمبلیک رمزگذاری نمی کردند. تخطی از این دو معیار شمول مهم و حیاتی، چنین عناصری را از مجموعه ممتاز "باشگاه ژن" کنار می گذارد. در این صورت نتیجه می گیریم که اولین موجودات زنده نمی توانسته اند از ژن ساخته شوند. در نهایت، جستجوی کشف در فضای همه دوچرخه های ممکن کاری بی فایده است. به جای این کار بهتر است که فضا یا باغ وحش مناسب خود آن را جستجو کنیم، که میتوان آن را دنیای فاقد ژن یا باغ وحش فاقد ژن بنامیم. با توجه به این که در تعریف خود از ژن، معیار دیجیتال را مستثنی کردیم، ارزش دارد که معنی عبارات دیجیتال و غیر دیجیتال را با تفصیل بیشتر بررسی کنیم.

شاید بهترین راه برای فهم کلمه دیجیتال این باشد که نقیض (آنتی تز) آن را مورد ملاحظه قرار دهیم. یعنی ماشینی که با استفاده از روش آنالوگ، اطلاعات را به دست می آورد، ذخیره می کند و انتقال می دهد. مثال خوبی برای این دستگاه، گرامافون^{۱۰} های بوقی قدیمی و صفحاتی است که توسط آن پخش می شدند.

انریکو کاروزو^{۱۱} ی خواننده در ۱۸۳۸ در ناپل متولد شد و پانزدهمین فرزند خانواده ای بود که ۲۰ فرزند داشتند. او از بزرگترین خوانندگان تنوری بود که تا به حال زیسته اند. می گویند هنگام تماشای اولین اجرای اصلی او در نقش رودولفو در اپرای لایوهم، پوچینی آهنگساز که نمایش را برگزار می کرد، از پشت پیانو بیرون پرید و فریاد زد، "چه کسی تو را برای من فرستاد؟ خدا؟" اجرای کاروزو دنیای اپرا را نورانی کرد. خوشبختانه، البته از نظر ما، آنها با اختراع گرامافون همزمان شدند. کاروزو، قبل از فوت نا بهنگامش در ۴۹ سالگی، بیش از ۲۶۰ عنوان صفحه ضبط کرده بود.

اختراع صفحه گرامافون توسط امیل برلینر^{۱۲} این امکان را فراهم کرد که رویدادهای موسیقی برای آیندگان ضبط شوند. درحقیقت اگر کسی گرامافون بوقی داشته باشد، هنوز هم می تواند صدای جادویی کاروزو را، که تا ابد جاودان شده است، درون شیارهای پیچیده نقش بسته در بخش های مدور صفحات پلاستیکی سیاه بازسازی کند. گرامافون بوقی و صفحات قابل پخش کاروزو، در مقام سفرایی از خود این خواننده تنور برجسته هستند. دستگاه، با تقلید کاروزو، جنبه های مشخصی از شبیح او را به اتاق پذیرایی ما می آورد. ولی اینک اجازه دهید فرض کنیم که شانس آنرا داریم که یک گرامافون بوقی قدیمی پیدا کنیم. وقتی به منزل می رسیم صفحه ای خاک آلود از کاروزو را از جلدش بیرون می آوریم، دستگاه را به چرخش در می آوریم تا بخواند. همین طور که در صندلی راحتی دراز می کشیم و آرام می گیریم، هوا برای مدت ۴ دقیقه و نیم با ویژگی های فراموش ناشدنی صدای کاروزو پر می شود.

اولین دستگاه سخنگوی قادر به ضبط و تولید دوباره صدا در سال ۱۸۷۷ توسط توماس ادیسون اختراع شد. در دستگاه ادیسون، ارتعاشات هوا که مبنای احساس صدا هستند به شکل فرورفتگی هایی نمایش داده می شوند که با سوزنی متصل به پرده ای مرتعش، سطح ورق قلعی را که دور یک استوانه چرخان پیچیده شده، خراش می دهد. اطلاعات متغیر و پیوسته صوت، که توسط تغییرات مشابه در عمق فرورفتگی ها به رمز در می آید، با طرحی مارپیچی در سطح ورق قلع رسم می شوند. فناوری گرامافون امیل برلینر که تا انتهای قرن ۱۹ توسط دستگاه سخنگوی ادیسون جایگزین شد، استوانه قلع چرخان را با یک صفحه صاف از جنس روی که با لایه ای از موم پوشیده شده بود، جایگزین کرد. فرآیندی که توسط آن

^{۱۰} (۱*)

^{۱۱} Enrico Caruso (۲*)

^{۱۲} Emile Berliner

اطلاعات مربوط به اجراهای تاریخی کاروزو، روی یک صفحه گرامافون در زمان منجمد و جاودانی شد را می توان به روش زیر درک کرد.

کاروزوی خواننده، نزدیک بوق یک دستگاه ضبط کننده مخروط شکل می ایستاد که، این دستگاه ارتعاشات هوای ایجاد شده توسط تارهای صوتی مرتعش خواننده را جمع آوری و در دیافراگمی واقع در نوک بوق، متمرکز می کرد. دیافراگم، همساز با اختلالات هوا، با رفتاری که منعکس کننده دامنه و فرکانس صوت داخل شونده بود، ارتعاش می کرد. سوزن تیز متصل به دیافراگم، این ارتعاشات را به شیار مارپیچی موجداری تبدیل می کرد و آنها را بر پوشش مومی صفحه روی، حک می کرد. قبل از سال ۱۹۰۰، اطلاعات مربوط به صوت، در عمق شیارها به رمز در می آمد، و پس از آن، به شکل مسیرهای کج و معوج عرضی در شیارهایی با عمق ثابت حک می شد. بعد از پایان ضبط، صفحه منقش در حمام اسید فرو برده می شد. اسید فقط در نقاطی که سوزن لایه محافظ مومی صفحه را زدوده بود فرو می رفت. این نسخه اصلی صفحه حکاکی شده با اسید، تاریخی و سابقه ای دائمی و ماندنی از اطلاعات صوتی تولید شده در هنگام اجرای اثر بود.

صفحه اصلی "مثبت" برای ساختن یک قالب مسی "منفی" که دستگاه قالب زنی یا چاپ نام داشت، استفاده می شد. در این دستگاه، شیارهای صفحه "مثبت" از جنس روی، دقیقاً با برآمدگی منحنی های پیوسته متناظر نمایش داده می شدند. سپس این قالب در یک پرس قالب گیری پلاستیک، برای تولید انبوه صفحه های پلاستیکی تقریباً یکسان "مثبت"، استفاده می شد (که فرزند قالب اصلی بودند). اگر بیش از صد نسخه فرزند مورد نیاز بود، از دستگاه چاپ برای ساختن یک صفحه "مثبت" مسی استفاده می شد که به آن نسخه مادر می گفتند. از این نسخه برای ساختن نسل دوم دستگاه های چاپ استفاده می شد که برای تولید صفحه های پلاستیکی به کار می رفتند. به این طریق، هزاران نسخه از صفحه اصلی روی، می توانست بدون این که کیفیت اطلاعات در صفحه های فرزند، افت زیادی داشته باشد، ساخته شود، چون هر دستگاه چاپی که علانی از خرابی نشان می داد، فوراً جایگزین می شد.

سوزن الماس یا یاقوت کبود روی یک دستگاه گرامافون، قادر است به طور مکانیکی به حافظه صوتی حک شده در شیار مارپیچی سطح صفحه گرامافون دست پیدا کند و طرحهای ارتعاش صوتی حاضر در زمان ضبط صدا را بازسازی کند. این کار با ترجمه اطلاعات داخل خطوط شیارها، به ارتعاشات مکانیکی سوزن، حاصل می شود. این ارتعاشات بعداً به ارتعاشات دیافراگم گرامافون ترجمه می شوند که آن نیز به نوبه خود ارتعاشاتی در هوای پیرامون به وجود می آورد. سپس این ارتعاشات دوباره توسط بوق یا شپیور تقویت می شوند. در دستگاه های گرامافون الکتریکی، سوزن به مغناطیسی متصل است که با سیم پیچ احاطه شده است. تکان های سوزن در شیارهای مارپیچ، در مغناطیس تکان تولید می کند که آن هم جریان متناظری را در سیم پیچ ها القاء می کند.

شایان توجه است که برای بازسازی جنبه هایی از اطلاعات شنیداری حاضر در زمان ضبط، گرامافون های کوکی و همتایان الکتریکی آنها ناقص عمل می کنند، ولی با این وجود، برای سفری در زمان، درون فضای فرضی فضای همه اطلاعات صوتی ممکن یا فضای صوت، این دستگاه ها موتورهای قابل قبولی هستند. اگر می توانستیم اطلاعات شنیداری حاضر در زمان اجرای یک قطعه موسیقی را بگیریم و عیناً بازسازی کنیم، در این صورت واقعاً شنونده احساس می کرد که در زمان و در بُعد صوت در حال سفر است. این تجربه، ممکن است حالت غیر معمول ولی در عین حال قابل قبولی از سفر در زمان را ارائه بدهد، چون فضای صوت خارج از زمان قرار دارد. زمان در این مفهوم فقط چوب ذرعی است که می تواند تحقق فضای صوت را بسنجد، یا مانند میخی است که رویدادهای تاریخی مجاز می توانند روی آن آویزان شوند؛ درست مانند کلاه هایی که در یک رختکن عظیم در چند ردیف روی هم چیده شده اند.

سفر در فضای صوت، با تولید اطلاعاتی شنیداری که به اندازه کافی پیچیده اند تا بتوانند نواحی مختلف فضای صوت را تقلید کنند، حاصل می شود. این تقلید را نمی توان با دقت بی نهایت انجام داد، ولی این مسئله مهم نیست، چون، اگر ساختمان اطلاعات مورد نظر و تقلیدی که از آن می شود، از هم غیر قابل تشخیص باشند، می توانند در بسیاری از موارد یکسان در نظر

گرفته شوند. اما، مهم این است که درجه وضوح رونوشت بیشتر از وضوح دستگاهی است که برای نمایش اطلاعات آن به کار می رود. سلولهای مو در گوش انسان به اصواتی با فرکانس بین ۲۰ و ۲۰،۰۰۰ هرتز حساس است. گرچه ارتعاشات تارهای صوتی کاروزو ممکن است صدایی با فرکانس بیشتر از ۲۰،۰۰۰ هرتز تولید کند، ولی برای گوش انسان قابل شنیدن نیست. اما ممکن است گوش گربه یا سگی را که در حال عبور است، بیازارد. بنابراین در حالی که توصیف کامل اطلاعات شنیداری ممکن است نیازمند شمول فرکانس های ماورای صوت (بالای ۲۰،۰۰۰ هرتز) و مادون صوت (زیر ۱۰ هرتز) باشد، ولی این وجوه صوت، در تجربه شنیداری انسان نمی گنجد و بنابراین می توانند حذف شوند و توصیفی فشرده به وجود آورند.

چون فضای صوت فضایی فرضی و نامتناهی است و شامل توصیفاتی از همه رویدادهای شنیداری ممکن از گذشته، حال و آینده است، مانند صندوق گنجی حاوی بدایع و نوادر است. برای مثال، در قسمتی از این فضا که برچسب فضای تاریخی صوت را دارد، ممکن است صدای ژولیوس سزار جوان را ببایم که زمانی در کنار ساحل رود تیبر می دوید و شادمانه آواز می خواند. همچنین می توانیم صحبت های محرمانه بین دسیسه چین های توطئه پارت را استراق سمع کنیم، یا به طور تصادفی فریاد یک دودو را بشنویم، یا طعمه ای صوتی در روی دیوار پناهگاه هیتلر باشیم. همین طور می توانیم با نوعی از نواحی مواجه شویم که "مجموعه کامل اصوات ممکن را که هرگز اتفاق نیفتاده است" دربر می گیرد. این مکان می تواند مکالمه هایی را که همیشه آرزو داشتیم انجام شود، آوازی را که هرگز خوانده نشد و خنده های سرداده نشده را ببایم.

ولی این اصوات با معنی جزیره مانند، ستاره هایی هستند که در دریایی از اصوات ناهنجار و گوشخراش چشمک می زنند. حتی برای یافتن یک آوای بامعنی سلیس، باید از پهنه های گسترده ای از اصوات ناخوشایند عبور کنیم. البته تعریف نوفه و همهمه، بستگی به تفکر شخص دارد و اصوات ناخوشایند امروز، ممکن است فردا موسیقی خوش آهنگی به نظر بیاید. ما باید سفرهایی را برای جستجو در فضای صوت سازمان بدهیم که اطلاعات مجموعه کامل اجراهای کاروزو را بازیابی کند. ماجراجویان فرهیخته تر نیز ممکن است در جستجوی جلسات تمرین کاروزو باشند، یا این که "فضای همه اجراهای ممکن کاروزو" را به دنبال مواردی که در تاریخ تحقق نیافته اند جستجو کنند. اما چون فضای جستجو بینهایت بزرگ است و لزوماً همبسته نیست، این کار شبیه جستجوی یک مولکول آب در اقیانوسی بیکران است. بنابراین چنین جستجوهای قابل قبول اند ولی در عین حال، تا وقتی که الگوریتم های مناسب جهت جستجوساخته شود، قابل اجرا نیستند.

اختراع اولین آمپلی فایر (تقویت کننده) لوله خلاء درست قبل از جنگ جهانی اول، انتقال از دوران ضبط صوت با روش آکوستیک (آوایی) را، به روش ضبط الکترونیک میسر کرد. در طول زمان، گرامافونهای اولیه آکوستیک با دستگاه های الکتریکی که دقت فزاینده ای داشتند جایگزین شدند. بسیاری از انگیزه های اولیه برای نوآوری تکنولوژیک در دستگاه گرامافون، ناشی از رقابت با برنامه های عمومی پخش شده از رادیو در ۱۹۱۹ بود. در سیستم جدید ضبط، میکروفون برای ترجمه صوت به نوسانات ولتاژی که متناسب با فرکانس و دامنه صوت ورودی بود، استفاده می شد. سپس این نوسانات به آمپلی فایر خورنده می شدند.

ارانه بلندگوهای دینامیک در ۱۹۲۵، نیاز به بوق های کم بازده و بی قواره را از بین برد، چون موتورهای الکتریکی دیگر نیاز به کوک کردن نداشتند. در ۱۹۴۸ شرکت صفحه کلمبیا اولین صفحه های ۳۳ دور را ارانه کرد (LP). این صفحات از وینیل ساخته شده بودند و به جای سرعت استاندارد ۷۸ دور در دقیقه (rpm)، با سرعت ۳۳/۳ دور در دقیقه پخش می کردند. ریزشیارهای ظریفی در سطح صفحه تراشیده شده بودند که امکان ذخیره اطلاعات بیشتری را در هر واحد از فضای دیسک فراهم می آورد و اجازه می داد که زمان هر قطعه موسیقی از مقدار استاندارد ۴ دقیقه و نیم، به حدود سی دقیقه در هر طرف صفحه برسد. اولین سیستم های تجاری قابل دسترسی استریوفونیک در ۱۹۵۸ ارانه شدند. در دهه های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ نسل جدیدی از مشتاقان دستگاههای گیرنده عالی و خوش صدا (hi-fi) ظهور کردند. این افراد پا را از حد فراتر می گذاشتند تا اصوات را به طور کامل بازسازی کنند. روش آنها عبارت بود از وررفتن با اجزاء الکترونیک و ترکیب و تطبیق دادن گردونه گرامافون، آمپلی فایر و بلندگوها برای این که بهترین صدای ممکن را تولید کنند.

گرچه محدود گرامافون باقیمانده، دستخوش تغییرات عمده ای نسبت به اولین روزهای ساخت دستگاههای کوکی شده اند، ولی منطق آنالوگی که اساس کار آنهاست همان جور باقی مانده است. فرآیندهای آنالوگ ذخیره اطلاعات، استفاده و انتقال آنها، سابقه فیزیکی دائمی یا نمایشی از اطلاعات مورد نظر ایجاد می کند که کاملاً شبیه و قابل قیاس با ساختمان اطلاعاتی آن است. اطلاعات اندوخته در این شکل نمایش فیزیکی، با عمل مکانیکی بازیابی می شود. هرچه تناظر بین نمایش آنالوگ مورد نظر و خود اطلاعات بیشتر باشد، و هر چه دستگاه کارآمدتر باشد، کیفیت صدای بازتولید شده بهتر است. در ضبط آنالوگ ایده آل، نمایش فیزیکی اطلاعات منتشر شده از منبع صدا، رونوشت دقیقی از همان اطلاعات خواهد بود. یک دستگاه کامل آنالوگ، به همه نوسانات امواج صدا در یک اجرا، که به فواصل زمانی نامحدودی تقسیم شده حساس است. در یک دستگاه کامل الکتریکی، این مقدارهای بی نهایت دقیق که در فواصل بینهایت کوچک زمان تغییر می کنند، می توانند به مجموعه ای از ولتاژهای بی نهایت کوچک ترجمه شوند. سپس مقدار بینهایت دقیق یک ولتاژ نوسانی درسیم خروجی میکروفون، در هر لحظه بینهایت کوچک، به مقدار فیزیکی بی نهایت متغیری ترجمه می شود. در یک صفحه گرامافون، این مقدار فیزیکی کوچک می تواند عمق یا عرض شیار حک شده روی صفحه مادر است. در یک ماده ایده آل، برای این که تفاوت های بینهایت کوچک میان مقادیر عددی ولتاژها، عیناً به تغییرات بی نهایت کوچک متناظر در شیارهای حک شونده صفحه مادر منعکس شوند، عمق و عرض شیارها بی نهایت متغیر خواهند بود. در این صورت، سوزن یک گرامافون ایده آل باید نسبت به مجموعه نامتناهی اندازه های عرض و عمق شیارها در هر نقطه، بی نهایت حساس باشد.

هرگونه ضبط صدا توسط یک دستگاه ایده آل آنالوگ، یک کانال ارتباطی تقریباً کامل بین آوازخوان و شنونده فراهم می کند. ولی حتی یک کانال ارتباطی ایده آل می تواند فقط خیال و تصویری قابل قبول از یک اجرای تاریخی باشد. دلایل زیادی برای این مسئله موجود است، که شامل این حقیقت نیز می شود که میکروفون ها، برعکس گوش انسان، گزینشی نمی شنوند و هم به صدای موردنظر و هم به همه های پیرامون آن حساسند. از این گذشته، بلندگوهای به کار رفته برای بازسازی صدای ضبط شده، به درون فضای اکوستیکی که کاملاً محصور تر از منبع اصلی صداست، پراکنده می شوند.

صفحات گرامافون صدا و جذابیت خاص خود را دارند. صفحه تازه چاپ شده ای که با تکنولوژی جدید پخش شود ممکن است صدا را با دقتی بیشتر از همه دستگاه دیگر بازسازی کند. روش های آنالوگ ذخیره، بازتولید و تکثیر اطلاعات محدودیت های مشخصی دارند و آرزوی یک کانال ارتباطی آنالوگ کامل برای همه اهداف عملی، قابل تحقق نیست. این محدودیت ها هم از طبیعت مکانیکی دستگاه آنالوگ سرچشمه می گیرد و هم از روشی که این دستگاهها سعی می کنند اطلاعات مورد نظر را با جزئیات نامحدود توصیف کنند. خوب است که برخی از این محدودیت ها را بررسی کنیم تا بعداً بتوانیم سیستم های بیولوژیکی بدون ژن آنالوگ را با همتایان دیجیتال ژنتیک کنونی شان مقایسه کنیم.

سیستم های آنالوگ، متغیرهای فیزیکی مانند ولتاژ یا شکل یک شیار را برای نمایش اطلاعات به کار می برند. در این سیستم ها، لازم است که فرآیندی مکانیکی بین اطلاعات و نمایش فیزیکی آن میانجیگری کند. فرآیندهای مکانیکی مطلقاً ناقص هستند. احتمال دارد که درکانال ارتباطی بین منبع و گیرنده اطلاعات، همه (نویز) وارد شود و یا این که اطلاعات سیگنال تحریف شود. و این مسئله به درستی و دقت فرآیند حصول، ذخیره و بازتولید اطلاعات در این دستگاهها آسیب می رساند. ریشه این نوبه (نویز) و تحریف را می توان با بررسی فرآیندهای تولید کننده کانال های مخابره اطلاعات درک کرد.

در فناوری گرامافون، اطلاعات صدا توسط فرآیندی مکانیکی به نمایشی فیزیکی ترجمه می شود. دقت این نمایش هم با کارآمدی عمل ترجمه و هم با رسانه ذخیره محدود می شود. گرچه اصولاً همه مقادیر را می توان نمایش داد ولی در عمل سوزن ضبط کننده، دقت محدودی دارد و نمی تواند مقادیری را که تفاوت بسیار کمی از هم دارند، تمیز دهد. قابلیت اعطای صافه مادر نیز دقت فرآیند را محدود می کند. به این ترتیب، هم ابزار ترجمه و هم وسیله ذخیره سازی، در عدم نمایش ایده آل اختلافات جزئی موجود بین اجزاء اطلاعات، مقصرند.

در بسیاری از نقاط دیگر سیستم هم، نوفه و کم دقتی می تواند وارد می شود؛ در یک دستگاه بی عیب و نقص مکانیسم موتوری که صفحه را می گرداند، باید بدون صدا و بدون ارتعاش باشد و با سرعت ثابتی حرکت کند؛ بازویی که سوزن را نگهداشته است باید کاملاً متعادل و متوازن باشد تا حرکت سوزن بدون اصطکاک صورت گیرد و فقط از شکل شیار تاثیر پذیرد؛ گذشته از این، بازو باید تحت تاثیر لرزش های سوزن قرار نگیرد و برای جبران تمایل سوزن به سر خوردن و با توجه به این مسئله تنظیم شود که سوزن، کناره داخلی شیار را بیشتر فشار می دهد تا کناره خارجی آن. همچنین، عوامل بسیار دیگری نیز مانند نیروی اینرسی (لختی)، که نتیجه بالا و پایین رفتن های بازو است، نیز نیاز به توجه دارد. هم چنین، دستگاهها در اثر استفاده زیاد، تمایل به خرابی و پایین آوردن راندمان خود دارند. این نوع عوامل همچنین به دقت اطلاعاتی که در دستگاههای آنالوگ به دست می آید، ذخیره و مجدداً تولید می شود آسیب می رسانند.

در سیستم های آنالوگ، نوفه و کاهش دقت نتایج عمیقی در دقت و درستی تکثیر اطلاعات آنها دارد. به مرور زمان، اطلاعاتی که در آنها جریان دارد، اضمحلال می یابد تا جایی که سیگنال از نوفه زمینه غیرقابل تشخیص می شود. ماهیت ناقص تکثیر اطلاعات در این سیستم ها، تعداد نسل هایی را که اطلاعات می تواند در طول آنها به درستی انتقال یابد، محدود می کند. تکثیر اطلاعات در سیستم های آنالوگ، شبیه فتوکپی گرفتن از عکس است و بعد، گرفتن فتوکپی از فتوکپی اول و متعاقباً فتوکپی های پی در پی از فتوکپی ها. بعد از چند نسل، اطلاعات ساختار مادر چنان دچار تغییر می شود که دیگر قابل شناسایی نیست. در مورد صفحه های گرامافون، طبیعت ناقص و غیر مستقیم فرآیند تکثیر اطلاعات صفحه مادر، به این معنی است که حتی نسخه های فرزند جدیدی که به خوبی چاپ شده اند نیز، هیچوقت رونوشت های دقیق و کاملی از صفحه مادر نیستند. شبیه سازی کامل آنالوگ، در حقیقت از نظر اصولی نیز انجام پذیر نیست، چون برای داشتن کپی دقیقی از مادر، شبیه سازی باید از دقتی بی نهایت برخوردار باشد.

صفحه های پلاستیکی خود نمی توانند به عنوان قالبی برای تولید فرزندان استفاده شوند. اگر قالب پلاستیکی مثبت برای بازتولید استفاده شود، اولین نسل فرزندان کاملاً با نسخه اصلی متفاوت خواهند بود. تنها راه ساختن فرزندان دقیق، این است که نسخه هایی با استفاده از مدل اصلی چاپ کنیم. گرچه اولین نسل نسخه های قالب اصلی ممکن است نسخه های دقیقی باشند، ولی بعد از دو، سه و یا چندین نسل قالب گیری، حتی مدل اصلی نیز ممکن است فرسوده و ساییده شود و اطلاعات آن تحلیل برود. اگر مدل اصلی مثبت خراب یا گم شود، هیچ ساختار مرجعی وجود ندارد که اطلاعات منحنی شده قالب اصلی را بتوان با آن مقایسه کرد. اگر (برای مثال) صفحات کاروزو بعد از تولید چند هزار صفحه از مد می افتاد، این مسئله ممکن بود مهم نباشد؛ ولی اگر کاروزو هزاران سال مد می بود، صفحاتش سرانجام به شکلی غیر قابل شناسایی از ریخت می افتاد. همچنین اگر این اطلاعات مفقود می شد قابل بازیابی نبود. مشکل بازتولید در طول نسل ها را تا اندازه ای می توان از طریق تولید تعداد زیادی از نسخه های فلزی مادر حل کرد، ولی همیشه محدودیت های اقتصادی و فضایی که برای ذخیره سازی لازم است، مانع این کار می شوند.

اطلاعات اندوخته در محیط های آنالوگ، به خاطر ماهیت نمایش فیزیکی خود، به راحتی آسیب می بینند، یا گم می شوند و به این ترتیب در طول زمان ناپایدارند. مستقل از این که اطلاعات کپی بشوند یا نه، بازتولید متوالی کیفیت پست تری خواهد داشت، چون هسته اطلاعات اصلی تحلیل می رود. اگر سعی کنید صفحه ای را که به سختی خراش داده شده است یا در لفافی پیچیده شده است پخش کنید، متوجه این مسئله می شوید. در سیستم های آنالوگ به خاطر طبیعت پیوسته اطلاعات، آشکار کردن آسیب وارده به آنها و اصلاح شان کارسختی است. از این رو، دقت اطلاعات سیستم های آنالوگ به راحتی با استفاده از ابزارهای تصحیح خطا، حفظ نمی شود. استهلاک موجب تغییرات تصاعدی در نمایش اطلاعات می شود که منجر به تباهی فراینده آن می شود. چون در جریان تباهی، این نوع اطلاعات می توانند به بی نهایت مقدار مختلف تبدیل شوند، آشکارسازی و تصحیح خطا بسیار مشکل است. به این دلیل، اطلاعات اندوخته در سیستم های آنالوگ مستعد آسیب های جبران ناپذیر هستند.

ناپایداری ذاتی اطلاعات آنالوگ، دستگاههای آنالوگ را وسیله ای غیر قابل اتکاء برای ذخیره اطلاعات می کند. اطلاعاتی که به این روش ذخیره می شوند، ظرفیت بسیار کمی برای تحول و تکامل دارند. خطاها در زمینه ای پایدار وارد نمی شوند، چون هر بخش اطلاعات ممکن است در هر لحظه تغییر کند. از این گذشته، نرخ اعمال تغییرات در اطلاعات، نمی تواند توسط سازوکارهای تصحیح خطا، تنظیم یا تعدیل شود. از این رو، سیستم های آنالوگ مستعد خطاهای فاجعه آمیزی هستند که نرخ تغییراتی که در آنها رخ می دهد، بیشتر از نرخ جهش های مطلوب قابل گزینش است. در نتیجه، اطلاعات تحلیل می رود و اطلاعات اصلی سیستم هم نابود می شود. به علاوه، روش های ذخیره اطلاعات آنالوگ فشرده نیستند و بنابراین غیر اقتصادی اند. حتی مقادیر نسبتاً کوچک از اطلاعات، به فضای ذخیره بزرگی نیاز دارند. ظرفیت محدود سیستم های آنالوگ برای ذخیره اطلاعات، نتیجه ماهیت مکانیکی آنها است.

اطلاعات اندوخته در سیستم های آنالوگ انعطاف پذیری کمی دارند. اطلاعات اندوخته در نوعی از نمایش آنالوگ، به راحتی توسط دستگاه دیگری که اطلاعات را در ماده فیزیکی متفاوتی ذخیره می کند قابل دست یابی نیست. نتیجتاً اطلاعات در دستگاههای آنالوگ، ارزی اختصاصی است که به زبان اختصاصی آنالوگ ذخیره شده است. بنابراین دستگاه های آنالوگ نوعی خاص قادر نیستند که با سایر دستگاههای نوع دیگر ارتباط برقرار کنند. اطلاعات و محیط هایی که اطلاعات در آنها نمایش داده می شود از هم مجزا نیستند. از این گذشته، ماهیت فرآیندی که اطلاعات آنالوگ را نمایش می دهد، مقدار اصلاحاتی را که می تواند در آن صورت بگیرد، محدود می کند.

این نکته بار دیگر می تواند با استفاده از گرامافون نشان داده شود. اطلاعات اندوخته در یک صفحه نمی تواند بدون یک دستگاه گرامافون استخراج شود. از این رو، نمایش صوتی که در شیارهای صفحه به رمز درآمده است، زبان خاصی را تشکیل می دهد که برای سایر دستگاهها قابل درک نیست. نتیجتاً، قابلیت تولید صدا که در چین و چروک های سطح صفحه به رمز درآمده است، نمی تواند توسط دستگاههای دیگر انجام پذیرد. در حقیقت بدون دستگاه گرامافونی که زبان موج شیارهای پلاستیکی یا وینیل را به صوت ترجمه کند، صفحه موسیقی چیزی بی فایده ای می بود. به این ترتیب، اطلاعات اندوخته در یک صفحه به رابطه همزیستانه اش با دستگاه گرامافونی که آن را پخش می کند قفل شده است. مثلاً، زبان شیار پلاستیکی یک صفحه، با زبان نوار مغناطیسی یک ضبط صوت ناسازگار است.

نسخه اصلی یک صفحه گرامافون می تواند تکثیر شود ولی نمی تواند ویرایش شود. محتوای اطلاعات اندوخته در شیارها ثابت و تغییر ناپذیر است، گرچه ناگزیر در اثر خواندن و استهلاک خراب می شود. صفحات تکی ممکن است کیفیت شان در اثر ناهمسانی های موجود در فرآیند ساخت متفاوت باشد، ولی همه نسخه های تولید شده در یک نسل، ضرورتاً یکسان هستند. چنین نیست که همه نمایش های آنالوگ اینقدر غیر قابل انعطاف باشند. برای نمونه، نوار مغناطیسی را می توان برید و وصله کرد. اما، دقت این چنین روال ها، توسط طبیعت مکانیکی فرآیندهایی که برای این کار استفاده می شوند، محدود می شود. دستگاههای آنالوگ مخصوص ضبط و بازتولید صوت، مانند گرامافون های بوقی، گرامافونهای با کیفیت و خوش صدا، ضبط صوت های ریل و ضبط صوت های کاست، اکنون توسط دیسک های فشرده دیجیتال، مینی دیسک ها و دستگاههای نوار شنیداری دیجیتال (DAT)^{۱۲} از دور خارج شده اند. این دستگاههای جدید دیجیتال اطلاعات صوتی را به روش کاملاً متفاوتی نسبت به همتایان آنالوگ شان ذخیره می کنند و برای این کار خود را از محدودیت های پردازش آنالوگ اطلاعات آزاد می کنند. برعکس دستگاههای آنالوگ که صوت در حال ضبط را به شکل فیزیکی نمایش می دهند، دستگاههای دیجیتال این کار را نمی کنند. در عوض، ولتاژ پیوسته در حال نوسان میکروفون که مشابه با اطلاعات امواج صوت است در فواصل مجزا نمونه برداری می شود. مقدار ولتاژ در هر لحظه خاص، به مقداری عددی تبدیل می شود که به صورت عددی باینری (دودویی) به رمز در می آید. در زبان باینری هر عدد با یک سری صفر یک و نمایش داده می شود. دستگاههای صوتی دیجیتال جدید از کلمات باینری استفاده می کنند که ترکیباتی حداکثر ۱۶ تایی از صفر و یک ها هستند و قادرند هر مقدار عددی بین صفر تا

^{۱۲} Digital Audio Tape

۶۵،۵۳۶ را نمایش دهند. به این ترتیب، مقادیر ولتاژهای متغیر در طول زمان، مانند پالس‌هایی از عکس‌های لحظه‌ای که از اطلاعات گرفته می‌شود، نمایش داده می‌شوند. این ولتاژها به صورت کلمات باینری به رمز در می‌آیند. پالس‌های کلمات باینری به جای این که کپی صوت مورد نظر باشند، مجموعه‌ای دستورالعمل مجرد برای بازسازی اطلاعات صوت مورد نظر می‌باشند. در نمونه برداری گزینشی از اطلاعات امواج صوتی مورد نظر، دستگاه دیجیتال بخشی از اطلاعات قابل دسترسی را می‌ستاند. با وجود این، تا وقتی که نرخ نمونه برداری معادل یا بیشتر از بالاترین فرکانس صوت مورد نظر باشد، می‌توان از عکس‌های لحظه‌ای دیجیتال برای بازسازی آن استفاده نمود. در حالی که گرامافون اطلاعات صوت را با استفاده از تعداد نامحدودی از مقادیر نمایش می‌دهد، پخش‌کننده‌های دیسک‌های فشرده و دستگاه‌های (DAT)، نمایش اطلاعات را با استفاده از مجموعه کوچکی از مقادیر متناهی انجام می‌دهند. برعکس شیارهای پیوسته یک صفحه، دنبالهٔ علائم صفر و یک که اطلاعات را به روش دیجیتال به رمز درمی‌آورند مجزا و منفصل است. علائم می‌توانند یا حاضر باشند یا غایب، ولی نمی‌توانند مقادیری مابین این دو را بپذیرند.

تکه‌های مجزای اطلاعات دیجیتال می‌توانند برای توصیف همه چیز استفاده شوند. زبان انگلیسی یک مثال خوب برای فرآیند دیجیتال‌کسب، ذخیره و انتقال اطلاعات است. منبع محدودی که شامل ۲۶ حرف دیجیتال الفبای انگلیسی است می‌تواند به روش‌های بینهایت متعددی مرتب شود، تا کتابخانه همه کتابهای ممکن را ایجاد کند، که خوزه لویی بورخس^{۱۴} نویسنده آن را "کتابخانه بابل"^{۱۵} نامیده است. در حقیقت به نظر می‌رسد که هرگز نیازی نیست که دوباره کتابی بنویسیم، چون همه کتابهای ممکن هم اکنون از نقطه نظر ریاضی به صورت مجازی، وجود دارد. اگر می‌خواستیم برنامه‌ای بنویسیم که همه ترکیبات ممکن ۲۶ حرف الفبای انگلیسی را تولید کند و بین رشته‌های حروف نیز فواصلی با هر طول ممکن بگذارد و همه ترکیبات ممکن از علامات نقطه گذاری را هم در بر گیرد، و بعد همه این کتاب‌ها را با چاپگر لیزری در خانه چاپ می‌کردیم، ممکن بود که بخشی از کتابخانه بابل را تولید کنیم. در روی زمین، فضای کافی حتی برای دادن کسری از این کتابخانه و یا زمان و مولکول کافی برای ساختن آن وجود نداشت، ولی این نکته خارج از بحث ماست.

می‌توانیم به کتابخانه بابل مانند یک اثر مصنوعی ریاضی نگاه کنیم. گرچه غالب اشکال ریاضی بالقوه آن ممکن است هرگز واقعیت نیابند، ولی به نظر می‌رسد که این کتابخانه واقعا وجود دارد. از این رو، این فضای ریاضی جایی دیدنی ولی نامرئی است که در خارج وجود دارد و مانند غالب جاهای دیدنی معروف مانند "کولوزیوم"^{۱۶} یا "آبشار ویکتوریا" واقعی است. اگر شخصی به ریاضیات افلاطونی عقیده داشته باشد، در این صورت کتابخانه بابل مکانی است که او واقعا می‌تواند از آن دیدن کند. چنانچه زمانی، مقدار قابل توجهی از کتابخانه بابل چاپ شود، در این صورت می‌توان آثار کامل شکسپیر را درون آن یافت، یا یک انجیل قدیمی، نسخه‌ای از روزنامه تایم به تاریخ ۱۵ می ۴۰۰۴ و تمام کارهای فروید، نیوتن، کیتس، الیوت و هیوم، همچنین همه نسخ دیگر این آثار را. هرچند، اکثریت غالب متون بی‌معنی خواهند بود. درواقع، رگه‌های نازک متون معنی دار، از نظر تعداد، با دریایی از متون بی‌ربط و بی‌معنی قابل مقایسه نیست، و اگر کتابخانه منظم نباشد، هرگز نمی‌توانیم کتابی را که دنبالش می‌گردیم در آن بیابیم، یا تصویری از غنای کتابهایی که در انتظار اکتشاف هستند، داشته باشیم.

واقعا به نظر می‌رسد که هملت شکسپیر میلیاردها سال قبل از تولد شکسپیر می‌زیسته است. شکسپیر برای نوشتن هملت، کاری جز این نکرد که مانند دستگاه گزینش کارآموده‌ای، کپه‌های بی‌پایان مهملات و مزخرفات درون کتابخانه بابل را غربال کرد و گاه گذاری قطعاتی از سخنان منشور از آن بیرون کشید. اگر در ناحیه‌ای از کتابخانه بابل که عنوانش فضای هملت است قرار بگیریم، ممکن است صدها هزار سال طول بکشد تا نسخه اصلی (اورجینال) را از دریای نسخه‌های دیگر تغییر یافته گلچین کنید. برای یافتن کتابی که شامل این جمله باشد "زمان من تقریباً فرارسیده است، زمانی که باید خود را تسلیم شعله‌های

^{۱۴} -Jorge Luis Borges نویسنده آرژانتینی ۱۸۹۹ تا ۱۹۸۶

^{۱۵} -Babble . Library of Babel به معنای پاره است و ممکن است نویسنده کلمه دو پهلویی را استفاده کرده باشد.

^{۱۶} Colosseum آمفی تاتر قدیمی در رم

عذاب دهنده کنم^{۱۶} باید متون بی پایانی را ببیمایم که نسخه هایی شبیه زیر را دارند "زمان می آموست فرارسیده، ون توکام و خود را تسلیم شعله های تورمنتینگ کنم" و "مای روح سیت سلما رسیده است، زمانی که باید خود را به تورمنتینگ و سولفوروس استام رندراپ " و ".....". البته تا جایی که به ادبیات مربوط می شود چیزی که برای یک نفر حکم پوشال را دارد برای نفر دیگر حکم گندم را دارد، و تصور این که محیطی فرهنگی وجود داشته باشد که همه ادبیات نوشته شده به سبک شکسپیر را کریه و نفرت انگیز بدانند، سخت نیست. اما، کتابخانه بابل نسبت به معنی، ارزش و سودمندی متن، که همه اینها توسط کاربر تحمیل می شود، بی تفاوت است. کشف فضای ریاضی همه مغزهای انسانی ممکن توسط تاریخ، کلیدی برای بازکردن در فضایی ریاضی که کتابخانه بابل در آن جای دارد فراهم کرد. دیکنز هم مانند شکسپیر به یک معنا چیزی بیش از یک ماشین کارآمد جهت گزینش نسخه های از پیش موجود اولیورتویست، آرزوهای بزرگ، سرود کریسمس و سایر آثار بزرگ کتابخانه بابل نبود. باوجود این، حتی اگر دیکنز به دنیا نیامده بود، این کتابها به زیستن در وضعیتی که از نظر فیزیکی تحقق نیافته است ادامه می دادند. اگر او بیشتر عمر کرده و کمی بیشتر کار کرده بود، نمونه های بزرگتری از کارهای شبیه دیکنز را می توانست از کتابخانه بابل انتخاب کند.

۲۶ حرف زبان انگلیسی می توانند با یکدیگر جایگزین شوند یا به روش های متفاوتی ترکیب شوند تا معانی مختلفی بدهند، ولی هیچ حرف تنهایی ممکن نیست که مقدار بینابینی داشته باشد. یک "a" فقط یک "a" است و یک "b" فقط یک "b". هیچ حالت میانه ای با "a/b" یا "a/a/b" یا "b/a/b" متناظر نیست. فقط ترکیبات واحدی از a ها و b های مجزا وجود دارد. علاوه بر این، هر کلمه شروع و پایان معینی دارد. از این رو، کلمه "cat" و "sat" در جمله "گربه روی پادری نشست the cat sat on the mat" دو واحد معنادار جدا را نمایش می دهد که می توانند دوباره ترکیب شوند و معنایی که از نظر کیفی کاملاً متفاوت است، بسازند. اما، هر کلمه معنایی از خود را که در فرهنگ لغات است حفظ می کند و برای مثال هیچ حالت میانه ای متناظر نیست با mat/cat ; cat/mat ; یا cat/sat. از این رو، با وجود پیچیدگی های آنالوگی که توسط معنا وارد زبان می شوند، مانند ثن صدای شخص و یا مثلاً این واقعیت که وقتی من کلمه "cat" را به زبان می آورم با محبت به موجودی فکر می کنم که ملقمه ای از گربه هایی است که درحال حاضر دارم مثل داستی، وولی، بلویل و منکس ماچینکای چالاک پیر، در حالی که شما ممکن است از گربه بترسید، ولی ساختار دیجیتال زبان، تبادل مقدار معینی از اطلاعات را بین افراد امکان پذیر می کند. واضح است که هرچه ماهیت اطلاعاتی که رد و بدل می شود بنیادی تر باشد، انتقال آن بدون ابهام راحت تر است.

راهبردهای نمایش دیجیتال اطلاعات از این امتیاز قابل توجه برخوردارند که غالب آنها فاقد محدودیت های ذاتی نمایش های آنالوگ هستند. از این رو اطلاعات اندوخته در سیستم دیجیتال این قابلیت را دارد که نسبت به نوفه و اغتشاش مقاوم باشد و بتواند در طول نسل های مختلف با دقت زیادی تکثیر شود. خطاها می توانند توسط سازوکارهای متخصص غلط گیری برطرف شوند. این سازوکارها اجازه می دهد که اطلاعات به دفعات متعدد بدون این که از دقتشان کاسته شود باز تولید شوند. همچنین، ماهیت دیجیتال اطلاعات اندوخته، انعطاف پذیری آن را تضمین می کند. برای مثال اطلاعات می تواند از یک نوع دستگاه دیجیتال به دستگاهی دیگر انتقال یابد و در کمال مصونیت ویرایش شود. از همه مهم تر این که سازو کارهای ذخیره اطلاعات دیجیتال مایلند توسط فرایندهای تکامل به روز در آیند، که نسخه های متفاوت اطلاعات یکسان را از یکدیگر متمایز می کند.

^{۱۶} My hour is almost come, When I to sulph'rous and tormenting flames
Must render up myself.

فقدان نوبه و اغتشاش در سیستم های دیجیتال از این واقعیت سرچشمه می گیرد که، در دستگاه های دیجیتال هر عدد با یک کلمه دوتایی (باینری) نمایش داده می شود، در حالی که در دستگاه های آنالوگ هر عدد با یک مقدار فیزیکی نمایش داده می شود. این نمایش باینری نیز با دسته ای از نشانگرهای فیزیکی نمایش داده می شود. در یک سی دی پلیر، اجزاء ۰ و ۱ که نشان دهنده موج صوت هستند، در هر لحظه روی فرورفتگی های ظریف سطح دیسک نوری ذخیره می شوند. عمق فرورفتگی معین می کند که یک را نمایش می دهد یا صفر را. در خلال روند ضبط، پالس های باینری اطلاعات که از منبع صوت صادر می شوند، توسط لیزر به طرح مارپیچی فرورفتگی ها ترجمه می شوند. بعد از این که دیسک به رمز در آمد، در یک ماده شیمیایی قلم زنی (تیزاب) فرو برده می شود، که ناحیه های فرورفته توسط اشعه لیزر را، می خورد. برای دست یافتن به دستورالعمل های دیجیتال به منظور بازسازی اطلاعات صوت، اشعه لیزر دستگاه پخش، دیسک را اسکن می کند و شدت های متغیر نور را به علامت دیجیتال تبدیل می کند. سپس مقادیر عددی به رمز در آمده برای بازسازی صوتی با دامنه و فرکانس مناسب استفاده می شوند. در خلال پخش، هیچ چیز سطح دیسک را لمس نمی کند و از این رو، دیسک های فشرده، برخلاف صفحه های گرامافون، در اثر پخش کیفیت خود را از دست نمی دهند. از این گذشته، گرد و خاک و خراش، به طور عمده ای بر کیفیت بازسازی تاثیر نمی گذارند، مگر این که خیلی شدید و سخت باشند. این حقیقت که دستگاه های دیجیتال، اطلاعات را با مجموعه بسیار محدودی از سمبل های مجزا نمایش می دهند، که یا غایب هستند و یا حاضر، ولی نمی توانند مقادیر میانی را اتخاذ کنند، به این معنی است که انتقال اطلاعات از آنها بسیار دقیق و ضرورتاً فارغ از نوبه است. این مسئله با مجموعه مقادیر مدرجی که در نمایش آنالوگ به کار می روند، مغایرت دارد. در حالی که مقدار آنالوگ ۰,۳ می تواند با بی توجهی به مقدار ۰,۳۰۰۰۰۰۱، بلغزد، جهشی که عدد یک را به صفر یا صفر را به یک تغییر می دهد، مستلزم اشتباه بزرگی است که می تواند به راحتی کشف و تصحیح شود.

بنابراین اطلاعات دیجیتال بسیار قوی تر از همتایان آنالوگ خود هستند. مقاومت در برابر خرابی مهم ترین امتیاز روش های رمزگذاری دیجیتال اطلاعات است، چون اجازه می دهد که اطلاعات در طول نسل های زیادی بدون کاهش دقت قابل ملاحظه، تکثیر شوند. انتقال اطلاعات در طول نسل ها مثل بازی نجوای چینی^{۱۸} است. در این بازی اگر دقت پایین باشد، اطلاعات مورد نظر به سرعت روبه انحطاط می گذارند و به نوبه های نامفهوم تبدیل می شوند. هم چنین، درجه خطا در فرآیند تکثیر اطلاعات موجودات زنده، باید به طور جدی کنترل شود. وقتی خطا خیلی زیاد باشد، اطلاعات ارگانیسم به نوبه ای تصادفی کاهش می یابد. اما اگر خطا کم باشد، موجود زنده، منجمد و صلب می شود و نمی تواند راه حل های جدید ژنتیک را برای مواجهه خود با چالش های آینده به میدان بیاورد. فناوری دیجیتال دقتی نزدیک به کمال را فراهم می کند. زمانی که کمال تحقق می یابد، می توان نرخ واقعی خطا را تا حدی تنظیم نمود که با تکامل سازگار باشد. این مسئله با سیستم های آنالوگ متناقض است، چون ساز و کار تصحیح خطا ندارند و نمی توانند مانع از نابودی ساختار اطلاعات در زمان نسبتاً کوتاه شوند.

یک بیت از اطلاعات دیجیتال بسیار انعطاف پذیر تر از همتای آنالوگ اوست. به عنوان مثال، اگر پخش کننده دیسک فشرده با فناوری پیشرفته تری جایگزین شود، اطلاعات اصلی می تواند به دستگاه های جدید انتقال یابد. برخلاف اطلاعات آنالوگ به رمز در آمده در شیارهای یک صفحه که مقدار است خصوصی باقی بماند و فقط توسط گرامافون قابل دست یابی باشد، اطلاعات دیجیتال در قلمروی عمومی است و برای همه دستگاه دیجیتال جهانی قابل دست یابی است. گرچه اطلاعات دیجیتال موجود در نوارهای از نوع DAT مستقیماً نمی توانند توسط سی دی پلیر دست یابی شوند ولی نسخه دیجیتال اصلی می تواند برای ساختن دیسک فشرده مورد استفاده قرار گیرد. این واقعیت که اطلاعات صوتی دیجیتال، مستقل از هر نوع نمایش فیزیکی خاص هستند به آنها اجازه می دهد که به طور گسترده و کار آمد ویرایش شوند. برای مثال ما می توانیم قسمت هایی از سمفونی مالر را در اجرایی از کنسرتو پیاتوی موتزارت به رهبری آنی فیشر^{۱۹} کپی کنیم. معلوم نیست که نتیجه نهایی مورد علاقه ما

^{۱۸} chinese whisper یک بازی چینی که درحین آن پیامی که با نجوا بین عده ای رد و بدل می شود به مرور زمان تحریف می شود. (*۳)
^{۱۹} Annie Fischer

قرارگیرد، ولی باوجود این واضح است که اطلاعاتی که به صورت دیجیتال ذخیره می شود بسیار قابل انعطاف تر و تطبیق پذیر تر از بایگانی های منجمد صفحات آنالوگ است. به این دلیل و بسیاری دلایل دیگر که قبلاً شرح داده ایم، نباید از این که دستگاههای بیولوژیک جدید به این نتیجه رسیده اند که از روش دیجیتال برای نمایش اطلاعات اساسی ضروری خود استفاده کنند حیرت کنیم.

حال که تفاوت بین شیوه های ذخیره اطلاعات آنالوگ و دیجیتال را شرح داده ام مایلیم اظهارکنم که اولین موجودات زنده آنالوگ بودند نه دیجیتال. و اطلاعات آنها با استفاده از راهبردهای دیجیتال ژن و تکثیر قالبی همراه آن و سمبل ها نمایش داده نمی شد بلکه به شکلی غیر مجزا، پراکنده و آنالوگ ذخیره می شد. اما، موفقیت این مخلوقات فرضی بدون ژن، احتمالاً توسط موانع مربوط به فناوری آنالوگ محدود می شده است. از همه مهم تر این که موجودات فرضی بدون ژن، احتمالاً ظرفیت وراثتی ناقصی داشته اند. بعید است که اجداد فرضی آنالوگ موجودات آغازین فاقد ژن، قبل از این که به تدریج ناپدید شوند، قادر به تداوم بخشیدن جوهر اطلاعات خود به بیش از تعداد محدودی نسل های پس از خود بوده باشند. احتمال ساختن گونه های مختلف در اثر جهش همراه با انتخاب نیز ممکن است محدود بوده باشد. این مسئله ممکن است توانایی تغییر اطلاعات سیستم را با استفاده از فرآیندهای کلاسیک داروینی محدود کرده باشد.

مخلوقات فرضی آنالوگ، در غیاب سازو کاری مناسب جهت تداوم بخشیدن به اطلاعات، پیوسته خلق و نابود می شدند. هر خاندان خاص ممکن است بعد از معدودی نسل منقرض شده باشد. اندیشه این که امواج بی دوام متوالی دودمان های آنالوگ قادر بوده باشند فناوری غیر کار آمد و منسوخ آنالوگ خود را دور بیاندازند و آن را با فناوری دیجیتال جایگزین کنند، اغواکننده است. این مخلوقات دیجیتال ابتدایی، با استفاده از پلیمرهای دیجیتال خود-تکثیر برای ذخیره اطلاعات خود، قابلیت ارث بری نامحدود را که علامت و نشانه حیات معاصر است، یعنی قابلیت انتقال اطلاعات به شیوه ای پایدار در طول نسل های متعدد، را به کار گرفتند، تا از این طریق به طور جدی کاوش کنند و مسیر پایداری را در گروهی از فضاها ریاضی حفظ کنند. احتمال دارد که این تازه کارهای دیجیتال پیشرفته، خود توسط موجوداتی که فناوری دیجیتال مبنی بر آر.ان.ا را به کار می بردند، برکنار شده باشند. سرانجام، فناوری ذخیره اطلاعات دیجیتال آر.ان.ا ممکن است خود با موجوداتی که فناوری پسا مدرن دیجیتالی به نام دی.ان.ا را به کار می بردند، جابه جاشده باشد. در ذخیره اطلاعات مبتنی بر دی.ان.ا یک نسخه منفی از کلاف رمز کننده اطلاعات، برای تعیین دقت رویدادهای تکثیر و درستی و صحت انتقال اطلاعات به کار برده می شود. اگر خطاهایی حین عمل تکثیر وارد شده باشند، یا اگر دی.ان.ا آسیب دیده باشد، کلاف منفی قادر است که اطلاعات لازم برای یافتن و تصحیح آنها را فراهم کند.

ولی چگونه می توانیم این موجودات آنالوگ فرضی را از عمق احتمالات پیش از تاریخ احضار کنیم و به زمانی دراز قبل از سرآغاز ژنها چشم بدوزیم؟ اگر موجودات فاقد ژن زمانی وجود داشته اند، در این صورت ساکنین این جهان بدون ژن چگونه ساخته شده اند و قبل از آنها چه بوده است؟ اگر حیات بر روی زمین با ماده غیر زنده آغاز شده باشد، در این صورت تشکیلات آن چگونه از دریای بی نظمی که شامل مواد شیمیایی بی جان است به وجود آمده است؟ در حقیقت، چه چیزی، اولین لحظه حیات روی زمین، یعنی خلق موجود زنده از غیر زنده را شتاب بخشید؟

توضیحات فصل هشتم

۱- گرامافون ادیسون سال ۱۸۹۹



۲- انریکو کاروزو Enrico Caruso

خواننده تنور معروف ایتالیایی ۱۸۷۳-۱۹۲۱

او نمایش های تحسین بر انگیز حماسی و دراماتیک بسیاری در سالن های اپرای اروپا و امریکای شمالی و جنوبی اجرا کرد. از سال ۱۹۰۲ تا ۱۹۲۰ تقریباً ۲۹۰ صفحه از اجراهای او ضبط شد. قبل از ۴۸ سالگی ۸۶۳ اجرا در اپرای متروپولیتن نیویورک داشت.

۳- بازی نجوا (پچ پچ) چینی Chinese whispers

در این بازی اولین بازیکن کلمه ای را با نجوا به بازیکن دوم می گوید. بازیکنان بعدی به نوبه خود کلمه ای را که فکر می کنند شنیده اند به نفر بعدی با نجوا می گویند. آخرین بازیکن کلمه را برای همه گروه با صدای بلند اعلام می کند. معمولاً غلط ها به مرور و در هنگام بازگویی انباشته می شوند و بنابراین کلمه ای که توسط آخرین بازیکن اعلام می شود با اصل آن تفاوت زیادی دارد و گاهی سرگرم کننده است.

این بازی نام های مختلف دارد مانند " تلفن "، " تلفن خراب "، " شایعه " و غیره. علت اطلاق صفت چینی به این بازی نامفهوم بودن زبان چینی برای اروپائیان بوده است.

حیات بدون ژن

اکنون ما در آغاز حیات قرار داریم، در فصل مشترک فیزیک و بیولوژی، شیمی و بیوشیمی. دوره ای پیش از تاریخ که ساختار دقیق آن قابل بازیابی نیست ولی در هر صورت کوشش خواهیم کرد با کنار هم گذاشتن بخش های معقولی که باهم جور هستند، آن را بازسازی کنیم. ولی وقتی که این وظیفه رنج آور را به پایان برسانیم، با آگاهی از این که هنوز در ابتدای راه هستیم مجازات می شویم. چون فقط با اتکاء به تجربه می توانیم از معقول بودن آنچه که بازسازی کرده ایم اطمینان یابیم. از این رو باید برای گمانه زنی های خود در مورد عصری تاریخی که خیلی کم می شناسیم پژوهش بطلبیم، ضمن این که در عین حال تصدیق می کنیم که پیشنهادات مقدماتی ما در مورد چگونگی اوضاع می تواند کمک کند تا بینش نافذ تری پایه گذاری شود.

اجازه دهید که ابتدا بعضی از اجزاء عقلانی را که به سَرهم کردن مدلمان کمک می کند بیازماییم. بعد از انجام این کار، و دمیدن حیات به درون جهان بدون ژن، مبادرت به کالبد شکافی ساکنین فاقد ژن و آنالوگ آن جهان خواهیم کرد. اما، ما به میکروسکوپ، میز کالبد شکافی و چاقوی جراحی روی نخواهیم آورد، بلکه از کامپیوتر استفاده خواهیم کرد. شاید مهم ترین این اجزاء، این اندیشه باشد که پیچیدگی مشاهده شده در ساختمان و تشکیلات موجودات زنده، در جهانی فیزیکی شیمیایی محاط شده اند و اساساً بخشی از آن را تشکیل می دهند. این مسئله منحصر به موجودات زنده نیست ولی جنبه بالقوه ای از رفتار برخی از سیستم ها است. از این رو ما باید بدون مراجعه به عناصری که خارج از چارچوب علم تجربی جدید قرار دارند، قادر به توضیح منشأ موجودات زنده باشیم.

اگر قبول کنیم که عوامل تصادفی زیربنای تولید حیات، قویاً در فیزیک و شیمی ریشه دارند، پس باید با خوشحالی بپذیریم که موجودات زنده، غایتی بیش از ماه نورانی شب تار یا صخره ای در معرض باد و دریا، ندارند. عالم نسبت به وجود اشیاء و رویدادهای خاص بی تفاوت است، حال می خواهند زنده باشند یا غیر زنده. هیچ ذاتی، خواه مطلقاً فیزیکی-شیمیایی باشد یا بیولوژیک، اعتبار یا پذیرش بیشتری نسبت به آن یک ندارد. به محظ این که کیهان پدید آمد، قابلیت همه چیزهای دیگر اجتناب ناپذیر شد. باوجود این نباید تعجب کنیم که سامان موجودات زنده به طور محکم درجهان فیزیکی-شیمیایی ریشه داشته باشد. زیرا قطعا موجودات زنده، بسیار با سنگریزه های ساحل، گیلای شرابی که در دست داریم، یا کتابهای درهم و برهم انباشته شده در قفسه ها، متفاوتند.

این فکر که نظم منحصرأ به قلمرو موجودات زنده محدود شده است، باید کنار گذاشته شود، چون، مثلاً وقتی بچه مدرسه ای بودیم می دیدیم که وقتی تکه نخی را که به انتهای آن یک دانه کریستال چسبانده بودیم در محلول اشباع سولفات مس آویزان می کردیم کریستال های سولفات مس در انتهای نخ تشکیل می شد. این مشاهده هم چنین می توانست مبین این باشد که یک سیستم می تواند بسته به محیطی که با آن مواجه می شود، جنبه های متفاوتی از خودش ارائه دهد. برای مثال مولکولهای سولفات مس می توانند مانند یک محلول ساده فاقد اطلاعات وجود داشته باشند، یا این که خود به خود واحدهای سلولی تکراری را که کریستالها را می سازد، شکل دهند. همچنین ممکن است از هندسه یک دانه برف، که چند لحظه قبل بخار بدون شکل و ساده و فاقد اطلاعات بوده است، یا از تماشای چکیدن روغنی که روی لایه ای از آب می ریزد و خودش را به شکل گویچه های کروی درمی آورد، شگفت زده شویم. ولی هر گونه بصیرتی در مورد منابع طبیعی نظم غیر بیولوژیک که قابل تسری به دنیای فیزیکی-شیمیایی هم باشد، احتمالاً تحت الشعاع قانون دوم ترمودینامیک قرار می گیرد، که بیان می دارد، نظم ذاتاً وجهی ناپایدار و غیر محتمل از دنیای فیزیکی است و سیستم های فیزیکی-شیمیایی تمایل دارند که نظم شان را خود به خود ویران کنند و به وضعیت حداکثر بی نظمی زوال یابند.

ولی با وجود این که موجودات زنده و غیر زنده، هر دو اطلاعات تولید می کنند، بسیار با یکدیگر متفاوتند. هرچند، یافتن این تفاوت ها به روشی بدون ابهام، کار ساده ای نیست. پس ما انصراف می دهیم و اظهار می کنیم که حیات ممکن است فقط درون قلمروی پیچیده ای از فضای همه رفتارهای ممکن همه سیستم های فیزیکی شیمیایی ممکن، تولید شود و تداوم یابد. ولی این فضا شامل سیستم های خود سازمانده مانند دانه برف، قطره روغن و کریستال های سولفات مس هم می شود، که گرچه قادر به بروز رفتارهای پیچیده اند ولی زنده لحاظ نمی شوند. بنابراین، روشن است که پیچیدگی رفتار به تنهایی نمی تواند مشخصه تعیین کننده حیات باشد، با این حال پیش شرطی ضروری برای حیات و یکی از نیازهای حداقل سیستم زنده است.

این که دقیقاً منظورمان از پیچیدگی در این شرایط چیست، به زودی روشن خواهد شد، ولی ارزش دارد که مکتبی بکنیم و توجه مختصری به آن بکنیم. اگر از شما می پرسیم که در زندگیتان چقدر نمک خورده اید، با کمی تفکر ممکن بود بتوانید به خاطر بیاورید که هر چند وقت یک بار یک بسته نمک و با چه وزن تقریبی می خرید. اگر متوجه می شدید که سالی یک کیلو نمک استفاده می کنید و سن شما هم ۳۰ سال بود، آنوقت تخمین می زدید که در دوره زندگی تان ۳۰ کیلو گرم نمک مصرف کرده اید. پس از بازتاب این مسئله، ممکن است بخواهید این رقم را تعدیل کنید. مثلاً غیر ممکن است که مصرف نمک شما در سن سه ماهگی عین مصرف سه سالگی باشد. علاوه بر این، بیشتر نمکی که در خانه مصرف می کنید با آبی که برای پختن به کار می برید دور ریخته می شود. همچنین در بیشتر چیزهایی که می خوریم یا می نوشیم کمابیش نمک به مقدار متفاوتی یافت می شود.

می توانید برنامه ای برای کامپیوتر بنویسید که کمک کند تخمین مناسبی بزنید. اگر مجبور بودید این کار را بکنید، در این صورت به جای این که کلاً به سختی مسئله اعتراض کنید، می توانستید با احتساب خطوط برنامه کامپیوتری که برای محاسبه آن لازم است، معیار مشخص تری برای سختی آن به دست بیاورید. اگر به نوشتن برنامه های ۲۰ خطی عادت داشتید و راه حل شما نیاز به ۲۰۰ خط می داشت، ممکن بود نتیجه بگیرید که ۱۰ برابر پیچیده تر از مسائلی بود که شما به طور روزمره با آن آشنایی داشتید. به هر حال اگر هم اکنون از شما می خواستیم که مقدار نمکی را که انسان در طول تاریخ مصرف کرده است محاسبه کنید، ممکن بود بفهمید که برنامه شما به بیش از ۲۰۰۰ خط نیاز دارد. به این ترتیب این مسئله هم ۱۰۰ برابر پیچیده تر از مسائلی بود که با آن آشنایی داشتید. اما، نباید گمراه شویم و فکر کنیم که یک مسئله پیچیده باید ظاهری پیچیده داشته باشد. در واقع غالباً این طور است که مسائل در نگاه اول به نظر ساده می آید ولی بعداً معلوم می شود که به شدت پیچیده اند، مانند مسئله فروشنده ای که آرزو دارد از تعداد زیادی شهر و از کوتاهترین مسیر ممکن بازدید کند.

این نوع رویکرد الگوریتمی که پیچیدگی مسئله را با تعداد دستورالعمل های لازم برای محاسبه راه حل آن یکسان فرض می کند، به طور مستقل توسط دو ریاضی دان به نامهای کولوگوروف و چیاتین^{۲۰} رهگشایی شد. با تعیین تعداد الگوریتم های لازم برای محاسبه یک مسئله، می توانیم مقیاسی واقعی برای پیچیدگی الگوریتمی آن به دست بیاوریم. اما، این رویکرد به تعریف پیچیدگی، به مسئله ای که هم اکنون مورد ملاحظه قرار دادیم محدود نمی شود. این روش به طور یکسان به مسئله توصیف سیستم های فیزیکی شیمیایی نیز قابل تعمیم است. باید بتوانیم وضعیت یک سیستم را با نوشتن برنامه ای که می تواند به دقت آن را بازتولید کند، مشخص کنیم. تعداد محاسبات لازم برای تولید چنین توصیفاتی، مقیاسی برای پیچیدگی الگوریتمی آن سیستم محسوب می شود.

مثلاً ممکن بود بخواهیم پیچیدگی یک آبگیر سنگی را با بلوک سیمانی، یا گرداب مقایسه کنیم و یا یکی از نقاشی های ونگوگ را با نقاشی سورا^{۲۱} یا مانه^{۲۲} مقایسه کنیم. می توان تصور کرد که شکل الگوریتمی برنامه ای که مشخصات نقاشی

^{۲۰} Kolmogorov & Chiatin

^{۲۱} Seurat

^{۲۲} Manet

گل‌های آفتابگردان ونگوگ را بیان می‌کند، چیزی شبیه این است: یک مولکول رنگدانه x را بردار، آن را در مکان BZE240 روی بوم بگذار، بعد یک مولکول رنگدانه q را در مکان BZE241 قرار بده و غیره. تعداد دستورالعمل‌های لازم برای مشخص کردن **گل‌های آفتابگردان**، معیاری معلوم برای پیچیدگی الگوریتمی آن است. سپس آن را می‌توان با تابلوی **شناگران آسنیر**^{۲۳} مربوط به سورا، یا تابلوی **نهار روی علفها**^{۲۴} ی مانه مقایسه کرد. همین‌طور ممکن است بخواهیم پیچیدگی **گل‌های آفتابگردان** را با بلوک سیمانی مقایسه کنیم.

اما، اگر فقط به دلیل محدودیت‌های تنوریکی که مانع اندازه‌گیری‌های لازم برای تعیین حالت دقیق کوانتومی یک سیستم می‌شود، فکر کنیم که پیچیدگی الگوریتم، معیاری برای مفید بودن چیزهاست، مضحک است. مسئله دیگر این است که تعداد الگوریتم‌های لازم برای محاسبه یک مسئله، بر زمان اجرای آن برنامه دلالت نمی‌کند. اگر دو برنامه متفاوت که طول یکسانی دارند، زمان اجرای کاملاً متفاوتی داشته باشند، در این صورت یقیناً ارزیابی متفاوتی از پیچیدگی نسبی این دو برنامه خواهیم کرد. اگر یکی از برنامه‌ها کار خود را در پنج دقیقه به اتمام برساند و دیگری، بدون حتی نشانه کوچکی از این که می‌تواند به راه حلی دست یابد و متوقف شود، تا ابد اجرا شود، در این صورت قطعاً نمی‌توانیم زمان اجرا را نادیده بگیریم. این تعریف دقیق الگوریتمی از پیچیدگی، نمی‌تواند جنبه‌هایی از نظرانی را که یک هنرمند می‌خواهد بیان کند مانند، تداعی معانی، اشارات، و مایه‌های درون یک نقاشی را مجسم کند.

پیچیدگی، همچنین تابعی است از قابلیت واکنش ناظر به اطلاعات، که در آن، ساختمان اطلاعات در اثر تعامل آن با مشاهده‌گر، به شکل تراکنش یا داد و ستد تعریف می‌شود. یک شی ممکن است حاوی اطلاعاتی باشد که فقط بعضی از ناظرها قادر به درک آن هستند؛ مثلاً، بعید است که یک خفاش، خرس قطبی یا مگس میوه، نقاشی **گل‌های آفتابگردان** را همان‌طوری که ما می‌بینیم درک کنند. و به فرد نابینایی که مجاز به لمس و بوییدن نقاشی نیست، ممکن است اصلاً اطلاعاتی منتقل نشود. بنابراین باید پرسید، اطلاعات برای چه چیزی و یا برای چه کسی است؟ و این احتمال را باید در نظر گرفت که بعضی از جنبه‌های سیستم‌های خاص، حتی در تنوری قابل محاسبه نیستند.

به این دلیل و بسیاری دلایل دیگر، بعید به نظر می‌رسد که نویسندگان تاریخ هنر، روزی کارهای نقاشان بزرگ را برپایه پیچیدگی الگوریتمی دوباره ارزیابی کنند. البته این احتمال هم وجود دارد که گله‌ای فیل، بتوانند اثری تولید کنند که الگوریتمش بسیار پیچیده‌تر از تمام آثاری باشد که تاکنون ونگوگ تولید کرده است. چون این برداشت استاتیک از پیچیدگی الگوریتمی محدودیت‌هایی دارد، آیا بهتر نیست که روی وجوه دینامیک پیچیدگی الگوریتمی تمرکز کنیم. یعنی روی الگوی رفتاری تمرکز کنیم که در دوره زمانی خاصی در یک سیستم آشکار می‌شود. با تاکید روی رفتار دینامیک به جای ساختمان استاتیک، می‌توانیم پیچیدگی الگوریتمی دینامیک یک سیستم را به این شکل تعریف کنیم که، عبارت است از مجموعه حداقلی از دستورات الگوریتمی لازم برای این که ناظری چشم بسته، بتواند رونوشتی از رفتاری که ما مشاهده کردیم تولید کند. به این ترتیب، پیچیدگی الگوریتمی دینامیک، عبارت است از نرخ تغییر اطلاعات الگوریتمی استاتیک نسبت به زمان.

اگر نقاشی‌ها را از دیدگاه پیچیدگی الگوریتمی دینامیک ارزیابی کنیم، آبیگرهای سنگی و بلوک سیمانی به نظر ساده می‌رسند چون ساختارشان در طول زمان ثابت است. به این ترتیب گرچه چنین سیستم‌هایی، از منظر عکس فوری لحظه‌ای پیچیده به نظر می‌آیند، اما زمانی که در دوره‌ای طولانی مشاهده می‌شوند، فاقد رفتار هستند. اطلاعات آنها با گذر زمان به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نمی‌کند، و از نظر پیچیدگی الگوریتمی دینامیک، تحلیل می‌رود. گرچه هیچ یک از این سیستم‌ها در سطح اتمی استاتیک نیستند، ولی در اصطلاح ماکروسکوپی، بلوک سیمانی یک بلوک سیمانی باقی می‌ماند، و گل آفتابگردان اگر چه کمی نور جذب کند و فعالیت گرمایی بکند، گل آفتابگردان می‌ماند و آبیگر سنگی، اگر چه موج و نوسان دما داشته باشد، یک آبیگر سنگی می‌ماند. برعکس، چون ساختار گرداب پیوسته با زمان تغییر می‌کند بعد دینامیک دارد. برای این که شکل

^{۲۳} bathers at asnières
^{۲۴} Le déjeuner sur l'Herbe

سیستم را همین طور که در طول زمان آشکار و برملا می شود برای ناظر چشم بسته توصیف کنیم، لازم است جریانی از اطلاعات به روز در آمده را در دسترس او قرار دهیم. پارسیدن تکه های اطلاعات مدل آنها به روز در می آید.

گرچه مفهوم پیچیدگی الگوریتمی دینامیک که در بالا اجمالاً بیان کردیم، نسبت به پیچیدگی الگوریتمی استاتیک بهبود قابل ملاحظه ای دارد و حداقل یک جنبه مهم از سیستم های زنده را مجسم می کند، ولی تعریفی کامل و غنی از پیچیدگی در معنای صوری آن را ارائه نمی دهد. این مسئله با این واقعیت توضیح داده می شود که یک شیشه ملکول گاز بُرم پخش شده با وجود این که آنتی تز آن چیزی است که ما پیچیدگی می نامیم، ولی، هم به طور استاتیک و هم دینامیک پیچیده است. نتیجتاً توصیف کامل پیچیدگی سیستم زنده باید فراتر از فرمول بندی هایی باشد که منحصرأ در زبان پیچیدگی الگوریتمی پنهان شده اند. جزء مفقود را می توان با تمرکز روی طبیعت رفتاری که سیستم به نمایش می گذارد تعریف نمود. رفتار سیستمی که الگوریتم پیچیده دینامیک دارد، ممکن است فاقد نظم باشد. فقط سیستم های حقیقتاً پیچیده می توانند واکنش منسجمی را در سطح مولکولی تولید کنند. در مورد موجودات زنده، این اطلاعات متکی به خود است و در طول زمان دوام می آورد. گرچه بعضی از سیستم های فیزیکی یا فیزیکی-شیمیایی قادرند واکنش منظمی تولید کنند که در سطح ماکروسکپی قابل مشاهده باشد، ولی اطلاعات آنها عموماً به خود اتکا ندارد و به حضور یک قید یا محدودیت خارجی مانند گرادیان^{۲۰} حرارتی وابسته است.

گرچه ذکر خصوصیات حالت میکروسکپی یک شیشه گاز بُرم پراکنده شده، اگر واقعا امکان پذیر باشد، به تعداد سهمگینی الگوریتم نیاز خواهد داشت، ولی، زمانی که سیستم به تعادل ترمودینامیکی دست پیدا کند، به تولید رفتاری که از نظر ماکروسکپی مرئی است، پایان خواهد داد. در عوض می تواند در وضعیتی میکروسکپی ثابت بماند که بیشترین بی نظمی را دارد و از تولید رفتار ماکروسکپی ناتوان است. در اینجا، ممکن است ناظر متوجه شود که گاز در اطراف شیشه پخش شده است. اگر تا ابد هم شیشه را تماشا می کرد بعید بود که هیچ تغییری در رفتار ماکروسکپی سیستم مشاهده کند. این یکنواختی ماکروسکپی، نتیجه فقدان نظم در سطح میکروسکپی است. از این رو، با وجود داشتن پیچیدگی زیاد الگوریتمی دینامیک در سطح میکروسکپی، پیچیدگی دینامیک این نوع سیستم قادر نیست که در سطح ماکروسکپی اطلاعات تولید کند. و این مسئله منتج به فقدان رفتار ماکروسکپی می شود.

سومین رده تعریف ما از پیچیدگی، وجود رفتار دینامیکی است که بتواند اطلاعات میکروسکپی تولید کند. سیستم های پیچیده دینامیک قادرند بامحدود کردن دامنه رفتارهای ممکن خود اطلاعات تولید کنند. و این کار با انتخاب مجموعه ای محدود ولی گزینشی از عملکردهای ممکن حاصل می شود. سیستم هایی که نظم دینامیک میکروسکپی را نمایش می دهند، به جای این که آزاد باشند تا کلیه حالت های در دسترس خود را اختیار کنند، طوری رفتار می کنند انگار که قوانینی آنها را محدود به اختیار کردن برخی از حالات می کنند. درست مانند دستور زبان که ناحیه هایی از "فضای همه ترکیبات لغات ممکن" را در گروههایی از سخنان منطقی مرتب می کند، دینامیک بعضی از سیستم ها محدودیت هایی را به فرآیندهایی که در فضای بالقوه حالت ها کاوش می کنند، تحمیل می کنند. عیار واقعی پیچیدگی یک سیستم، تمرکز شدید آن بر ناحیه محدودی از فضای وسیع حالات بالقوه آن است. سیستم، فقط با محدود کردن فضای حالت های خود به مجموعه محدودی از احتمالات، قادر است ظرفیت تولید اطلاعات را به دست آورد. حداقل نیازهای ساختاری لازم برای این عمل این است که سیستم برای تبادل ماده و انرژی باز باشد و از تعادل ترمودینامیکی فاصله داشته باشد.

به طور خلاصه، سه رده ساختمانی لازم برای تولید رفتار پیچیده عبارتند از: (۱) پیچیدگی الگوریتمی استاتیک، (۲) پیچیدگی الگوریتمی دینامیک و (۳) توانایی سیستم برای محدود کردن روش کاوش فضای حالات بالقوه. تعداد زیادی از سیستم های خالص فیزیکی و فیزیکی-شیمیایی این نیازها را بر آورده می کنند ولی با این وجود موجودات زنده به حساب نمی آیند. بنابراین درحالی که پیچیدگی، به شکلی که در بالا تعریف شد، برای حیات ضروری است ولی به وضوح کافی نیست. به نظر می رسد که باید عوامل دیگری را جستجو کنیم که ما را به توصیفی قاعده مند از پیش نیازهای ساختمانی حیات نزدیک کند.

^{۲۰} Gradient (*) (۱)

تفاوت اساسی میان سیستم های پیچیده ای که آنها را زنده می نامیم و آنهایی که زنده نمی نامیم، در ذات اجزای سازنده سیستم نیست، بلکه در روش سازماندهی آنهاست. از این رو، یکی از چیزهایی که موجودات زنده بالقوه را از غیر زنده متمایز می کند، شکل منطقی آنها است. نوعی الگوی سازماندهی که به نظر می رسد پیش نیاز حیات باشد به ساختار شبکه ای معروف است. در شبکه ها عناصر مجزای سیستم شدیداً بهم پیوسته هستند. قدرت فعل و انفعال بین این عناصر به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از آن چیزی است که بین عناصر سیستم های فاقد اطلاعات، مانند شیشه برم که از نظر الگوریتمی پیچیده ولی تصادفی اند، موجود است. به خاطر پیوستگی شبکه های پیچیده دینامیک، عناصر مجزای درون آنها قادرند در فواصل دور اطلاعات را به یکدیگر تغذیه کنند. این عمل اجازه می دهد که سیگنال های محلی تقویت شوند، و درگوشه های دور شبکه منتشر شوند.

در تمام موجودات زنده ای که ما می شناسیم، شبکه ها از مجموعه هایی از مواد شیمیایی و سلول هایی ساخته شده اند که با هم تعامل دارند. این شبکه ها و شبکه هایی از رده های دیگر، به دلیل سازمان دهی آنها، قابل تنظیم هستند. معنای آن این است که با تنظیم ساختمان شبکه، می توان تعداد حالت هایی را که شبکه می تواند اختیار کند و تناوب تکرار این حالات را نیز تغییر داد. به این ترتیب می توانیم رده چهارمی را به تعریف خود از پیچیدگی اضافه کنیم، که مربوط است به زیرمجموعه ای از سیستم های پیچیده که قابلیت حیات دارند. پس، این سیستم ها باید (۴) ساختمان شبکه ای داشته باشند که (۵) قابل تنظیم باشد تا سیستم بتواند در ناحیه کوچکی از فضای حالت های خود متراکم شود. اضافه بر این، دینامیک شبکه باید طوری باشد که (۶) قادر باشد توازنی تولید کند که نسبتاً در برابر افت و خیزهای تصادفی محیط مقاوم باشد. سرانجام، شبکه باید (۷) متکی به خود^{۲۶} باشد، (۸) خود تکثیر باشد و (۹) از اجزاء ماجولار (پیمانه ای) ساخته شده باشد که به قول گابریل دوور^{۲۷} بتواند در تاریخ، با "فرایندهای تکاملی بی پایان لگوی مولکولی" پردازش شود.

اعمال مولکولی تصادفی یا نیمه تصادفی مانند ترمیم، اضافه، حذف و اصلاح اجزای شبکه های شیمیایی متصل به فرایندهای تکامل از طریق انتخاب طبیعی، بنیان فیزیکی تنظیم شبکه را تشکیل می دهند. مخزن ساختارهای شبکه توسط مهندسی داروینی سرهم می شود که کورعمل می کند و مخزن فرضی همه ساختارهای ممکن شبکه را با جفت و جورکردن مولکولهای جدید به شبکه و حذف یا تغییر سایر ملکولها کاوش می کند. هرچند احتمال دارد که مخازن ساختارهای قابل دسترسی، با انحراف هایی که خود اجزای سازنده شبکه سازمان می دهند، محدود شوند.

ساختار قابل انعطاف، به شبکه ها این ظرفیت را اهدا می کند که رفتار تولید کنند. از این رو، به جای این که یک شبکه رفتار تغییر ناپذیر و سیم بندی شده داشته باشد، می تواند توسط انتخاب طبیعی تغییر کند. همراهی فرایندهای تکاملی داروینی با انحراف ساختاری ارانه شده توسط فرایندهای خود سازمانده، فرصتی برای رقابت شبکه هایی که به شکل های متفاوتی پیکر بندی شده اند و همچنین تطبیق پذیری با ریز محیط های مشخص فراهم می کند. هیچ محرکه درونی برای اضافه شدن پیچیدگی وجود ندارد، ولی ازدیاد پیچیدگی منجر به ازدیاد کارایی بازتولید می شود، در این صورت ساختمان های پیچیده تر تمایل پیدا می کنند که بیشتر به نمایش درآیند و سرانجام جای رقبا دیگر را که پیچیدگی کمتری دارند بگیرند. هرچند، کاهش پیچیدگی نیز ممکن است شکل ظاهری قابل رقابت تری به وجود آورد.

درمطلبی که به دنبال خواهد آمد، اظهار خواهیم کرد که ممکن است که حیات آنالوگ فاقد ژن، در نتیجه مجموعه پیچیده ای از واکنش ها و دینامیک هایی که درون شبکه های شیمیایی خود سازمانده و بسیار بهم پیوسته و قابل تنظیم به وجود می آیند، به طور طبیعی و خود به خود ظاهر شده باشد. گرچه این نوع واکنش ها ممکن است در درون یا بیرون ساختارهای حجره بندی شده آغاز شده باشند، ولی شبکه های بدون ساختار و فاقد حجره بندی، ممکن است ظرفیت محدودی برای تکامل داشته باشند. از اینرو، حتی اگر اولین موجودات زنده فاقد مرزهای مجزا بوده باشند، ولی حجره بندی، نشان دهنده گامی اساسی به

^{۲۶} Self sustaining
^{۲۷} Gabriel Dover

طرف پیچیدگی امروزی و همه امتیازات آن بوده است. این شبکه های شیمیایی خود کرانمند^{۲۸} و خود ساخته^{۲۹}، وقتی که درون ساختاری غیر اطلاعاتی و خود تکثیر مانند یک میسل (ریزواره) قرار بگیرند، مخزنی از متغیرها را تشکیل میدهد که انتخاب طبیعی می تواند روی آنها عمل کند و صفات ارثی به صفات ظاهری تبدیل شوند. ضمناً، کلمه خودساخته (اتوپونتیک)، به مجموعه ای از اشیاء اشاره می کند که در یک شبکه سرهم شده اند و در آن هر جزء به شکل گیری یا تغییر شکل اجزاء دیگر آن شبکه کمک می کند.

ظهور حیات آنالوگ فاقد ژن در این شبکه های شیمیایی قابل تنظیم که شاید در ابتدا بدون مرز بوده اند، ممکن است شگفت آور تر یا غیر طبیعی تر از تبلور آب به یخ، یا جذب براده های آهن به آهن ربا نباشد. گرچه همان طور که قبلاً اظهار کرده ام، ممکن است هیچوقت قادر نباشیم نیاکان حقیقی بدون ژن مفروض خود را بازسازی کنیم، ولی به هر حال می توانیم ساختار منطقی رفتار شبکه های انتزاعی را با استفاده از کامپیوتر نمایش دهیم. به این طریق می توانیم نسبت به انواعی از معماری های مولکولی آگاهی به دست بیاوریم، که می توانند استخوان بندی و گوشت و پوست نیاکان مفروض فاقد ژن، و شاید ابتدائاً بدون طبقه بندی ما را شکل داده باشند.

در بررسی ساختمان موجودات فاقد ژن، این احتمال را در نظر خواهیم گرفت که ژنها برای تولید حیات، نه لازمند و نه کافی. بر خلاف سوخت و ساز رمزدار موجودات دیجیتال که منطق و الگوی اساسی آنها، توسط برنامه هایی دیکته می شود که به زبان ریز دستورالعمل های دی.ان.ا نوشته شده، که در مرکز اطلاعات اصلی جای دارد، متابولیسم فاقد رمز موجودات آنالوگ فاقد ژن، ممکن است بدون نیاز به برنامه های داخلی یا خارجی، و در پی تشریک مساعی، خود سازماندهی و قابلیت تنظیم اجزاء آن پدیدار شده باشد. از این رو، ژنهای عریانی که فاقد ساختار شبکه ای خود سازمانده و خود تنظیم کننده و دینامیکی هستند که پیش نیاز حیات است، از دیدگاه سیستم های زنده پیچیده، ورشکسته اطلاعاتی هستند. بنابراین، گرچه ماهیت ترکیب شونده دیجیتال ژنها، آنها را قادر می کند که اطلاعات را به رمز در آورند، ولی در غیاب ساختمان شبکه ای پویا، متکی به خود، خود تنظیم کننده و خود سازمانده، این اطلاعات نمی توانند در فرآیند حیات شرکت کنند. توانایی یک سیستم برای تنظیم خود، هومئوستازی یا هم ایستایی^{۳۰} نامیده می شود.

احتمال دارد که ژنها فقط با استفاده از طرح شبکه وار تشکیلات و دینامیک هم ایستا که مشخصه سیستم های زنده اند و به نمایش درآوردن این طرح ها و جای گرفتن در محیطی باز و دور از تعادل توانسته باشند از نظر اطلاعاتی توانمند شوند. به گفته فریمن دایسون^{۳۱}، "یکی از صفات متمایز اولیه حیات، به جای تکثیر، هم ایستایی است". مطابق این تعریف، یک مولکول عریان فرضی خود تکثیر و خود گردان، مثلاً رشته ای از زنجیره دیجیتال آر.ان.ا، زنجیره دی.ان.ا یا پپتید یا پروتئین پربون^{۳۲} زنده نیستند. بدون یک سوخت و ساز هم ایستا که بتواند ریز محیط کنترل شده ای که مناسب فعالیت آنها باشد تولید کند، همه آنها عاری از حیات هستند. ما بعداً به این سوال خواهیم پرداخت که آیا منطقی است که، خط روشنی به این شکل بین ساختارهای بالقوه زنده و غیر زنده بکشیم؟ اما فعلاً به معیار هم ایستایی "الگوی حیات" خواهیم چسبید تا مرز بین ساختارهایی را که زنده می دانیم و بقیه ساختارها را تعریف کنیم.

از این رو، به جای این که ژنها از ابتدا در حیات حضور داشته باشند، ممکن است بعداً سوار اتوبوس حیات شده باشند. فریمن دایسون در سخنرانی های گیفورد^{۳۳} در سال ۱۹۸۵ تکثیر را از مراحل اولیه حیات بیرون نگاه داشت و تکثیر ژنتیک را وابسته به "دخالته یک انگل بیگانه" دانست، که این انگل بعدها معرفی شد. این فرض مستلزم این است که ژنها

^{۲۸} Self-bounded

^{۲۹} Autopoietic خودساخته (*۲)

^{۳۰} Homeostasis خود پایداری - هم ایستایی- تعادل حیاتی. (*۳)

^{۳۱} Freeman Dyson

^{۳۲} Prion protein (*۴)

^{۳۳} Gifford

به جای این که اطلاعاتی اساسی و تخطی ناپذیر حیات را پایه گذاری کرده باشند، بعدها به آن اضافه شده باشند و بنابراین قابل چشم پوشی بوده باشند. ماباید گمانه بزنیم که ژنهای خود تکثیر ولی غیر زنده ساخته شده از آر.ان.ا یا سایر پلیمرهای دیجیتال، به سرعت عمل می کردند تا از فرصت های پیشنهادی حیات بدون ژن، بهره برداری کنند و در یک لحظه توانستند این موجودات آنالوگ ابتدایی بی قواره را انگلی کنند. ممکن است ارگانسیم های پیشاهنگ فاقد ژن، با تهی کردن تاریخ از قلمروی موجودات بیجان و کشف بیولوژی، سرانجام توسط ژنها یا پیشقراولان آنها آلوده شده باشند و اطلاعات حیات مدرن دیجیتال را پایه گذاری کرده باشند. ممکن است که انتقال فرضی از حیات فاقد ژن به حیاتی که ظرفیت های اطلاعاتی شبکه های شیمیایی خود مونتاژ و خود سازمانده و زنجیره های دیجیتال را داشت، توسط آفتی ژنتیک که نتیجه افزایش بی سابقه غلظت موضعی مولکولهای خود تکثیر یا غیر خودتکثیر بود، سرنگون شده باشد. این مسئله می تواند باعث افزایش رقابت بین مولکولهایی که زنجیره شبیه هم یا یکسان دارند شده باشد، و شانس آلوده شدن ارگانسیم فاقد ژن را با مایه تلقیح دیجیتال افزایش داده باشد.

در شرایط متفاوت محیطی، حیات می توانست نسبت به آفت ژنتیک مصونیت پیدا کند و تا ابد در وضعیت بدون ژن باقی بماند. اگر احتمالاً تاریخ از چنین مصونیتی استفاده می کرد، درست به همان اندازه که، انقراض دایناسورها در انتهای دوره کرتاسه جاده را برای ازدیاد و تنوع بخشیدن به پستانداران صاف کرد، این مسئله نیز حیات پس آیند را شدیداً درتنگنا قرار می داد. طبق تعریفی که کردیم، احتمال این که ژنها، عنصر ساختمانی یا اطلاعاتی عناصر زنده بوده باشند، به هیچ روی بیش از این احتمال نیست که فناوری ژن دیجیتال آر.ان.ا با فناوری دیجیتال دی.ان.ا جایگزین شده باشد. اما، آنچه که محتمل است این است که، در شرایطی که افراد یا جمعیت هایی از موجودات فاقد ژن، بر سر منابع محدود با یکدیگر رقابت می کرده اند، احتمالاً برخی از دودمان های آلوده به مرض دیجیتال، با استفاده از عملکرد ساختاری جدید و تسریع کننده مانند عمل محافظت، نسبت به همتایان عقیم دیجیتالی خود امتیاز نسبی کسب کرده باشند. همچنین، در شرایطی که جمعیت های غیر زنده، خود تکثیر و غیر نمادین "پیش-ژن" ها بر سر منابع محدود رقابت می کردند، هر پیش ژنی که با آلوده کردن دیگران، می توانست نیروی حیات را مهار کند، امتیاز قابل ملاحظه ای نسبت به رقبای غیر زنده خود به دست می آورد.

در اینجا، منظور از پیش-ژن^{۳۴}، پلیمری است که اطلاعات را شبیه به ژن، درون زنجیره های ترکیب شونده دیجیتال خود به رمز در می آورد، ولی برعکس ژن از تدوین قوانین^{۳۵} ناتوان است. گرچه پیش-ژن اطلاعات را درون زنجیره های دیجیتال به رمز در می آورد و خودش را با استفاده از سازوکار قالبی تکثیر می کند ولی نمایش اطلاعات آن انتزاعی نیست، و به زبان های مولکولی متفاوت مانند آر.ان.ا پیغامبر یا آمینو اسیدها ترجمه نمی شود. علاوه بر این، برعکس سازوکار تکثیر قالبی ژنها که با استفاده از مکمل^{۳۶} صورت می گیرد، تصور می شود که سازوکار تکثیر قالبی در پیش-ژن ها خود-مکمل^{۳۷} باشد. اما، فرض می شود که بعضی از پیش-ژنها این قابلیت را داشتند که ظرفیت تدوین قوانین و تکثیر قالبی با استفاده از مکمل را به دست آورند و به ژنهای بالغ تبدیل شوند. ممکن است بعضی از پیش-ژن ها، در پی دوره ای از تحول شیمیایی درون مخازن راکد پلیمر های پیش-ژن دیجیتالی که قادر به تکثیر خود نبودند، میزبان های فاقد ژن مستعد را آلوده کرده باشند، و ممکن است نهایتاً بعد از این کار، این انگل ها به ژنهای واقعی تکامل یافته باشند. در این صورت، ممکن است ژنها، به معنای واقعی کلمه، درون شبکه های سوخت و ساز میزبان های فاقد ژن خود متولد شده باشند. اگر چنین بوده باشد، در این صورت بهتر بود که به جای آفت ژنتیک، به آفتی دیجیتال و غیر ژنتیک تمسک می جستند. زیرا در این مدل، فقط به دلیل آلوده شدن موجودات بدون ژن، اطلاعات دیجیتال به رمز در آمده در زنجیره پلیمرهای آغازین پیش-ژن دیجیتال، قادر شدند که تجهیزات ژنها را تصاحب کنند. این تجهیزات علاوه بر چیزهایی که قبلاً ذکر کرده ایم، شامل ظرفیت رمزگذاری سمبلیک، سازوکار تکثیر قالبی با استفاده از مکمل، مشابه روش ژنهای امروزی، و نیز سازوکارهایی است که تکثیر دقیق را تضمین می کند.

^{۳۴} Pre-gen
^{۳۵} Codification
^{۳۶} Complementary
^{۳۷} Self-complementary

اطلاعات زیستی موجودات فاقد ژن، قبل از این که به مایه تلقیح دیجیتال آلوده شوند، به روشی منحصر آنالوگ ذخیره می شده است. اما، زمانی که آلودگی رخ داد، تفاوت میان میزبان های آنالوگ و انگل های دیجیتال آنها کاملاً محو شد و فرزندان نهایی این اتحاد نامقدس، یعنی نمونه های اولیه ژن ها و بالاخره خود ژن ها، دست به کار تعریف دوباره معماری حیات شدند. ظرفیت اعجاب انگیز ذخیره اطلاعات که به طور فطری درون زنجیره های دیجیتال نمونه ژن ها ست، احتمالاً موجودات جدید دیجیتالی را با قابلیت تنظیمی شیمیایی شبکه، که تا آن زمان غیر قابل دسترسی می نمود، فراهم کرده اند. ساختار و اتصالات موجودات سابقاً آنالوگ و فاقد ژن، اکنون می تواند مثل یک پیتاوی ناکوک، نوسازی، مهار، کوک و به دقت تنظیم شود تا ظرفیت تولید رفتار منظم را افزایش دهد.

برای اولین بار در تاریخ، حیات در لباس جدید دیجیتال نمونه ژن خود، قابلیت تولید دودمان های ممتد را به دست آورد، چون اکنون تا اندازه ای می توانست اطلاعات خود را تداوم بخشد، چیزی که تا این زمان برای او غیر قابل دسترسی بود. این موجودات جدید نمونه ژن، برعکس نیاکان فاقد ژن خود که ظرفیت محدودی برای توارث داشتند و فضاهای حالت محدود و متناهی را کاوش می کردند، کلید ابدیت را در اختیار داشتند. حیات اکنون، مجهز به فناوری جدید دیجیتال، آزاد بود تا از محدود به نامحدود تغییر مکان بدهد و اولین کاوش های مقدماتی در گستره های فضای ژن را که به تازگی قابل دسترسی شده بودند انجام بدهد. فقط بعدها است که در گوشه کوچکی از فضای ژن که آن را فضای دی.ان.ا خواندیم پرتله می زند و ناحیه هایی را کشف می کند که مشخص کننده ارگانیسم های تک سلولی، آمونیت، تریلوبیت، دایناسور، شیرهای کوهی، انسان و خیلی چیزهای دیگر است.

چیرگی دیجیتال یا فرضیه همزیستی اطلاعاتی (symbiosis) که نمای کلی آن را شرح دادم، بیان می کند که اطلاعات حیات مدرن، از یک رویداد هم جوشی آغازین سرچشمه گرفت که در آن، اطلاعات نوشته شده در زنجیره های دیجیتال پیش ژن ها با اطلاعات آنالوگی که در دینامیک شبکه های شیمیایی ذخیره شده بودند، باهم جوش خوردند. گرچه هیچ شواهد مستقیمی برای حمایت از این نظریه وجود ندارد، ولی منطق کلی آن و پیش بینی های آن قابل آزمایش هستند. علاوه بر این، مقدمات و نمونه های انگلی شدن ساختمان های سوخت و ساز در مواد ژنتیکی عادی، توسط ویروس ها احراز شده اند.

باید بتوانیم مدلی از احتمال فرایندهای همجوشی را بسازیم، که در آن، اطلاعات دو منبع مجزا با یکدیگر تشریک مساعی می کنند و نهایتاً یکپارچه شده و ساختار جدیدی را به وجود می آورند که ویژگی هایی از هر دو سیستم را در خود جای داده است. اگر مدلسازی ریاضی و شبیه سازی کامپیوتری حاکی از این هستند که این نوع همزیستی اطلاعاتی محتمل است، در این صورت منطقی است که با استفاده از عناصر بیولوژیک، آزمایشاتی انجام بدهیم. گرچه نباید فرض کنیم که همزیستی اطلاعاتی همزمان با آلودگی رخ داده است. ممکن است زمانی طولانی طول کشیده باشد تا منابع اطلاعاتی با هم همیاری کنند و یکی شوند. ممکن است احتمال این رویداد هم جوشی بسیار پائین بوده باشد. ممکن است آلودگی های مکرر مستقل دیجیتالی برای ایجاد جهش در همجوشی هایی که ساختمانی پایدار و اطلاعاتی ماندگار داشتند، لازم بوده باشد. اما، پیش از این اتفاق، به احتمال زیاد، پلیمرهای دیجیتال پیش ژن به عنوان کاتالیزورهایی عمل می کرده اند که به یک یا چند واکنش درون شبکه های شیمیایی میزبان های فاقد ژن شتاب می بخشیده اند و بر دینامیک آنها به طریقی خنثی یا مطلوب تاثیر می گذاشته اند. انگل های دیجیتال، با اعطای امتیاز قابلیت انطباق به میزبان های خود، احتمال بقای خودشان را افزایش می دادند. ممکن است بسیاری از آلودگی های ژنتیکی منتقل شده از طریق تولیدی مثل غیرجنسی، دینامیک های فاقد ژن را تضعیف کرده و باعث حذف آنها شده باشند. فقط آن تولید مثل های انگلی که در آنها اثرات آلودگی دیجیتال از نظر فنوتایپ (شکلی) خنثی بودند یا به میزبانان اجازه انطباق داده بودند، می توانستند ایستادگی کنند.

علاوه بر آزمایش مقبولیت فرضیه همزیستی اطلاعاتی و ساز و کارهایی که اطلاعات نمایش داده شده دیجیتال و دینامیک به توسط آنها با یکدیگر می آمیزند، جالب خواهد بود که محدودیت های تحمیل شده به سیستم های فاقد ژن، به دلیل فقدان قابلیت رمزگذاری دیجیتال، را امتحان کنیم. به احتمال قوی، پیچیدگی موجودات بالقوه درون فضای همه موجودات

ممکن فاقد ژن، شدیداً توسط محدودیت های ذاتیِ روش های نمایش اطلاعات غیر دیجیتال و غیر سمبلیک محدود شده اند. دیگر این که، فقدانِ روشهایی برای نمایش اطلاعات ترکیب شونده، موجودات فاقد ژن را از فضاهای ترکیب شونده نامحدودی که این فناوریها فراهم می آورند محروم می کند و ظرفیت توارث آنها را فوق العاده محدود می کند. جالب است که این محدودیت های منطقی را دقیق تر تعریف کنیم و به این منظور، برای سطح پیچیدگی قابل وصول توسط موجودات آنالوگی که فاقد اطلاعات رمز دار دیجیتال هستند، مرزی صوری بکشیم.

همچنین باید به این سوال جواب دهیم که، شبکه های شیمیایی فاقد ژن و خودسازمانده دینامیک چگونه ممکن است جهش و تکثیر یافته و خود را تعمیر کرده باشند و در اثر انتخاب طبیعی تکامل یافته باشند. آیا ممکن است این شبکه ها از ابتدا مانند عناصری بدون مرز، درون حلالی آزاد حاضر بوده باشند یا این که لازم بود که درون مرزهای هندسی تعریف شده ذرات چربی یا ریزواره ها (micelle) یا سایر ساختمان های غلاف مانند محصور باشند. نکات زیاد دیگری نیز هست که ممکن است بخواهیم مورد ملاحظه قرار دهیم. برای مثال، موجودات فاقد ژن منفرد چه مدت زمانی ممکن است زندگی کرده باشند؟ نانو ثانیه، ثانیه، دقیقه، روز، هفته، ماه و یا سالها. اگر حیات بدون ژن، بدون اراده توسط آرواره های تیز و آلوده انگل های دیجیتال غیر زنده گزیده نشده بود، آیا می توانست تداوم یابد؟ آیا ساختارهای فاقد ژن امکان داشتند که حتی کمی به پیچیدگی بیولوژیک موجود در معمولی ترین ارگانیسم های معاصر نزدیک شوند؟ به هر حال، از بابت یک مسئله می توانیم اطمینان داشته باشیم و آن این است که، زمانی که حیات، سیب پیش ژنتیک دیجیتال را چشید و آزمندانه بلعید، دیگر نمی توانست دوباره مانند قبل باشد. اگر شواهد تجربی مقبولیت فرضیه همزیستی اطلاعاتی را تایید کند، مجبوریم تصدیق کنیم که ممکن است بنیادهای اطلاعاتی حیات مدرن منشائی دوگانه داشته باشند. منشأ اول، شامل اطلاعاتی است که خود به خود در رده های معینی از شبکه های شیمیایی خودسازمانده، باز و دوراز تعادل ظاهر می شود، که با تنظیم مناسب، قادرند در اثر رفتار دینامیک خود اطلاعات تولید کنند، آنها را تداوم بخشند و اصلاح کنند. این اطلاعات در اثر محدودیت هایی که به روش و حد توانایی شبکه ها برای کاوش فضای حالت های بالقوه خود تحمیل می شود، به وجود می آید. احتمال دارد که نوسازی، اضافه کردن، حذف و تغییر تصادفی اجزای جدای شبکه ها، ساختارها و دینامیک های گوناگونی را که برای انتخاب طبیعی مناسبند، تولید کرده باشد. ساختارهایی که بتوانند دینامیک قابل تکامل ایجاد کنند و بین پایداری و انعطاف پذیری، توازن بهینه برقرار کنند و خود را با ریز محیط خود وفق دهند، احتمالاً بهتر می توانند با بقیه رقابت کنند. دومین منشأ اطلاعات، مستقیماً از زنجیره های دیجیتال ترکیب شونده پیش-ژن های فاقد حیات ناتوان از خود تکثیری و یا پیش-ژن های خود تکثیر فاقد حیات، که توسط انتخاب طبیعی سرهم شدند، ناشی می شود.

فرضیه همزیستی اطلاعاتی اشاره می کند که احتمالاً در پی آلودگی دیجیتالی، اطلاعات پیش-ژن های مجزای فاقد حیات با اطلاعات انباشته در دینامیک پیچیده شبکه های فاقد ژن برهم کنش داشته و سرانجام با آنها یکپارچه شده باشند. احتمال دارد که این رویداد همجوشی فرضی، بعد از دوره ای از تکامل شیمیایی درون محیط داخلی موجودات فاقد ژن صورت گرفته باشد. در این مدت، نسخه های تصادفی ساخته شده از انگل دیجیتال بنیانگذار، برای بقا، با یکدیگر و با زنجیره های بیگانه که به علت آلودگی فراوان داخل شده بودند، رقابت می کردند. احتمالاً، بعضی از اطلاعات والدین، بعد از همجوشی اطلاعاتی بیرون افکنده می شدند و در این فرآیند، دورگه اطلاعاتی جدید منسجمی می توانست شکل بگیرد. نمونه-ژن های خود تکثیر انشقاق یافته از پیش-ژن های پیشگام، که مانند سمبل، ساختمان شیمیایی اجزای فاقد ژن موجودات را مشخص می کردند، سرانجام باید جایگزین دستگاه فاقد ژن ابتدایی و موروثی خود شده باشند. می توان تصور کرد که، در حالی که نمونه-ژن ها شروع به آزمایش روش های نمادین نمایش اطلاعات کرده بودند، دینامیک ارگانیسم های بی جان پیشاهنگ مشغول درست کردن واسطه ای اطلاعاتی بودند که مزایای ابتدایی حیات را مهیا می کرد. بنابراین، سوخت و ساز فاقد رمز ارگانیسم های فاقد ژن، سرانجام یک روش نمادین انتزاعی برای کد گذاری اطلاعات به شکل زنجیره های دیجیتال ترکیب شونده ژن ها و کد ژنتیک همراه آن به دست آورد، و الگوی ژنتیک دیجیتال حیات بنا نهاده شد.

گرچه من اشاره کردم که اطلاعات اولین ارگانیسم های بدون ژن با استفاده از روش آنالوگ فاقد رمز نمایش داده می شد، ولی همان طور که من با ایما و اشاره فهمانده ام، نباید از این که این ارگانیسم ها از اجزای دیجیتال، ولی درعین حال غیر ژنتیک مانند پپتیدها ساخته شده باشند، تعجب کنیم. علاوه بر این، عناصر شیمیایی دیجیتال که به طور تصادفی تولید شده اند، گرچه ساختمان فیزیکی مشترکی با پیش-ژن ها دارند، ولی بدون سازوکارهای خودتکثیری که دقت قابل قبول داشته باشند و نیز بدون سازوکار بالقوه رمزگذاری اطلاعات، نمی توانند به شایستگی پیش-ژن ها باشند. گرچه پیش-ژن ها، از طریق ضبط وسایل رمزگذاری و توانایی تداوم اطلاعات اندوخته در زنجیره های دیجیتال خود، قابلیت تکامل به نمونه-ژن ها و سرانجام ژن های واقعی را دارند، ولی بدون سازوکارهای ذکرشده، قادر به رمزگذاری اطلاعات دیجیتالی که بتوانند درفرآیند حیات مشارکت جویند، نبودند.

بااین حال، پیچیدگی ترکیب شونده جمعیت های ناهمگون مولکولهای غیر ژنتیک دیجیتال، ممکن است قابلیت ذخیره دینامیک اطلاعات آنالوگ را در شبکه های شیمیایی فراهم کرده باشد. از این رو، پیچیدگی شیمیایی ذاتی درمجموعه های بزرگ ساخته شده پلیمرهای ترکیب شونده دیجیتال، ممکن است یکی از پیش نیازهای ضروری خلق حیات را تشکیل داده باشد. جمعیت های ناهمگون شیمیایی چنین مولکولهایی، قابلیت تکامل به پیش-ژن های غیرزنده و اشکال حیات بدون ژن را در خود می پرورند. گرچه نمی توانیم فرض کنیم که پیچیدگی ترکیب شونده زمینه ای تاریخ را فراهم کرده باشد که به توسط آن، درابتدا مخلوط های ناهمگون شیمیایی با حیات مصادف شده باشند. ممکن است توانایی سهمگین شیمی ترکیب شونده، بعداً توسط حیات کشف شده باشد.

اکنون که این احتمال را بررسی کردیم که حیات ممکن است در اولین گردش ها، به طور عریان و بدون استفاده از مزایای لباس ژنتیک جدید شروع شده باشد، وقت آن است که این سوال را مورد ملاحظه قرار دهیم که چگونه در ابتدای کار، نیاکان فرضی بدون ژن ما توانسته اند به وجود آیند. سرانجام، چگونه اطلاعات می تواند از غیر اطلاعات تولید شده باشد؟ و زمانی که این اطلاعات جدید بیولوژیک تولید شدند چگونه تداوم یافتند؟ برای جواب دادن به این سوالات و آماده کردن زمینه بحث در مورد معماری های ممکن ارگانیسم های فرضی فاقد ژن، لازم خواهد بود به قانون دوم ترمودینامیک مراجعه کنیم. چون تنها با فهم سازوکارهای استاتیکی که تمایل ذاتی طبیعت به نابودی اطلاعات را بنا می نهند، می توانیم کاملاً سازوکاری را که اطلاعات موجودات زنده را تولید می کند و تداوم می بخشد، درک کنیم.

توضیحات فصل نهم

۱- گرادیان gradient

بر آورد و درجه بندی میزان رشد و سوخت و ساز در جنین یا اندام یا سازواره
افت شیب، میزان تغییر درجه حرارت یا فشار هوا

۲- اتوپونتیک Autopoiesis

فرآیندی که در آن یک موجود زنده یا سازمان با تکرار فرآیند تولید مجدد خودش را تولید می کند و به طور ثابتی این کار را ادامه می دهد (مانند سلول ها یا ارگانیسم ها)

۳- هومئوستازی - خود ایستایی - خود پایداری Homeostasis

خاصیت یک سیستم باز یا بسته به خصوص یک موجود زنده است برای این که وضعیت محیط داخلی اش را طوری تنظیم کند که در شرایط پایدار و ثابت باقی بماند. هر فرآیند خود تنظیم کننده ای که توسط آن سیستم های بیولوژیک تمایل دارند که پایدار بمانند و در عین حال خود را وفق دهند با شرایطی که برای بقا بهینه است. اگر خودپایداری موفق باشد حیات ادامه پیدا می کند. پایداری به دست آمده درحقیقت یک تعادل دینامیک است که در آن تغییرات پیوسته رخ می دهد.

۴- پریون prion

در مورد پریون اطلاعات زیادی هنوز بدست نیامده است. پریون یکی از پروتئین هایی است که بطور عادی در سلول های عصبی بیان می شود. جهش در این پروتئین می تواند باعث تغییر ساختار این پروتئین شده بطوری که پروتئین جهش یافته می تواند مجتمع شده و پلاک های پروتئینی را در سلول های عصبی ایجاد کند. این پلاکها باعث انسفالوپاتی های اسفنجی شکل در مغز می شوند. برای مثال پریون ها عامل بیماری اسکرابی که نوعی بیماری تخریب کننده سیستم عصبی مرکزی در گوسفندان است و همچنین جنون گاوی می باشند. ساختمان پریونها فقط از پروتئین ساخته شده و فاقد اسید نوکلئیک است. بیماری های ناشی از پریون در انسان به علت اینکه به صورت بیماری های ژنتیکی و عفونی بروز می کند کاملاً اختصاصی هستند. شایان ذکر است که برضد پریون ها در بدن پاسخ ایمنی مصنوعی را ایجاد نمی شود، بنابراین تشخیص آلودگی یا بیماری با بررسی پادتن ها غیرممکن است. تنها راه شناسایی عامل بیماری در بافت آسیب دیده می باشد.

سرچشمه های اطلاعات بدون ژن

این دریافت بین عموم رایج است که حیات قوانین شیمیایی و فیزیکی کائنات را به شکل مرموزی به مبارزه طلبیده است. در حقیقت قانون دوم ترمودینامیک به ما می گوید که کیهان به حالت بی نظمی بیشینه تمایل دارد. همه ما لکه ای جوهر را که روی یک کاغذ صافی می ریزد، یا گاز برم را که در یک بطری پخش می شود، دیده ایم. ولی چه کسی تا به حال دیده است که جوهری که روی کاغذ پخش شده است در یک لحظه جمع شود و به یک لکه تبدیل شود یا این که عمل انتشار گاز در جهت عکس صورت بگیرد؟ بنابراین آن نیروی محرک حامی این نابودی یک طرفه و برگشت ناپذیر نظم و تبدیل به بی نظمی چیست و اگر تمایل ذاتی طبیعت به تخریب اطلاعات است در این صورت چگونه اطلاعات حیات می توانند خلق شده باشند؟ بررسی این موارد ما را به قلب جهان بدون ژن رهنمون خواهد شد و سایر بخش های معقول و منطقی را که برای تجسم جزئیات آناتومی ساکنان آن نیاز داریم، فراهم خواهد آورد. اما، قبل از این که شروع به جستجوی سازوکاری کنیم که اطلاعات توسط آن کاهش می یابد، ابتدا ساختار ابتدایی سیستم هایی را که قادر به تولید اطلاعات هستند، مورد بررسی قرار خواهیم داد. اختلافات اساسی ساختاری بین سیستم های تولید کننده اطلاعات و سیستم های عاری از اطلاعات وجود دارد. بررسی هر دو نوع سیستم نشان خواهد داد که اطلاعات چگونه می توانند بدون نقض قانون دوم ترمودینامیک، تولید و نگهداری شوند.

کمترین نیازهای معماری سیستم های تولید کننده اطلاعات این است که آنها باید برای تبادل ماده و انرژی باز باشد و از تعادل ترمودینامیکی دور باشد. تعادل حالتی است که در آن همه گرادیان های یک سیستم ناپدید شده اند. گرادیان ها ممکن است طبیعت شیمیایی یا حرارتی داشته باشند، یا ممکن است انواع دیگری از ناهمگنی مثل اختلاف فشار را نمایش دهند. وقتی حالت همگن تعادل به دست بیاید، سیستم قرینه است و همه نواحی درون آن از یکدیگر غیر قابل تشخیص اند. سیستم ها را می توان به دو نوع تقسیم کرد، سیستم های نزدیک به حالت تعادل و سیستم های دور از تعادل.

مفهوم تعادل را می توان با تصویر وان حمام پر از آبی نشان داد. اگر آب به خوبی مخلوط شده باشد، گرادیان های حرارتی از پیش موجود خنثی می شوند و دمای سطح آب وان با دمای پایین ترین نقطه آن یکسان خواهد بود. در این زمان سیستم در حالت تعادل گرمایی است. فرض کنیم که شما می توانید خودتان را طوری کوچک کنید که، وان حمام، نسبت به وجود کاهیده شما به بزرگی اقیانوس اطلس به نظر برسد. اگر در این حالت درهم فشرده می خواستید سفری به آن طرف اقیانوس اطلس بکنید، متوجه می شدید که صرف نظر از جهتی که در آن سفر می کردید همه چیز یکسان به نظر می رسد. به علت همگن بودن پیرامون شما و عدم توانایی تان در تشخیص یک مکان از مکانی دیگر، هیچ تصویری از این که از حجمی از فضا عبور کرده اید نداشتید. علاوه بر این ممکن بود تصور ضعیفی از زمان داشته باشید، چون هیچ رویداد خارجی رخ نمی داد که به شما کمک کند تا متوجه سپری شدن زمان شوید. اما، اگر ته وان را سوراخ می کردیم و شیر آب جوش را از بالا روی آب باز می کردیم و آب ته وان را با یخ سرد می کردیم، گرادیان حرارتی در وان از بالا به پایین برقرار می شد. در این حال حرارت آب دیگر نمی توانست یکنواخت باشد و تقارن سیستم از بین می رفت. در این زمان سیستم از تعادل ترمودینامیکی جا به جا می شد. لغت ترمودینامیک تاکید می کند که تعادل گرمایی پدیده ای دینامیک است. اکنون اگر می خواستید خود را مجدداً کوچک کنید و یک بار دیگر از این مسیر عبور کنید متوجه می شوید که اگر در یک جهت حرکت می کردید دمای آب بیشتر می شد در حالی که در مسیر دیگری دما ثابت می ماند و یا کاهش می یافت. وجود اختلاف دماهای موضعی، شما را قادر می ساخت که مفهومی از جهت، حس تغییر مکان، عدم تجانس منطقه ای، و فضا و زمان به دست آورید. از این رو گرچه سیستم های دارای تعادل

متجانس و عاری از اطلاعات هستند، ولی سیستم هایی که از تعادل دور می شوند، تقارن شان می شکند و لبریز از اطلاعات خود ساخته اند.

حالت عدم تعادل با مصرف مداوم ماده و انرژی حفظ می شود. این حالت، به جریان آب در میان وان، و انرژی لازم برای جوش آوردن آب در یک انتها به اندازه ۱۰۰ درجه سانتیگراد و انجماد آن در صفر درجه در انتهای دیگر تعبیر می شود. اگر سوراخ داخل وان را تعمیر می کردیم و شیر آب داغ را هم می بستیم، سیستم بسته می شد و نمی توانست با محیطش ماده تبادل کند. هم چنین اگر برق قطع می شد، انرژی لازم برای جوشاندن و منجمد کردن آب دیگر عملی نمی بود. از این رو سیستم نمی توانست با پیرامونش تبادل انرژی کند. اگر این اتفاق می افتاد، در این صورت گرادیان حرارتی وان ناپدید می شد و همه نواحی آن به دمای یکسانی دست می یافتند و سیستم به تعادل ترمودینامیکی می رسید.

فاصله یک سیستم از تعادل با اندازه گرادیان آن سیستم تخمین زده می شود. این اندازه نشان می دهد که به دست آوردن تعادل برای آن سیستم چقدر آسان است. اگر درجه دمای آب در یک انتها ۱۰۰ و در انتهای دیگر صفر درجه سانتیگراد باشد، گرادیان حرارتی شدید است و سیستم دور از تعادل است. از طرف دیگر اگر درجه حرارت آب در یک انتها ۴۰ درجه و در انتهای دیگر ۳۷ درجه باشد، گرادیان سیستم قابل چشم پوشی است. در این مورد خاص، تعادل نسبتاً راحت به دست می آید و سیستم به تعادل نزدیک است.

برعکس سیستم های نامتعادل که پذیرای تبادل ماده و انرژی هستند، یک شیشه گاز برم، سیستمی نزدیک به تعادل است که نسبت به تبادل ماده و انرژی با محیط، بسته است. جریان ماده و انرژی درون موجودات زنده گرادیان هایی تولید و حفظ می کنند که مبنای نظم آنها است. عدم توانایی سیستم های بسته برای ائتلاف کردن ماده و انرژی، آنها را از تولید اطلاعات ناتوان می کند. یک شیشه برم، سیستمی کم انرژی است که حاوی تعداد هنگفتی عناصر مولکولی یکسان است، که به خاطر شعاع عمل کم، با همسایگان خود برهم کنش ضعیفی دارند. هر ملکول مستقل از همراهانش حرکت می کند و هیچ مشارکتی در بین نیست. رفتار این نوع سیستم های بسته غیرمتعادل می تواند با استفاده از معادلات ریاضی خطی مدل سازی شود. معادلات خطی روابطی را بین متغیرهایی که به شکل خطی و قابل پیش بینی به هم وابسته اند، شرح می دهند، برای مثال اگر اولین متغیر به اندازه یک واحد افزایش یابد، دومین متغیر ممکن است دو واحد افزایش یابد. قابل پیش بینی بودن طبیعت معادلات خطی به این معنی است که راه حل های آنها را می توان با دقت زیاد و قطعیت محاسبه کرد.

برعکس سیستم های متعادل، موجودات زنده و برخی از ساختارهای غیر زنده معین، سیستم هایی با انرژی بالا هستند که از اجزای متفاوتی ساخته شده اند، که اغلب برهم کنشی قوی بر یکدیگر دارند. این مسئله منجر به پدیدار شدن رفتار منسجمی از رتبه بالاتر می شود. رفتار هر جزء، به بسیاری از دیگر اجزای درون شبکه که فواصل قابل ملاحظه ای دارند وابسته است، که معنی آن این است که رفتار موضعی می تواند نتایج دوررس و وسیع داشته باشد. این نوع سیستم های غیر متعادل بسیار همبسته نمی توانند با استفاده از معادلات خطی به دقت مدلسازی شوند و در عوض نیاز به معادلات غیر خطی دارند. برعکس معادلات خطی، معادلات غیرخطی نسبت به شرایط اولیه بسیار حساس هستند، به طوری که کوچکترین افزایش یا کاهش در مقدار یک متغیر می تواند توسط شبکه اجزای به هم پیوسته بسیار تقویت شود. در حالی که متغیرهای معادلات خطی به طریقی ساده و تصاعدی به هم وابسته اند، در معادلات غیرخطی ممکن است که این متغیرها مجذور شوند یا به توانهای بالاتر برسند. اگر معادلات را به شکل یک نمودار رسم کنیم، معادلات خطی خط مستقیم می سازند در صورتی که معادلات غیرخطی، اشکال پیچیده تولید می کنند که حل کردنشان بسیار مشکل تر است. اما، کامپیوترهای قدرتمند جدید، اجازه می دهند که این معادلات سخت، که سابقاً غیر قابل حل می نمودند با سهولت نسبی حل شوند. حتی در این حالت، حساسیت این معادلات به جزئیات شرایط اولیه به این معنی است که حتی یک بی دقتی کوچک در اندازه گیری به شدت بزرگ می شود. ناتوانی ما از این که شرایط اولیه ای با دقت بینهایت تعریف کنیم، به این معنی است که رفتار معادلات غیر خطی شامل عناصری غیر قابل پیش بینی است. هرچه بی دقتی اندازه گیری بیشتر باشد این ناپایداری ها عمده تر خواهند بود.

سیستم هایی که در مقابل تبادل ماده و انرژی بسته اند می توانند به راحتی به تعادل برسند. در ظرف برم، تعادل عبارت از موقعیتی است که در آن ملکولها بیشترین بی نظمی را داشته باشند. از طرف دیگر، سیستم های باز، با جریان پیوسته ای از ماده و انرژی که ناشی از محیط آنهاست، پیش می روند. اتلاف ماده و انرژی، سیستم های دارای انرژی را قادر به تولید اطلاعات و تداوم آن می کند. این سیستم ها، مانند قلعه ای شنی هستند که تدریجاً توسط جزر و مد ساییده می شود. اگر آن را به حال خود بگذاریم به زودی متلاشی می شود و به وضعیت ساحلی در می آید که بیشترین احتمال وقوع را دارد و آن ساحلی بی شکل و بی نظم است. اما، اگر زمانی که به ساختمان قلعه خسارت وارد می شد آن را تعمیر می کردیم، ساختمان قلعه حفظ می شد. مطمئناً دانه های شن قلعه اولیه نمی توانند عین دانه های قلعه بعدی باشند، ولی به هر حال طرح کلی آن برای مدت نامحدودی محفوظ می ماند.

نتیجتاً، منشأ حیات باید دقیقاً به منشأ سیستم های غیر خطی باز دور از تعادل که ماده و انرژی رد و بدل می کنند، وابسته باشد. این گونه سیستم های نامتعادل، برعکس سیستم های متعادل، قادرند که از چیزهای کاملاً تصادفی اطلاعات تولید کنند. اگر بتوانیم نشان دهیم که این نوع سیستم ها قادرند به طور طبیعی و خود به خود به وجود آیند، سازوکاری مقدماتی را بنا نهاده ایم که استخوان بندی ابتدایی ترین اشکال حیات می تواند از آن سرچشمه گرفته باشد. در جایی که جاده سیستم های متعادل توسط قانون دوم ترمودینامیک صاف می شود، سیستم های زنده، ساختمان اطلاعاتی خود را، از طریق نابود کردن اطلاعات پیرامون خود، حفظ می کنند. اما، همان طور که خواهیم دید، فقط انواع معینی از سیستم های نامتعادل قادر به تولید فرآیند حیات هستند.

قانون دوم ترمودینامیک با مدل ذهنی مشخصی از سیستم فرمول بندی شد، که سیستمی است بسته و نزدیک به تعادل که بی شباهت به شیشه برم مذکور نیست. اما، سیستم های باز و دور از تعادل بسیار پیچیده تر از سیستم های بسته و نزدیک به تعادل هستند. دانستن تفاوت بین آنها، برای فهم نظام موجودات زنده اهمیت اساسی دارد. گرچه سیستم های باز و دور از تعادل قادر به تولید و تداوم اطلاعات هستند، ولی نظم موضعی آنها به بهای افزایش سراسری بی نظمی در محیط اطراف شان به دست می آید. از این رو سیستم های دور از تعادل و باز، نظم اطراف خود را انگلی می کنند و با طمع ورزی، نظم خود را به بهای تنزل محتوای اطلاعاتی محیط خود به دست می آورند. به قول ایلینا پریگوگین^۱، نظم موجودات زنده " روی بی نظمی شناور است". بنابراین، به هیچ عنوان قانون دوم ترمودینامیک نقض نمی شود. به این ترتیب، تناقض ظاهری وجود اطلاعات در دنیایی که تحت کنترل قانون دوم ترمودینامیک است، مترسکی بیش نیست. درواقع اصلاً تناقضی در کار نیست.

قبل از بررسی تفصیلی تر ساختار سیستم های مولد اطلاعات، زمان کوتاهی را برای بررسی سیستم های بسته و نزدیک به تعادل، که فاقد نظم میکروسکوپی هستند اختصاص خواهیم داد. اولین دلیل این که چرا سیستم های بسته و نزدیک به تعادل، مانند یک شیشه گاز برم منتشر شده، با سماجت تمایل به حالت آشفته ای دارند که در آن اطلاعات نابود می شود، توسط نظریه ترمودینامیک استاتیک فراهم شد که از مطالعات سادی کارنو^۲، لودویک بولتزمن^۳ و جیمز کلارک ماکسول^۴ ناشی شده بود. این نظریه بیان می کرد که ناپایداری اطلاعات ناشی از این حقیقت است که به طور ذاتی، حالت های غنی از اطلاعات در مقایسه با حالت های بی نظم احتمال کمتری دارند. اصول زیربنای ترمودینامیک استاتیک را می توان به طریق زیر درک کرد.

تصور کنید که یک بچه مدرسه روپات روی یک پله توری غول پیکر، شبیه آنهایی که در عملیات تمرین نظامی استفاده می شود و بلند به طرف آسمان کشیده شده است، رها شده باشد. روپات نمایش دهنده مولکول برم است و طناب های متقاطع پله توری مانند یک زمین بازی است که ملکول می تواند در آن به کاوش بپردازد. بچه مدرسه روپات، درست مانند همپتان ببولوژیک اش میل دارد که بدون هدف و بی پروا اینجا و آنجا پرسه بزند. به همین ترتیب، مولکولهای برم در نتیجه

^۱ Ilya Prigogine

^۲ Sadi Carnot

^۳ Ludwig Boltzman

^۴ James Clark Maxwell

انرژی گرمایی که از برخورد با ملکولهای هوا به آنها منتقل می شود به حرکت در می آیند. اما، برعکس بچه مدرسه ای های واقعی، ربات ها فاقد اراده هستند. هر چه دمای پیرامون بیشتر باشد، روبات سریع تر حرکت می کند و تنها راه برای از جنبش واداشتن ربات این است که آن را تا سردترین دمای ممکن، که درجه صفر مطلق است (۲۷۳- کلوین)، منجمد کنیم. در عمل، می توان این کار را به روش بهتری انجام داد، یعنی باتری هایش را برداشت. چون روبات فاقد اراده آزاد است، نسبت به مسیر حرکت در پله توری بی تفاوت است. نتیجتاً می تواند در تور بالا برود، پایین بیاید، یا قطری، به خط صاف یا زیگززاک و در مسیر های مختلف زیادی حرکت کند. چون روبات نسبت به پیرامون خود بی تفاوت است، هر جا که باشد راضی است.

روبات آزاد است که همه چهارخانه های پله توری را، که همان فضای حالت های سیستم است، بکاود. اکنون فرض می کنیم که ربات را آزاد گذاشته ایم که برای روزهای متوالی این فضا را کاوش کند. فرض می کنیم که ۱۰۰۰ چهارخانه روی پله توری قرار داشته باشد که هر کدام با ریسمان های متقاطع شکل گرفته اند. بنابراین فضای دوبعدی جهان پله توری که روبات در آن جای دارد ۱۰۰۰ حالت ممکن را در بر می گیرد. چون همه نواحی تور یکسان هستند و روبات برای هیچکدام از مختصات روی تور مزیت خاصی قائل نیست، بنابراین احتمال وقوع هیچ یک از حالات بیش از دیگری نیست. اگر ما، در مقام مدیران مدرسه هنگام جستجوی این شاگرد مکانیکی سرکش، بتوانیم توسط ریموت کنترل آن را خاموش کنیم و بعد به جستجوی آن بپردازیم، اولین بار یک در هزار شانس برای یافتن او داریم.

حال تصور کنید که دو شاگرد روبات درون چهارخانه های مجاور در گوشه پله توری قرار دهیم و باطری هایشان را در بیاوریم. هرکدام از آنها هم نسبت به حضور روبات دیگر و هم نسبت به موقعیت خودش بی تفاوت است. گذاشتن روبات ها در کنار هم در گوشه جهان پله توری، پیکر بندی منظمی است که حالت بسیار بعیدی را نمایش می دهد. اگر بر آن بودیم که باطری هایشان را سرچایش بگذاریم و اجازه دهیم که روی تور برای چند روز پرسه بزنند، احتمال یافتن هر کدام از آنها یک در هزار باقی می ماند. چون احتمال ها در هم ضرب می شوند بنابراین احتمال یافتن روبات ها در مکان اولیه شان یک هزارم ضرب در یک هزارم است که می شود یک در میلیون. بنابراین واضح است که حتی در یک جهان پله توری نسبتاً محدود و کم جمعیت، احتمال آرایش منظم، بسیار کمتر از آرایشی است که روبات ها به طور تصادفی در آن قرار می گیرند. نتیجتاً، بازی های تنها دو شاگرد روبات می تواند حتی صبورترین مدیران مدرسه را هم به ستوه بیاورد.

هر چه تور بزرگتر و تعداد روبات ها بیشتر باشد، احتمال آرایش منظم آنها کمتر و یافتن هر روبات معین سخت تر می شود. مثلاً اگر می خواستیم اندازه تور را به ۱۰۰،۰۰۰ چهارخانه افزایش دهیم، احتمال یافتن یک روبات یک در صد هزار می شد. و احتمال یافتن دو ربات در مکان های اولیه شان یک در ده میلیارد می شد. با آگاهی از این که آرایش های منظم غنی از اطلاعات به طور ذاتی غیر محتمل هستند، اکنون آسان تر می توانیم درک کنیم که چرا اطلاعات تمایل دارند به آرایش های متعدد دیگری که نامنظمند و احتمال بیشتری دارند، فرو بپاشند.

اکنون می خواهم فرض کنم که پله توری از زمین تا ماه کشیده شده است و شامل یک میلیون کوادرلیون یا 10^{21} چهارخانه است. این تور حتماً بسیار بزرگ است چون به مدرسه ای تعلق دارد که ده میلیون (10^7) شاگرد روبات دارد. مدیر مدرسه مسئول این کلاس درک می کند که هرگونه کوشش برای این که حساب هر شاگرد را جدا نگه دارد، عبث است. با وجود این، اولین بار شانس او برای یافتن هر شاگرد، تنها یک در سکستیلیون (10^{21}) است. در جهان پله توری با این وسعت، که ده میلیون روبات در نقاط پرت و مجزای آن جای گرفته اند، تعداد پراکندگی های مربوط به آرایش غیر منظم بسیار بیشتر از مجموعه کوچکتری است که مربوط به آرایش منظم است. نتیجه اجتناب ناپذیر این عدم تجانس، فروپاشی آرایش های منظم ربات ها به آرایش های نامنظم و تصادفی است. این مسئله به این واقعیت بستگی دارد که همه مکان ها در جهان پله توری،

هم به علت بی تفاوتی روبات ها و هم به علت فقدان جذب کننده ای^۵ که بتواند آنها را با احتمالی برابر به سمت نواحی معینی بکشد، احتمال یکسانی دارند.

باوجود این که مدیر مدرسه در مورد مکان هر شاگرد اطلاعات ندارد ولی از خود سوال می کند که آیا می تواند رفتار کل کلاس را پیش بینی کند. بنا براین تجربه زیر را در رویای خود می پرورد. او همه ده میلیون روبات را در چهارخانه های کنارهم در گوشه ای از تور جای می دهد. سپس باطری های آنها را بیرون می آورد و همه روبات را به رنگ قرمز رنگ آمیزی می کند. سپس مجدداً باطری آنها را سرجایش می گذارد و اجازه می دهد که به روش معمول گردش کنند. با استفاده از تلسکوپ عظیمی که مخصوصاً با زاویه دید زیاد ساخته شده، روی تمام تور متمرکز می شود و چنان که انگار ببری را با احتیاط تعقیب می کند، روی صندلی راحتی اش می نشیند و صبورانه منتظر می ماند تا رویدادها آشکار شوند.

گرچه مدیر نمی تواند روبات های تنها را ببیند، ولی می بیند که رنگ قرمز به آهستگی و منظم از گوشه تور پراکنده میشود و سپس به آرامی در سراسر تور پراکنده می شود و سرانجام به طور یکنواخت قرمز به نظر می رسد. مدیر مدرسه تجربه را چندین بار تکرار می کند و متوجه می شود که هر بار نتیجه یکسانی به دست می آید. به نظر می رسد که روبات ها، وقتی به صورت گروهی عمل می کنند، رفتارشان قابل پیش بینی است و نظم سراسری از بی نظمی محلی پدیدار می شود. از این رو با وجود این که تغییر مکان های فردی روبات ها غیرقابل پیش بینی است، ولی تعداد بیشماری از آنها، ناخواسته با یکدیگر همکاری می کنند تا رفتاری از مرتبه بالاتر بسازند که نماینده بیشترین بی نظمی است. بنابراین وقتی که روبات های شاگرد مدرسه به حال خود رها می شوند، اطلاعات را به روشی منحصر به فرد ولی در عین حال قابل پیش بینی نابود می کنند.

مدیر مدرسه، بعد از این نتیجه گیری، تصمیم می گیرد تحقیق کند که آیا نظم کلی رفتار روبات ها در سطح فردی نیز قابل تمیز است. از این رو آزمایش دیگری انجام می دهد. ده هزار روبات را به طور تصادفی انتخاب و به رنگ آبی در می آورد. سپس آنها را در گوشه ای از تور با بقیه روبات ها قرار می دهد و رها می کند. با وجود این که همیشه در انتهای هر آزمایش نتیجه یکسان و غیرقابل اجتنابی حاصل می شود که همان دریای یکنواخت قرمز رنگ است، ولی نقطه های آبی شناور در دریای سرخ، مکرراً طرح پراکندگی شان را تغییر می دهند و هرگز در هیچ لحظه ای دوباره در نقطه قبلی یا در هیچ موقعیت جدایی ظاهر نمی شوند. از این رو با وجود این که می توان پیش بینی کرد که ساختمان منظم خوشه ای از ده میلیارد روبات تبدیل به توزیع یکنواخت و نامنظم شود، اما در مورد موقعیت محلی هیچ یک از آنها چیزی نمی توان گفت. در حقیقت رفتارهای آماری اشیاء بیشمار، از دادن اطلاعات در مورد جزئیات سرباز می زنند. گرچه کشفیات مدیر مدرسه به او کمک می کند که نتایج کلی در باره کلاس رباتیک خود به دست آورد، ولی هرگز نمی تواند بصیرتی برای او فراهم کند تا به حل عدم قطعیت در سطح محلی کمک کند. در حقیقت مکان و رفتار هر روبات معین هیچوقت در اختیار او قرار نخواهد گرفت.

گازها، ازجمله برم، شامل حدود ده میلیارد میلیارد مولکول در سانتیمتر مکعب هستند که در فضاهای حالت عظیمی که مشابه پله توری است و نه تنها دو بعد بلکه سه بعد دارد، به طور تصادفی حرکت می کنند. مولکول های برم مانند روبات های شاگرد مدرسه رفتار می کنند و وقتی که از مکان اولیه خود رها می شوند، تمایل دارند که به طور تصادفی تمام مکان ها را در فضای شبه تور سه بعدی خود سیاحت کنند. ولی مولکولها، به جای نیرو گرفتن از باطری ها، با استفاده از انرژی گرمایی محیط بی وقفه به جنبش در می آیند. چون حالت منظمی که در آن مولکول ها در یک ناحیه از فضای بالقوه حالت ها خوشه تشکیل بدهند بسیار بعید است، سیستم سرانجام به حالت احتمال بیشینه فروخواهد پاشید. این حالت متناظر موقعیت غیر منظمی است که در آن همه نواحی فضای حالت با بسامدی تقریباً یکسان بازدید می شوند. نتیجه ماکروسکوپی این ناخنک زدن پیوسته به فضای حالت، رنگ قهوه ای یکنواخت شیشه برم است. احتمال این که مولکولهای برم به حالت غنی از اطلاعات بازگردند (یعنی خوشه تشکیل بدهند) آنقدر کم است که درواقع احتمال آن وجود ندارد.

از این رو محتمل ترین آرایش برای عناصر یکسان بیشماری که در فضایی قرار گرفته باشند، آرایشی تصادفی است که دائماً شکل پراکندگی خود را تغییر می دهد و نواحی مختلف فضای حالات آن تقریباً با بسامد یکسان ناخنک زده می شود. قوانین آماری فیزیک مبتنی بر این هستند که ماده منظمی که از تحریک حرارتی نیرو می گیرد، تمایل دارد که به حالتی که بیشترین احتمال را دارد تنزل یابد. و با همه این احوال، حیات، که اولین تجسم پیچیدگی منظم است، مسلط می شود. بنابراین آیا پدیده حیات ملتمسانه از ما می خواهد که بپذیریم عاملی خارجی ماوراء قوانین فیزیک و شیمی قرار دارد؟ هم چنان که قبلاً گفته ایم، جواب موقداً منفی است. برعکس ملکولهای برم پراکنده در ظرف، یا شاگرد مدرسه های ربات سرگردان در پله توری، سیستم های زنده دوران تعادل و آماده تبادل ماده و انرژی با محیط خود هستند. هیچ رازی پیرامون تولید و تداوم اطلاعات حیات وجود ندارد، چون حیات، بدون مطالبه بهای خود، که همانا نابودی نسبی اطلاعات محیط و نتیجتاً افزایش بی نظمی آن است، به دست نمی آید. چشم در برابر چشم و دندان اطلاعات در برابر دندان اطلاعات.

در سیستم های زنده، واحدهای ساختمانی یکسان نیستند و قویا باهم برهم کنش دارند. نتیجتاً، روبات ها در تمثیل جهان پله توری، دیگر همزادهای مشابه و غیر اجتماعی نیستند، بلکه باهم اشتراک مساعی می کنند و شبکه های بهم پیوسته را تشکیل می دهند. به این دلیل و نیز به دلیل ساختار باز و دور از تعادل خود، قادرند، به جای بازدید از همه نواحی فضای حالت با بسامد یکسان، کاوش خود را به بخشی از همه حالت های ممکن محدود کنند. طبیعت و اندازه فشرده گی فضای حالات، تحت تاثیر معماری و دینامیک عناصری است که از آن ساخته شده اند. از این رو شرایط حیات متناظر با موقعیتی است که در آن آهنرباهای بی اندازه قدرتمند در جهان پله توری پراکنده شده اند. به محض این که ربات ها از مکان اولیه شان رها می شوند، دیگر به طور تصادفی در فضای حالات خود سیر نمی کنند، بلکه در عوض تحت تاثیر نیروی جذب کننده آهنربا قرار می گیرند. هر آهنربا ناحیه نفوذ خود را دارد و ربای که داخل حوزه جاذبه اش شود به طرفش کشیده می شود. گرچه وسعت فضای حالات بالقوه تغییر نمی کند ولی تعداد حالت های قابل بازدید برای ربات ها، به طور عمده ای کاهش می یابد. ساختارهای حیات کاملاً به این جهت گیری پرماجرایی احتمالات وابسته اند. از این رو قرعه حیات سنگین تر می شود.

در سیستم های زنده، به جای این که ربات ها روی تور، طبق پیش بینی قوانین احتمالات به طور تصادفی پراکنده شوند، در آرایشی منظم باقی می مانند. بنابراین با وجود تهدید دائمی ترمالیزاسیون^۱، قادرند لنگر ببندازند و الگویشان را حفظ کنند. از طرف دیگر نبود حیات، معادل موقعیتی است که خوشه ربات ها شکل خود را از دست می دهند و به حالتی که بیشترین احتمال را دارد فرومی پاشند، یعنی حالت توزیع یکنواخت و تصادفی. بنابراین، حیات از شرایطی مشابه سرد کردن ربات ها تا درجه صفر مطلق تقلید می کند. در این دما، موتور حرارتی محیط که ترمالیزاسیون را می راند خاموش می شود و پدیده های آماری دیگر مطرح نیستند. از این رو، گرچه حیات قوانین احتمال را خراب نمی کند، ولی خروجی آنها را تغییر می دهد و موجودات زنده طوری رفتار می کنند که انگار از دنیای پدیده های آماری پس زده شده اند.

اروین شرودینگر^۲، در کتاب "حیات چیست" که در سال ۱۹۴۴ منتشر شده است، تلاش برای فهم مکانیک حیات را با آشفتگی مهندسی مقایسه کرده است که با موتورهای بخار آشناست و با یک موتور الکتریکی مواجه می شود. ولی آشفتگی او ممکن است مدت کوتاهی دوام داشته باشد، چون زمانی که فرصت کند موتور را آزمایش کند، به سرعت تشخیص می دهد که ساختمان آن از یک اصل کارکردی بنیادی پیروی می کند. شرودینگر اندیشید که "گرچه ماده زنده از قوانینی فیزیکی که تا کنون ثابت شده تخطی نمی کند" ولی "احتمال دارد که نیازمند قوانین دیگر فیزیک باشد که تا کنون ناشناخته مانده اند، و در هر صورت زمانی که این قوانین آشکار شوند، به اندازه همان علوم قبلی، کامل خواهند بود". علاوه بر این، آشکار شدن منظم و قانونمند رویدادهای حیات، "توسط سازو کاری کاملاً متفاوت از احتمالات فیزیک هدایت می شوند" و موضوعی است که "

^۱ Thermalization (*).
^۲ Erwin Schrodinger

در هر جای دیگری به جز ماده زنده ناشناخته است. فیزیكدان و شیمی دان، که در مورد ماده بیجان تحقیق می کنند، هیچوقت شاهد پدیده ای نبوده اند که چنین تفسیری داشته باشد. این مورد ظاهر نشد و بنابراین تئوری ما شامل آن نمی شود ... "

گمان معقولی است که قوانین ناشناخته فیزیک که شرویدینگر به آن گریز می زد، قوانینی باشند که به قوانین پیچیدگی معروف شده اند؛ قوانینی که به حد بلوغ رسیده اند و در حال فرمول بندی هستند، و ممکن است بصیرتی بنیادی به رفتار دینامیک سیستم های به هم پیوسته باز و دور از تعادل فراهم کنند. قوانین پیچیدگی نشان می دهند که چگونه سیستم های غیر متعادل قادرند فشارهای ترمالیزاسیون را خنثی کنند، فشارهایی که تلاش می کنند این سیستم ها را به شکلی تصادفی به فضای حالت هایشان برانند.

به دلیل دینامیک طبیعی سیستم های غیرمتعادل بهم پیوسته، نواحی وسیعی از فضای حالت آنها مناطق ممنوعه و خراب هستند. این مسئله به طور چشمگیری با سیستم های متعادل تصادفی تناقض دارد، که با آزادی می توانند فضای حالت های خود را در کمال مصونیت کاوش کنند، و به همین دلیل از تولید اطلاعات ناتوان هستند.

ولی چگونه کاوش در فضای حالت محدود می شود و منبع نظم حیات چیست؟ ماکس پلانک بین دو نوع نظم فرق گذاشت. اولین آن نظم است که از بی نظمی بر می خیزد و به قوانینی آماری اشاره دارد که رفتار دسته جمعی تعداد بیشماری از عناصر مستقل را وصف می کنند. دومی، نظم است که از نظم قبلاً موجود برمی خیزد. مثالی برای اصل " نظم برخاسته از نظم "، هینت سیارات در منظومه شمسی است که در هر لحظه، نتیجه مستقیم همه حالت های قبلی اش است. اصلی که حرکت ساعت مانند سیارات را معین می کند، به پدیده های آماری توسل نمی جوید و منحصرأ بر پایه قانون جاذبه نیوتن قرار گرفته است. با فرض یک صورت فلکی، تغییر مکان های قاعده مند سیارات تا ابد ادامه خواهند داشت. برعکس سیستم های آماری، حرکت سیارات می تواند با کاربرد قوانین محض مکانیکی فهمیده شود، قوانینی که تضمین می کند صورت های نظم گذشته بر آینده نیز منقوش شود.

از طرف دیگر، اصل " ظهور نظم از بی نظمی " بر بنیان های آماری پدیده ای قرار گرفته است که نیازمند اجزاء بیشماری است. شرویدینگر استدلال می کرد که احتمال کمی وجود دارد که موجودات زنده بتوانند نظم خود را، دقیقاً به خاطر تعداد زیاد عناصری که لازم است دست اندرکار باشند، از چنین منبعی استنتاج کنند. به این ترتیب او اشاره کرد که نظم موجودات زنده از اصل " نظم برخاسته از نظم " ناشی شده است. شرویدینگر در استنتاج خود، بنیان هایی برای نمونه و الگوی اصلی بیولوژی مدرن برقرار کرد. و آن این بود که اطلاعات حیات معاصر از اجرای برنامه دیجیتالی که به زبان دی.ان.ا ی ژن نوشته شده ناشی می شود و هر برنامه ژنتیک خود با یک برنامه ازپیش موجود اجدادی نوشته شده است.

در ۱۹۴۴ اوسوالد اوری^۸، کالین مک لنود^۹ و مک لین مک کارتی^{۱۰} نشان دادند که اصل ژنتیک " نظم برخاسته از نظم " موجودات کنونی در دی.ان.ا قرار دارد. توضیح ساختمان سه بعدی دی.ان.ا توسط واتسون و کریک ثابت کرد که چگونه اطلاعات اساسی حیات می تواند به صورت دیجیتال در ترکیبات خطی بازهای C، T، G و A که دی.ان.ا از آنها ساخته شده است نمایش داده شوند. همچنین این نظریه توضیح داد که اطلاعات چگونه تکثیر می یابند. دی.ان.ا، عملاً بنیان شیمیایی همه روش های معاصر ذخیره اطلاعات بیولوژیک را تشکیل می دهد. به نظر می رسد ژنهای ساخته شده از دی.ان.ا یا سایر مواد شیمیایی دیجیتال پیشگامانی ضروری باشند که اطلاعات همه حیات از آنها سرچشمه گرفته است. از این الگوی ژنتیک نتیجه گرفته می شود که حیات با یک ژن مادر بزرگ نخستین شروع شد، یعنی سرچشمه اصلی آنچه که ریچارد داوکینس^{۱۱} "رودخانه دیجیتال" اطلاعات ژنتیک نامیده است. رودخانه ای که از آغاز، در عمق زهدان بهشتی استعاری، در گستره زمان جاری است.

^۸ Oswald Avery
^۹ Colin MacLeod
^{۱۰} Maclyn McCarty
^{۱۱} Richard Dawkins

قبلاً این احتمال را بررسی کردیم که رودخانه دیجیتال نمی تواند مستقیماً از بهشت برآمده باشد. در حقیقت این رودخانه می تواند از رودخانه دیجیتال آر.ان.ا منشعب شده باشد و آن رودخانه هم، از رودخانه ای آکنده از ژنهای دیجیتال نخستین، پیش-ژن ها، و نمونه ژنها که طبیعت شیمیایی ناشناخته ای دارند منشعب شده باشد. وقتی اظهار می کنیم که حیات بدون ژن آغاز شد و ژنها فقط بعداً در پی فرآیند آلودگی، به تملک موجودات آنالوگ فاقد ژن درآمدند، متوجه می شویم که در حقیقت، سرچشمه غائی رودخانه دیجیتال دی.ان.ا به هیچ وجه نمی تواند درون یک بهشت دیجیتال قرار داشته باشد. گرچه دی.ان.ا ساختمان اطلاعاتی حیات کنونی را مشخص می کند، ولی ممکن است که اصل "نظم برخاسته از نظم" از ساختمان اطلاعاتی اولین موجودات زنده پشتیبانی نکرده باشد. درواقع ممکن است که بهشت، پناهگاهی آنالوگ و فاقد ژن بوده باشد. اگر این موضوع حقیقت داشته باشد، در این صورت، اولین موجودات بر روی زمین های جهان قدیمی فاقد ژن آنالوگ گام گذاشته اند. سرچشمه پیش ژن های دیجیتال فاقد حیات ممکن است به تاریخی قبل از کشف بهشت آنالوگ برگردد، ولی نیروهای بخت، رانش، تصادف، پیچیدگی و تکامل از طریق انتخاب طبیعی، دراین آزمایشگاه بدون ژن، هدیه گرانبها و آسیب پذیر حیات را کشف کردند.

البته بهشت لزوماً مکانی مجزا نبود. احتمال دارد که همزمان درچند حالت در مکان ها و صور ظاهری متعدد وجود داشت. در حقیقت بهشت، در هر گوشه یا شکاف زیر آب، که تجربه موفقی از حیات رخ داده بود، وجود داشت. گرچه تاریخ حیات ممکن است با بهشت های متعددی آغاز شده باشد، اما، بعید است که اعقاب به جای مانده از بیش از یک بهشت تاریخی ادامه یافته و نیاکان حیات معاصر باشند. کاوش های حیات در این باغ جادویی، نیاکانی را به وجود آورد که اطلاعاتشان تخم حیات را در روی زمین کاشت. یک کپی تنهای فاقد ژن، استعداد نهانی پچیدگی خود را توسط طیف گوناگونی از نواده های آلوده دیجیتال آشکار می کند، و به طور تصادفی در طول زمان و فضاهای متعدد گسترده چند بعدی اطلاعاتی پراکنده می شود.

ولی، رودخانه اطلاعات بیولوژیک برآمده از بهشت، یعنی سرچشمه اصلی کل حیات روی زمین، اصلاً نمی تواند دیجیتال باشد. حین سفر آرام در رودخانه آنالوگ که گذشته را به زمان حاضر پیوند می دهد، می بینیم که اگر حیات بدون ژن آغاز شد، به این دلیل است که منبع آنالوگ و فاقد ژن همه اطلاعات سرانجام به یک شاخه رود دیجیتال پیوست. این شاخه، زیر مجموعه کوچکی از انگل های پیش-ژن دیجیتال فاقد حیات بسیار کهن بود که در نتیجه آلودگی توانسته بودند اطلاعات دیجیتال خود را با اطلاعات آنالوگ میزبان های فاقد ژن خود درهم آمیزند. همین طور که به سفر در رودخانه استعاری اطلاعات بیولوژیک ادامه می دهیم، ممکن است لازم باشد قبل از این که آنها بلرزند و از اطلاعات دیجیتال آر.ان.ا و سرانجام دی.ان.ا پرسوند، فاصله ای طولانی را طی کنیم. کمی پایین تر که رودخانه به تعداد بیشمار جویبارهای مربوط به اطلاعات شخصی منشعب می شود، متوجه ظهور انشعاب جدیدی می شویم. درحالی که اطلاعات فراژنی مربوط به فرهنگ با اطلاعات دیجیتال دی.ان.ا آمیخته می شود، تاریخ خود را تکرار می کند و یک دور کامل می زند. اگر سفرخود را تا آینده ادامه دهیم نباید حیرت کنیم از این که رودخانه دی.ان.ا در محلی دیگر کف می کند و دوباره وارد گرداب می شود، و این مکانی است که اطلاعات از منبع دیگری می آید و با آن آمیخته و رقیق می شود و سرانجام جای اطلاعات به رمز در آمده زنجیره های قدیمی و فرسوده دی.ان.ا را می گیرد. سمبل های دی.ان.ا، اینک پس از گذشتن صدها میلیون سال از تاریخ مصرف، مانند فناوری های منسوخ قبل از خود، سرانجام ممکن است خودشان کنار بروند و به بایگانی های تاریخ احتمالی بازگردند.

گفتم که رفتار موجودات زنده طوری است که انگار در برابر اختلالات اطلاعاتی بالقوه که از تحریک حرارتی بسیار ناشی می شود، مصون هستند. به نظر می رسد که موجودات زنده، برخلاف سیستم های بسته متعادل که مطیع قوانین مستبد آماری هستند، مکانیکی ترعمل می کنند. در موجودات آشنای ما، توانایی تولید و تداوم اطلاعات هم به اصول "نظم برخاسته از نظم" ژنتیک بستگی دارد و هم به اصول سوخت و سازی که سیستم های غیر زنده فاقد آن هستند. به زودی روش تولید نظم متفاوتی را ملاحظه خواهیم کرد که قابل انتقال است و بر پایه اصول آنالوگ غیر دیجیتال قرار گرفته است. اما قبل از بررسی

کالبد ساختارهای تشکیل دهنده بدن نیاکان فرضی فاقد ژن خود، می توانیم ابتدا چگونگی فرار ژنها از آشفته‌گی و بی نظمی قوانین آماری و تقلید آنها از رفتار مکانیکی را بررسی کنیم.

پایه ایمنی گذرای حیات معاصر در برابر فروپاشی ناگزیر و تبدیل شدن به همه‌په بی شکل، خواص فناوری دیجیتال اطلاعات است، که اجازه می دهد اطلاعات اساسی در طول زمان حفظ شوند. مهم ترین این ویژگی ها شاید تغییر سمبل های مجزای دیجیتال به روش کوانتومی باشد. مثلاً در دی.ان.ا، هر کدام از سمبل های باز A، C، T یا G ممکن است دستخوش جهشی کوانتومی شوند و با یکی دیگر از سمبل های باقیمانده جایگزین شوند. سمبل ها همچنین می توانند به یک زنجیره اضافه یا از آن حذف شوند. ولی فرصتی برای تغییر پیوسته آنالوگ ندارند. مثلاً یک A نمی تواند به یک A/C که واسطه ای فرضی بین A و C است تغییر یابد. یا به یک A/T که ترکیبی فرضی از A و T است، تبدیل شود. این نیاز به جهش های کوانتومی و گسسته و نبود هر نوع امکان تغییر پیوسته، برای حفظ هویت ساختاری اصول " نظم برخاسته از نظم" دیجیتال حیاتی است.

پایداری نسبی اصول مختلف ژنتیک از طبیعت اتصالات شیمیایی درون و مابین سمبل های مولکولی تاثیر می پذیرد. این پایداری، هم چنین به محیطی که ژن در آن قرار دارد بستگی دارد. قدرت اطلاعات ذخیره شده در ژنهای معاصر به روش های متفاوتی به دست می آید. این روشها عبارتند از: ظرفیت غلط گیری و ویرایش دی.ان.ا و پلیمرازهای آن.ان.ا، پروتئین های نقطه بازرسی که رویدادهای تکثیر را می آزمایند، برنامه های نابود کننده ای که سلول هایی را که پایگاه داده دی.ان.ا ی آنها به طرز غیر قابل جبرانی آسیب دیده نابود می کنند، و سازوکارهای تعمیر که بر ساخت و تکثیر دی.ان.ا نظارت می کنند. این روش های مستقیم توسط گروهی از روش های غیر مستقیم تکمیل می شود، که شامل مکانیزم های هم ایستایی است که، محیط شیمیایی مجاور ژن ها و عوامل فیزیکی را در دی.ان.ا تنظیم می کند. همچنین احتمال دارد که عوامل دینامیک مانند سرعت ترکیب دی.ان.ا و نسخه برداری نیز در اینجا نقش بازی کنند، چون بازکردن دوکلاف دی.ان.ا از هم، می تواند باعث آسیب دیدگی فیزیکی و شیمیایی شود.

علاوه بر این به نظر می رسد که دستور زبان کد ژنتیک، طوری انتخاب شده که اثر جهش را به حداقل برساند. برای مثال، آمینواسیدهای مجزا، با بیش از یک کدون به رمز در آورده می شوند، تا هنگام تغییر اطلاعات زنجیره دی.ان.ا، یک جهش نقطه ای نتواند اطلاعات به رمز در آمده ژن را تغییر دهد. اگر جهش مورد نظر کدونی تولید کند که آمینو اسید متفاوتی را به رمز در می آورد، این رمز طوری ساخته می شود که آمینو اسید جدید از نظر شیمیایی شبیه آمینو اسید قبلی باشد. بعضی از ژن ها چیزی به نام گرایش کدون را نمایش می دهند، و از کدونی که فرکانسش بالاتر از سایر کدون هاست استفاده می کنند. علاوه بر این، به استثنای جایگاه های اتصال و جایگاه های فعال که عملکردی حیاتی دارند و شدیداً نسبت به تغییرات حساسند و نواحی دیگری که اهمیت ساختاری دارند، ساختمان ثالث پروتئین ها، به طور قابل توجهی در مقابل جابه جایی آمینواسیدها انعطاف دارند. در حقیقت مارپیچ های آلفا و ورقه های بتا که قطعات ضروری سازنده ساختمان ثالث هستند بسیار نیرومند هستند.

ناما باراکي و استانیسلاوس لیبلر^{۱۲} نظر داده اند که شبکه های سوخت و ساز تشکیل دهنده دستگاه های محاسباتی موجودات زنده، به خاطر عدم حساسیت به تغییرات انتخاب شده اند، که این مسئله نشان می دهد قدرت فعالیت جمعی ژن می تواند سطح دیگری از پایداری را به اصل " نظم برخاسته از نظم" ژنتیک اضافه کند. اگر نظم را معادل اطلاعات کلی درون واحد های مجزای توابع بیوشیمیایی در نظر بگیریم، دراین صورت ممکن است مدارهای ژنتیک و اطلاعات پروتئین های رمزدار متحمل خسارات گسترده ای شوند، بدون این که تاثیری بر ساختمان مرتبه بالاتری بگذارند که تابع محاسباتی مدار را مشخص می کند. شواهدی که از آزمایشات مربوط به ناکار کردن ژن ها به دست آمده نشان می دهد که عملکردهای چند ترازوی زیادی هم در سیستم های زنده دیده می شود. از این رو، اگر یک مدار به خطر بیافتد فعالیت آن اغلب توسط مدار دیگری ترمیم می شود.

^{۱۲} Stanislaws Laibler , Naama Baraki

بنابراین، اصل "نظم برخاسته از نظم" دی.ان.ا توسط سلسله مراتبی از اصول حافظ نظم پشتیبانی می شود؛ که بعید است تعداد زیادی از آنها در دسترس ژنهایی با مواد ساختمانی متفاوت باشند. برای مثال آر.ان.ا می تواند نواحی موضعی دوکلافی ایجاد کند، ولی نمی تواند ویژگی های ساختمان سراسری مارپیچ دوگانه دی.ان.ا را بپذیرد. یک آنزیم تعمیرکار آر.ان.ا، بدون کلاف مکملی که بتواند به عنوان نسخه مرجع منفی اطلاعات رمزدار به کار رود، هیچ نوع سابقه عینی از اطلاعات اساسی نخواهد داشت و نتیجتاً بعید است که قادر به کشف و مرمت آسیب دیدگی باشد.

جهش های کوانتومی با فرکانس محدودی در همه زنجیره های ژنتیک دیجیتال رخ می دهند. از این رو به نظر می رسد یک قطعه از دی.ان.ا یا هر زنجیره دیگر دیجیتال مانند یک تکه اورانیوم نیمه عمر داشته باشد. نیمه عمر زمانی است که طول می کشد تا نیمی از سمبل های دی.ان.ا در یک زنجیره خاص تجزیه و به سمبل متفاوتی تغییر یابند. گرچه می توانیم به طور وسیعی تخمین بزنیم که مقدار معینی اتم در تکه ای از اورانیوم در خلال زمان مشخصی از بین می روند، ولی قوانین فیزیک به ما اجازه نمی دهد تخمین بزنیم که کدام یک از اتم ها از بین می روند. زنجیره های دی.ان.ا نیز تمایل دارند به همین روش تصادفی و الله بختی تلاشی شوند. گرچه انحطاط آنها غیر قابل اجتناب است، ولی بعید است که الگوی آن در دو موقعیت جداگانه یکسان باشد؛ علاوه بر این، برخلاف اورانیوم و سایر اتم های رادیواکتیو که نرخ زوال ثابتی دارند، نرخ زوال دی.ان.ا تحت تاثیر محیط فیزیکی-شیمیایی آن قرار دارد.

شواهد اظهار می دارند که در برخی نمونه ها، روش تلاشی دی.ان.ا غیر تصادفی است. جهت دهی (سودهی)^{۱۳} به جهش ها، هم "نقاط گرم" و هم "نقاط سرد" را آشکار می کند که این نقاط بیشترین یا کمترین احتمال جهش را دارند، و هم می توانند بر جهت تغییرات در نقطه ای خاص تاثیر بگذارند. از این رو، گرچه نرخ جهش کلی لزوماً مستقل از زنجیره است، ولی نمونه هایی دیده می شوند که در آنها برخی نواحی یا موتیف^{۱۴} ها بیشتر از سایرین آماده تغییر هستند. این واقعیت که عموماً انواع معینی از خرابی دی.ان.ا بیشتر دیده می شود، رده دیگری از پیچیدگی را به اصل "نظم برخاسته از نظم" دی.ان.ا اضافه می کند. گرچه به دلیل این که تلاشی دی.ان.ا طبیعتی تصادفی دارد، نمی توان پیش بینی کرد که کدام نوکلئوتید خاص ممکن است در یک دوره زمانی جهش یابد، ولی زمانی که به یک مکان خاص ضربه وارد می شود، دیگر جهت تغییر تصادفی نیست. مثلاً، اگر یک باز A هدف گیری شود، مستعد این است که به C، G یا T تغییر یابد. انحراف جهت دار وقتی رخ می دهد که مثلاً احتمال تغییر یک باز A به C بیشتر از تغییر به G یا T باشد.

گرچه ممکن است بخواهیم به زنجیره ها نیمه عمر اختصاص دهیم، ولی این کار مشکل است، چون ضربه اطلاعاتی یک جهش به عوامل متعددی وابسته است. این عوامل عبارتند از مکان جهش، این که آیا یک سیگنال پایان نا بهنگام تولید شده است یا نه و آیا جهش خاموش بوده است یا نه، یعنی حالتی که در آن رشته پروتئین به رمز در آمده تغییر نمی کند. یک جهش تنها در زنجیره دی.ان.ا می تواند با تغییر فقط یک آمینو اسید، ساختمان و یا کارکرد پروتئین رمز دار را نابود کند یا عمیقاً تغییر دهد. بنابراین با وجود این که جهش، اثر نسبتاً کمی بر اطلاعات زنجیره دی.ان.ا می گذارد، ولی تاثیر کلی آن بر اطلاعات ژرف است. اضافه کردن یا حذف یک یا دو سمبل در ابتدای ژن، تاثیر اطلاعاتی ویرانگری دارد، چون قالب خواندن را جا به جا می کند و نتیجتاً زنجیره پروتئین کاملاً متفاوتی تولید می شود.

همچنین، نیمه عمر ژن به عوامل محیطی مانند تشعشع ماوراء بنفش یا مواد جهش زای (موتاژن) شیمیایی که نرخ زوال دی.ان.ا را افزایش می دهند، حساس است. برای مثال، مولکول های اکسیژن واکنش پذیر (راکتیو) که اجازه می دهد سلول ها روی سطح خود به سیگنال ها پاسخ دهند، و محصولاتی سمی هستند که در نتیجه سوخت و سازهای متعدد تولید می شوند، آسیب های زیادی به دی.ان.ا می زنند. حتی آب که برای نگهداری ساختمان دی.ان.ا ضروری است ممکن است به آن حمله کند و محتوای اطلاعاتی آن را نابود کند. چون دی.ان.ا، به طور پیوسته در معرض چنین خطراتی قرار دارد، به طور حیاتی

^{۱۳} Biasing
^{۱۴} Motif نقش مایه

به راهبردهایی وابسته است که به هنگام تحمل صدمات، کمترین تاثیر را بر اطلاعات می گذارد. سازو کارهای کشف و ترمیم جهش ها یکی از مهم ترین راههای تغییر نیمه عمر زنجیره های ژنتیک را تشکیل می دهند. این سازوکار ها شامل ترمیم برش باز^{۱۵} (BER) است که بازهای ناهماهنگ یا بازهایی را که از نظر شیمیایی آسیب دیده اند می شکافد و ترمیم می کند، دیگری سازو کار ترمیم برش نوکلئوتید^{۱۶} (NER) است که کل نوکلئوتید را برش می دهد و ترمیم می کند، سازوکار شکستن کلاف دوگانه^{۱۷} (DSBR)، وبالاخره ترمیم ناهماهنگی^{۱۸} (MSR) است که خطاهایی را که هنگام کپی کردن وارد دی.ان.ا می شوند، تصحیح می کند.

همچنین، آنزیم های پلیمراز دی.ان.ا که دست اندر کار ساخت دی.ان.ا هستند، نقش مهمی در نیمه عمر یک زنجیره دارند. آنزیم های پلیمراز دی.ان.ا که از موجودات متفاوتی جدا شده اند، درجه خطای متفاوتی دارند. درحالی که دقت ساخت دی.ان.ا در برخی گونه ها بالاست، در برخی دیگر بسیار مستعد خطاست. نتیجتاً یک قطعه یکسان از دی.ان.ا، اگر به جای استفاده از یک نوع پلیمراز از پلیمراز دیگری برای تکثیر استفاده کند، ممکن است نیمه عمر متفاوتی داشته باشد. گونه های معینی، حتی ممکن است پلیمرازهای متفاوتی را به کار ببرند که هریک درجه خطای متفاوتی دارند. پلیمرازها حتی می توانند از نظر تناوب تولید خطاهای خاص با یکدیگر متفاوت باشند. فرضاً پلیمرازهای دی.ان.ا می توانند طوری طراحی شوند که به خطاهای خاصی متمایل باشند. با این کار می توان کاوش در فضای دی.ان.ا را جهت داد و به این طریق بر همه تنوعات ژنتیک قابل دسترسی برای یک گونه تاثیر گذارد. در این صورت، آینده های احتمالی که برای آن گونه خاص قابل تصورات است، به طور اساسی مقید و محدود می شود.

در برخی از سیستم های ژنتیک، تحت شرایط معین، خط مبنای^{۱۹} کلی جهش می تواند به نحو چشمگیری افزایش یابد. سازو کارهای فوق جهش^{۲۰} به سرعت انواع معینی از باکتری های متنوع لازم ژنتیک را تهیه می کند تا پاسخ سریعی به شرایط ناسازگار بدهند. فوق جهش در ژن های پادتن (آنتی بادی) سیستم ایمنی انسان هم رخ می دهد. اما در اینجا، جهش ها به درون زنجیره یاخته جنسی^{۲۱} وارد نمی شوند و بنابراین نمی توانند به نسل بعدی منتقل شوند. فوق جهش مشاهده شده در ژنهای پادتن مثال خوبی است که نشان می دهد چگونه زمانی که زنجیره های آماده فوق جهش، نواحی مولکول آنتی بادی را که ساختاری حیاتی دارد به رمز در می آورند، جهش ها می توانند بر نقاط داغ یک زنجیره متمرکز شوند. سیستم ایمنی، با تمرکز عمده ولی غیر انحصاری روی این نواحی، در بکار بردن منبع فوق جهشی خود صرفه جویی زیادی می کند.

بیشتر آسیب های وارده به دی.ان.ا به دقت ترمیم می شود، ولی هراز گاهی یکی از جهش ها ترمیم نمی شود و در زنجیره ژنتیک تثبیت می شود. تثبیت گاهگاهی جهش های تصادفی کوانتومی تضمین می کند که "اصل نظم برخاسته از نظم" ژنتیک قادر است نیاز به انتقال اطلاعات با کیفیت بالا را، با نیاز به انعطاف پذیری اطلاعات که به همان اندازه اهمیت دارد، متوازن کند. وقتی که تثبیت جهش های اتفاقی، با فرایند انتخاب همراه می شوند، تضمین می کنند که مجموعه ساختمان های اطلاعاتی قادرند محیطی را که در آن تکامل می یابند، به شکلی روزآمد شده نمایش دهند. همان طور که ذکر کردیم، مهم است که نرخ جهش به اندازه کافی زیاد باشد تا بتواند گونه های اتفاقی درست کند، ولی نه آنقدر زیاد که هسته اطلاعات تحلیل برود و به نوبه تبدیل شود.

^{۱۵} Base Excision Repair:BER

^{۱۶} Nucleotide Excision Repair:NER

^{۱۷} Double Stranded Break:DSBR

^{۱۸} Mismatch Repair:MSR

^{۱۹} Base line

^{۲۰} Hypermutation

^{۲۱} Germ line

علاوه بر جهش، فرایندهای دیگری نیز تنوع اطلاعاتی ایجاد می کنند و در اصل نظم برخاسته از نظم دی.ان.ا. مشارکت می جویند. عمل بازترکیب^{۲۲} ژنها را مانند دسته ای از ورق بُر می زند و تنوع ژنتیک تولید می کند. این کار با تبادل نواحی متناظر کروموزوم های مختلف با یکدیگر، حاصل می شود. فرآیند بازترکیب با ترکیب مجدد ماده اولیه به روشی جدید، بهترین استفاده را از اندوخته محدود مواد ژنتیک در دسترس می کند. این فرآیند، گرچه نهایتاً به تنوعاتی مربوط است که با جهش ایجاد می شوند، ولی ضربه اطلاعاتی آنها را به حداکثر می رساند. به این ترتیب، نظم اطلاعات ژنتیک هم در زنجیره ژنهای منفرد و هم در محیط ژنتیکی است که نمونه های جایگزین آن ژن را دربردارد. موفقیت روش باز ترکیب در تولید اطلاعات ژنتیک براین واقعیت تکیه دارد که ترکیبات متفاوت شکل های دیگر همان مجموعه ژن می توانند کاملاً متفاوت رفتار کند. احتمال دارد که بازترکیب، با این روش تولید اطلاعات، اجازه دهد که تصحیح خطا، نسبت به زمانی که تنوع فقط از طریق جهش تنها به وجود می آید، کارآمد تر شود.

وجود نسخه های متفاوت از ژن یکسان در یک جمعیت، پلی مورفیسم نامیده می شود. کارآیی بازترکیب در تولید اطلاعات به درجه پلی مورفیسم آن جمعیت وابسته است. اگر مخزن ژن بسیار پلی مورفیک باشد، در این صورت تعداد ترکیبات مختلف بالقوه بسیار عظیم است. درجه پلی مورفیسم در هر ژن مشخص بسیار با دیگر ژن ها متفاوت است. برای مثال بعضی از ژنها تقریباً صدها نسخه جایگزین دارند. مثلاً، آلل ژن های MHC سیستم ایمنی، یا بدن را در مقابل امراض گوناگون مقاوم می کنند، یا آمادگی ابتلا به این امراض را افزایش می دهند. ژنهایی که زهر بعضی از مارهای سمی را به رمز در می آورند بسیار پلی مورفیک هستند، در حالی که بقیه پلی مورفیسم کمی دارند یا اصلاً ندارند.

در سیستم های ژنتیک مبتنی بر رابطه جنسی، تنوع ژنتیک، علاوه بر بسیاری سازوکارهای دیگر منجمله تکثیر ژن، با مخلوطی از جهش و بازترکیب به دست می آید. اما، بازترکیب نیز مانند جهش، فرآیندی کاملاً تصادفی نیست. گرچه علی الاصول ممکن است تمام نواحی ژنوم با فرکانس یکسانی بازترکیب شوند ولی بازترکیب های موضعی معمولاً یکنواخت نیستند. بعضی از نقاط داغ، نسبت به بقیه، با فرکانس های بالاتری دستخوش بازترکیب می شوند. بنابراین، طبیعت مانند یک دلال شاید در کازینوی لاس وگاس، ورق های ژنتیک خود را به طور تصادفی بُر نمی زند، بلکه هر آنچه در توان دارد انجام می دهد تا ترکیب های معینی را نگه دارد، و در همزمان کار بقیه ترکیبات را مختل می کند. بعد از همه این حرفها، کدام قمار بازی که استریت فلاش آس دار آورده باشد، ریسک می کند که دوباره کارت هایش را به طور اساسی بُر بزند؟

با بررسی رفتار سیستم های بسته و نزدیک به تعادل و اصل نظم برخاسته از نظم ژنتیک، که رفتار تصادفی و آماری را عقلاً توجیه می کند و به این منظور اطلاعات تصادفی تولید می کند، یک بار دیگر با مسئله ای مواجه می شویم که از این واقعیت سرچشمه می گیرد که اصل نظم برخاسته از نظم ژن ها، منبع نظم از پیش موجودی را فرض می کند. یعنی یک برنامه مادر را پیش فرض می گیرد که برای فرزندانش برنامه ریزی می کند. مهم نیست که چقدر به عقب بنگریم، در هر صورت باید وجود برنامه مادر اجدادی یا مادر بزرگ یا مادر مادر بزرگی را فرض کنیم و همین طور تا بینهایت ادامه دهیم. این سیر قهقرایی تا بینهایت، به وضوح کار بی معنایی است و بهتر است فرض کنیم که زمانی، زمین عاری از برنامه بوده است. در این صورت، چالش پیش رو این خواهد بود که توضیح دهیم چگونه برنامه های دیجیتال ژنتیک می توانند در محیطی فاقد برنامه آغاز شده باشند. حتی ممکن است که برنامه های دیجیتال، خود به خود از نطفه فاقد اطلاعات سر بر آورده باشند. اگر نتیجه بگیریم که این کار غیر ممکن یا بعید است، در این صورت آیا ممکن است که واسطه دیگری به عنوان فناوری میانی عمل کرده باشد؟ درواقع اولین برنامه ژنتیک چگونه نوشته شد؟

درمعنایی عام تر و بدون این که فرضیه ای در مورد چگونگی نمایش اطلاعات موجودات اولیه پیشنهاد دهیم، به نظر می رسد به فرآیندی نیاز داریم که بتواند از نبود اطلاعات یا از نطفه، اطلاعات خلق کند. اما، گرچه اصل " تولید نظم از بی نظمی" ممکن است در ابتدا اطلاعات بیولوژیک را از نطفه بیافریند، ولی اصل " نظم برخاسته از نظم" برای انتقال موروثی این

اطلاعات الزامی است. اما اصل " تولید نظم از بی نظمی " لزومی ندارد که ژنتیک باشد. اگر اطلاعات بیولوژیک تازه تولید شده بخواهد تداوم یابد، باید ظرفیت تکامل داشته باشد. از این رو اصل نظم برخاسته از نظم باید بتواند هسته اطلاعاتی را که مشخص کننده ساختمان آن است تضمین کند، و در عین حال اجازه دهد که بخش محدودی از اطلاعات تکامل یابند. به این ترتیب به سیستم توانایی وراثت و تکامل اعطا می شود. در حالی که کاوش سیستم هایی که توارث محدود دارند، به فضای بالقوه نسبتاً کوچک و مرزبندی شده ای از حالت ها منحصر می شود، سیستم هایی که ظرفیت توارث نامحدود دارند، می توانند در فضاهای حالت بیکرانی کاوش کنند.

با فرض این ملاحظات، آیا شواهدی تجربی وجود دارد تا نشان بدهد برنامه های دیجیتال ژنتیک از هر طولی که باشند و از هر ماده شیمیایی از نظر تاریخی قابل قبول که ساخته شده باشد، می توانند خود به خود از سوپ تصادفی فاقد اطلاعات اجدادشان ساخته شده باشند؟ به گفته استین راسموسن، کارستن کنودسن و راسموس فلدبرگ^{۲۳}، " آیا هیچ رده ای از ماده وجود دارد که قادر باشد در غیاب یک قالب اطلاعاتی از پیش موجود، خود به خود، از غیر اطلاعات، اطلاعات خلق کند و نتیجتاً توسط خودش قابل برنامه ریزی باشد ؟" اگر ماده خود برنامه ریز بتواند به وجود آید یا قبلاً وجود داشته باشد، در این صورت، زمانی که برنامه ای خود به خود از نطفه فاقد اطلاعات ساخته شد، آیا این برنامه می تواند خود را تکثیر کند؟ شواهد نشان می دهند که اجزاء اسید نوکلئیک که سازنده دی.ان.ا و آر.ان.ا هستند، خود برنامه ریز نیستند. دی.ان.ا و آر.ان.ا ی کنونی فقط قادر به تکثیر در محیط آنزیم های بسیار تکامل یافته هستند. این اسیدها حتی در بهترین حالت، ظرفیت بسیار کمی برای تکثیر غیر آنزیمی دارند. علاوه بر این، تکثیری که در غیاب آنزیم ها رخ می دهد مشابه تکثیری که با حضور آنها رخ می دهد نیست.

شکل گیری چرخه طبیعی و کامل تکثیر، هم محتاج نسخه برداری قالبی مکمل دقیق و جدا کردن مولکول تازه ساخته از قالب است، و نیاز به هم آغاز دوره تکثیر بعدی دارد. هم تکثیرهای فاقد آنزیم و هم نسخه برداری قالبی، تا اندازه ای محدودی به طور مستقل از یکدیگر حاصل شده است. اما، تکثیر خود مکملی که در سیستم های آزمایشی حاصل شده است معادل تکثیر طبیعی اسیدنوکلئیک (با استفاده از مکمل) نیست. در مورد دی.ان.ا و آر.ان.ا، تکثیر نیازمند تولید کلاف فرزند تازه ای است که مکمل قالب مادر باشد. از طرف دیگر در سیستم های مصنوعی، کلاف فرزند عین قالب مادر است و از این رو مکمل خودش است. تا به حال، نوعی نسخه برداری قالبی مکمل که بتواند دور جدیدی از تکثیر را آغاز کند، صورت نگرفته است. علاوه بر این، از نظر تنوری دلایل خوبی برای کارایی، میزان، دقت، و عمومیت واکنش های ترکیبی مکمل وجود دارند که نشان می دهند کپی کردن مکمل بدون آنزیم و سپس آغاز خود تکثیری، حتی از نظر تنوری نیز انجام پذیر نیست. برای مثال، آزمایش هایی که از سیستم های مصنوعی استفاده می کنند نشان دادند که فقط دامنه محدودی از زنجیره ها می توانند قالب های کارآمدی برای ساخت مکمل ها باشند.

جولیوس ریبرک و گونتر فون کیدروسکی^{۲۴} به طور مستقل از یکدیگر نشان دادند که امکان خودتکثیری پلیمرهای معدنی که از نظر شیمیایی بسیار با دی.ان.ا و آر.ان.ا متفاوتند وجود دارد. این تکثیر کننده های مصنوعی "خود برنامه ریز" نیستند، ولی این واقعیت که در برخی موارد می توانند خود تکثیری مکمل را به عهده بگیرند و این که قادر به جهش و تکامل از طریق انتخاب طبیعی هستند، بار دیگر بر این نکته تاکید می کند که، لازم است جستجوی ملکولهای خود تکثیر آغازین به طور وسیعی آغاز شود. از این رو، این احتمال را باید جدی گرفت که حیات می تواند از بعضی نواحی فضای شیمیایی پدیدار شود که حیات کنونی با آن آشنایی ندارد. تعدادی از مولکولهای اطلاعاتی برای مواد ژنتیک آغازین مناسب به نظر می رسند. اینها شامل مولکولهای حاوی ستون فقرات قندی هستند که در دی.ان.ا و آر.ان.ا وجود دارد و سایر ملکولها مانند اسید نوکلئیک پپتید (PNA) که فاقد این ستون فقرات هستند. لسلای اورگل و ووژیش زلینسکی^{۲۵} نشان داده اند که اسید نوکلئیک های تغییر داده

^{۲۳} Steen Rasmussen, Carsten Knudsen, Rasmus Fledberg

^{۲۴} Julius Rebek, Gunter von Kiedrowski

^{۲۵} Wojciech Zielinski

شده بیشتر از اسید نوکلئیک های طبیعی برای تکثیر مناسبند، و این نشان می دهد که اولین ژنها ممکن است اقوام تغییر یافته دی.ان.ا و آر.ان.ا باشند. مخزن ساختارهایی که پلیمرهای ترکیب شونده از بازهای غیر معمول می سازند، ممکن است بیشتر مناسب ساختن آنزیم باشند تا همتایان دی.ان.ا و آر.ان.ا آنها. تا زمانی که همه سیستم های شیمیایی قابل قبول کاملاً مورد جستجو قرار نگرفته اند، باید این احتمال را بدهیم که حداقل یکی از این سیستم ها ممکن است قابلیت خود برنامه ریزی داشته باشد. از این رو، برنامه های اجدادی که ممکن است قالبی برای برنامه های نوشته شده در دی.ان.ا و آر.ان.ا باشند می توانند کاملاً از نظر شیمیایی از نواده هایشان متمایز باشند.

در ۱۹۹۶ جیمز فریس^{۲۶} و لسلی اورگل نشان دادند که چگونه آر.ان.ا و "مینی-ژن" های کوچک پپتید با طول حداکثر ۵۵ آمینواسید می توانند خود به خود روی یکی از سطوح کاتالیزور فراهم شده توسط مواد معدنی مانند گل رس، و یا هیدروکسید اپاتیت که در زمین آغازی وجود داشت، ساخته شوند. اگر عین همان واکنش ها درجایی غیر از سطح کاتالیزور رخ بدهند، حداکثر طول مینی-ژن های به دست آمده فقط ده آمینو اسید است، چون هیدرولیز به خوبی با پلیمریزاسیون که در غیاب کاتالیزور کمتر کار آمد است، رقابت می کند. در شرایط مناسب، حتی احتمال دارد که مینی-ژن های طویل تری به روش مشابهی خود را تکثیر کنند. ثابت شده است که مجموعه های تصادفی زنجیره های آر.ان.ا با همین اندازه، گونه هایی از ریبوزیم دارند که عمل آنزیم را تقلید می کنند. به این ترتیب سطوح معدنی می توانند مانند کارخانه هایی عمل کنند که دستگاه ریبوزیمی لازم برای تولید حیات ابتدایی را می سازند. اما بدبختانه، در این سیستم، مینی-ژن تازه ترکیب شده لجوجانه به سطح معدنی که روی آن ساخته می شود می چسبد و قادر نیست که دور ترکیب تازه ای را برای تکمیل چرخه تکثیر آغاز کند.

گرچه ماده موجود در آزمایش فریس و اورگل خود-برنامه ریز نیست، ولی گام مهمی را در این جهت برمی دارد. این آزمایش همچنین نشان می دهد که حیات ابتدایی ممکن است، به جای این که در اقیانوس آغازین مانند یک سوپ سبزی پخته شده باشد، مثل یک پنکیک نخستی روی سطوح معدنی تئوری شده باشد. همچنین این احتمال را مطرح می کند که اولین موجودات، روی زمین مسطح دوبعدی سکنی داشتند و با پراکنده شدن در سطح گسترش یافتند. هیچ نوع سیستم آزمایشی تا کنون مینی-ژن خود مونتاژی را که با عمل به عنوان قالب مکمل خود، قادر به خود تکثیری و تولید اولاد مینی-ژن باشد، نساخته است. بنابراین با وجود این که این پنکیک های مینیاتوری دیجیتال، قابلیت گشودن قفل فضاها و دیجیتال ترکیب شونده ای را دارند، که اندازه آنها هم به طول مینی-ژن و هم به تعداد عناصر جای گرفته در آن بستگی دارد، ولی تعریف ما از ژن را برآورده نمی سازند.

در ۱۹۷۴ مانفردسامپر^{۲۷} نشان داد که آر.ان.ا می تواند بدون قالب ساخته شود. اما ساخت بدون قالب نیاز به حضور آنزیم تکثیر کننده (ریپلیکاز) بسیار تکامل یافته ای دارد. معلوم نیست که آیا این کار تشکیل قالب موسس را تسریع می کند، و یا این که در نتیجه فرآیند مستقل از آنزیم، نوکلئوتیدهای آر.ان.ا خود را می سازند و بعداً توسط ریپلیکاز تقویت می شود. با این حال، این آزمایش نشان می دهد که ساخت آر.ان.ا از طریق مکمل همراه با تکثیر نیز امکان پذیر است، و احتمال این را که آر.ان.ا بتواند ساخت و تکثیر خود را با استفاده از ریبوزیمی که مقلد فعالیت تکثیر آر.ان.ا است تسریع کند، بالا می برد. ولی با وجود جستجوی شدید هنوز چنین ریبوزیمی کشف نشده است.

در ۱۹۹۶ دیوید لی^{۲۸} و رضا قدیری نشان دادند که یک پپتید مانده ۳۲^{۲۹} می تواند با قالب گیری اتوماتیک از ترکیب خود، خودش را تکثیر کند. این پپتید با شتاب بخشیدن به اتصال قطعات مانده ۱۵ و مانده ۱۷ ی از قبل موجود اجدادی به دست می آید. پپتید مادر مانند قالبی ساختمانی عمل می کند که قطعات مانده ۱۵ و مانده ۱۷ روی آن تشکیل می شوند. وجود این پپتید تکثیر کننده، این احتمال را که اطلاعات موجودات آغازین توسط پیش-ژن های پپتید خودتکثیر به رمز در آمده باشند

James Ferris^{۲۶}Manfred Sumper^{۲۷}David Lee^{۲۸}Thirty-two-residue peptide^{۲۹}

بالا می برد. اگر چنین بوده باشد، باید در نمونه های ابتدایی حیات، تفاوت بین سخت افزار و نرم افزار محو شده باشد. این مولکولهای تکثیر کننده پیش-ژن، کیفیت ژنهای واقعی را ندارند، چون اطلاعات را با استفاده از میکروکُد رمزدار نمی کنند. اطلاعات زنجیره آمینواسید پپتیدها، آن چنان که کدون در ژن دی.ان.ا. اطلاعات آمینواسید را به طور نمادین نمایش می دهد، سمبل مجردی برای بخش دیگری از اطلاعات نیستند. نکته دیگر این که مکانیزم تکثیر قالبی متفاوت از مکانیزم دی.ان.ا و ذاتاً پیچیده تر از آن است، چون هم به ساختمان ابتدایی زنجیره آمینو اسید وابسته است و هم به ساختمان ثالث آن. فرایند تکثیر همچنین به حضور پپتیدهای اجدادی از قبل موجود بستگی دارد، که این پپتیدها می توانند به هم متصل شوند، برخلاف تکثیر دی.ان.ا که در آن، قالب اجازه می دهد که مولکول فرزند، مجدداً از واحد های اجدادی غیر پلیمری منفرد، به گونه ای یکتا ساخته شود. و برعکس خود تکثیری قالبی و مکمل ژنها، این سیستم پپتید با استفاده از نوعی مکانیزم خود-مکمل تکثیری می شود. به این ترتیب زنجیره ژن AAAAA در نتیجه تکثیر قالبی مکمل، زنجیره مکمل TTTTT را می سازد، درحالی که یک پپتید YYYYY که با مکانیزم قالبی خود-مکمل تکثیر می شود، زنجیره خود-مکمل فرزند را به شکل YYYYY تولید می کند.

گرچه هم ترکیب خود به خود و هم خود-تکثیری زنجیره های پپتید به تنهایی اثبات شده است، ولی هنوز هیچ حالت شناخته شده ای که در آن ترکیب و خود تکثیری با هم همراه باشند مشاهده نشده است. از این رو به نظر می رسد که آمینو اسید های سازنده پپتیدها نیز مانند نوکلئوتیدهای سازنده دی.ان.ا و آر.ان.ا، خود برنامه ریز نباشند. اما اثبات این که زنجیره پپتید به عنوان قالبی عمل کند که خودش را از روی آن بسازد، این احتمال را بالا می برد که شناسایی مولکولی زنجیره مکمل که در تکثیر دی.ان.ا و آر.ان.ا دیده می شود ممکن است درسیستم های شیمیایی دیگر هم رخ دهد. اما احتمال دارد که واکنش های مولکولی مکمل بین پپتیدها، بسیار پیچیده تر از جفت شدن ساده بازهای واتسون-کریک باشد که در دی.ان.ا و آر.ان.ا مشاهده می شود. علاوه بر مشکلات عملی مربوط به تکثیر اطلاعات بدون آنزیم، یک مشکل تنوریک مهم، مانعی بر سر راه همه تنوری های مربوط به آغاز حیات، که قادرند جایگزین خود برنامه ریزی و تکثیر قالبی شوند، می گذارد. مانفرد آیگن که اولین بار این پارادوکس را در ۱۹۷۱ مطرح کرد، نشان داد که مقدار اطلاعاتی که می تواند در یک زنجیره ژنتیک دیجیتال به رمز در آید توسط دقت کپی برداری هریک از سمبل های دیجیتال محدود می شود. از این رو، مقدار عددی دقت کپی برداری، آستانه خطای آن را معین می کند. اگر از آستانه خطا عبور شود، اطلاعات به نوبه بدون معنی تبدیل می شود. بنابراین، آستانه خطا، حداکثر طول قابل حصول توسط یک زنجیره دیجیتال و نتیجتاً مقدار اطلاعاتی را که به رمز در می آورد، محدود می کند. بدون حضور واسطه ای خارجی که شیوع خطا را به حداقل برساند، حداکثر طول قابل حصول برای یک قطعه از اطلاعات دیجیتال حدود ۱۰۰ بیت است. بعید است که این مقدار اطلاعات برای رمزگذاری آنزیم های تصحیح خطا کافی باشد و بنابراین به نظر می رسد که آستانه بحرانی اطلاعات مانع تشکیل موجودات ژنتیک آزادی می شود که ژنومی بزرگتر از ۱۰۰ سمبل دیجیتال داشته باشند. گرچه، باید به یاد داشته باشیم که زنجیره های آر.ان.ا با طول ۱۰۰ نوکلئوتید برای تشکیل عناصر ساختمانی و نقش مایه هایی مانند شکم، گره نما^{۲۰} و حلقه سنجاق سری^{۲۱} که برای عملکرد ریبوزیم ضروری هستند، کافی هستند. بنابراین کاملاً ممکن است که مجموعه تمام زنجیره های ممکن آر.ان.ا با طول حداکثر ۱۰۰ نوکلئوتید، حاوی ملکولهایی باشند که قادرند به عنوان ماشین های ابتدایی پیش گیری از خطا و تصحیح خطا عمل کنند. اما تا کنون چنین ریبوزیمی کشف نشده است و گرچه جستجوی شدیدی برای مجموعه های ترکیب شونده آر.ان.ا مصنوعی هم اکنون در جریان است، اما اصلاً معلوم نیست که این نوع ریبوزیم ها وجود داشته باشند. ولی اگر بتوان خطاها را به اندازه کافی تصحیح کرد و برای ترکیب رقابت به وجود آورد و به این طریق اجازه داد که مینی-ژن هایی با طول ۱۰۱ نوکلئوتید یا بیشتر ساخته شوند،

^{۲۰} Pseudoknot . (۲*)
^{۲۱} stem-loop

در این صورت فضای همه نوکلئوتید های ممکن به طول ۱۰۱ یا بیشتر می تواند حاوی پلیمر از های آر.ان.ا ای باشد که کفایت شان در تقلید از ریبوزیم ، بیشتر از مجموعه مینی ژن های با طول ۱۰۰ باشد.

با آگاهی از این که سابقه ای از ماده خود برنامه ریز در هیچ یک از مواد ژنتیک مناسب نداریم و نیز آگاهی از این که بدون سازوکاری برای تصحیح خطا، پارادوکس آگن مقدار اطلاعاتی را که می تواند در سیستم های ژنتیک ذخیره شود محدود می کند، آیا وسیله غیر دیجیتال دیگری وجود دارد که اطلاعات بتواند توسط آن به طور خود به خود از نطفه منتج شود؟ و اگر اطلاعات بتواند به طور غیر ژنتیک ذخیره شود، آیا ظرفیت ذخیره اطلاعات این نوع سیستم ها برای غلبه بر بحران اطلاعاتی مطرح شده توسط پارادوکس آگن کافی خواهد بود؟ باید به یاد بیاوریم که ژن را به روش بسیار مشخصی تعریف کرده ایم، به این منظور که فقط آن عناصر دیجیتالی را در برگیرد که اطلاعات را به رمز در می آورند، توسط سازوکار نسخه برداری با یک قالب مکمل تکثیر می یابند و نوع خاصی از رمزگذاری را به کار می برند. اما، آیا احتمال دارد که سیستم های اطلاعاتی فاقد ژنی هم بوده باشند که قادر به مشارکت در فرآیند حیات بوده باشند، ولی معماری غیر دیجیتال و سوخت و ساز فاقد رمزگذاری داشته و اطلاعات خود را به کمک روشی قالبی تکثیر نمی کرده اند؟ آیا ممکن است که چنین سیستم هایی ظرفیت وراثت ذاتی ژن ها را تقلید کرده باشند و اطلاعات آنها را تکامل بخشیده باشند، با یکدیگر رقابت کرده و در نتیجه فرآیند انتخاب طبیعی تکامل یافته باشند؟ اگر این طور بود، در این صورت یک اصل نظم غیر دیجیتال و فراژنی ممکن بود پایه اطلاعاتی حیات بعدی روی زمین را گذاشته باشد.

توضیحات فصل دهم

۱- ترمالیزاسیون Thermalisation

در فیزیک به معنی فرآیندی است که در خلال برهم کنش های متقابل ذرات به تعادل حرارتی می رسند. وقتی یک مولکول انرژی جذب می کند، مانند تکنیک فلئورسانس مولکولی، عمر حالت برانگیخته تقریباً 10^{-12} ثانیه است. سپس این مولکول به سرعت انرژی اش را از دست می دهد و به پایین ترین سطح حالت برانگیخته می رسد؛ این حالت ترمالیزاسیون نامیده می شود.

۲- گره کاذب Pseudoknot

گره کاذب یک ساختمان ثالث آر ان ۱ است که شامل دو ساختار میله-حلقه می شود که در آنها اولین میله حلقه قسمتی از میله دوم را می سازد. گره کاذب اولین بار در ویروس موزاییک زرد شلغم در ۱۹۸۲ شناخته شد. گره های کاذب در ساختارهای سه بعدی شبیه گره جا می خورند ولی از نظر توپولوژی گره های واقعی نیستند.

طرحهای بدون برنامه

در ۱۸۱۰ پیر هابر^۱ حشره شناس مشاهده کرد که بسیاری از گونه های مورچه ها برای افزایش نیروی کار کلنی خود برده هایی را از کلنی های همسایه به انقیاد در می آورند. به این ترتیب گرچه برده داری در بین انسانها غیر قانونی است ولی دردنیای مورچگان به رشد و توسعه خود ادامه می دهد. کلنی از طریق تدارک برده، کارگران ذخیره بیشتری به دست می آورد که بعضی از آنها مهارت هایی دارند که اسیر کنندگان آنها ندارند. اسیرها بعد از اسارت وارد زندگی روزمره کلنی می شوند، ولی اوضاع همیشه به آرامش نمی گذرد و نمونه های متعددی از شورش بردگان ثبت شده است. مثلاً، معلوم شده که بردگان گونه لپتوتوراکس کورویسپینوسوس^۲ سر و سینه ملکه بدلی را گاز می گیرند. همچنین مشاهده شده که برده های جوان بی احترامی مشابهی را نسبت به خانواده سلطنتی نشان می دهند. برای مثال، دیده شد که یکی از آنها در حالی که مرتباً ملکه نیش میزد، او را به عقب و جلو می کشید.

دو نوع برده داری در بین مورچه ها یافت می شود: برده داری واقعی که در آن مورچه های یک گونه توسط خودشان به بردگی گرفته می شوند و حالت رایج تری که شبیه برده داری است و در آن مورچه های گونه دیگری گرفته می شوند و به انقیاد در می آیند. بعضی از گونه های مورچه، برده داران گهگاهی هستند که برخی از کلنی های آنها برده می گیرند و برخی دیگر برده نمی گیرند. برای مثال، در جمعیت فرمیکا سانگوینیا^۳ تعداد کلنی هایی که برده می گیرند بین ۲٪ و ۹۸٪ متفاوت است. گونه های دیگر به ندرت برده می گیرند و حتی اگر این کار را انجام دهند به طور تصادفی انجام می دهند. روش های متفاوتی برای به دست آوردن برده به کار گرفته می شوند. برای مثال، مورچه های فرمیکا سابینتگرا^۴ از جنگ شیمیایی برای انقیاد قربانیان خود استفاده می کنند و زمانی که مهاجمین به یک کلنی حمله می کنند مواد تبلیغاتی به مدافعین می افشانند. این مورچه ها با تقلید از مواد شیمیایی مخصوص اعلام خطر مدافعین، بین آنها اطلاعات غلط منتشر می کنند و حالت اغتشاش و درهم برهمی را بین آنها القاء می کنند.

مورعسل انبار به نام میره مکوسیستوس میمیکوس^۵ واقعا بردگی می کند. این واقعیت که چراگاه های کلنی های مجاور معمولاً هم پوشی دارند، اغلب اوقات منتهی به حریق خانمانسوز محلی می شود. ولی نبرد بین کلنی های رقیب بیشتر شبیه مسابقات قهرمانی سمبلیک است تا کشمکش های واقعی، و شرکت کنندگان به ندرت مجروح می شوند. مسابقات نیزه بازی که در آن همه افراد پاهایشان را دراز می کنند و شاخک های خود را بر شکم دشمنانشان فرو می کوبند، روزهای متوالی ادامه می یابد. اما اگر، یک کلنی قادر به اعزام کارگران کافی به میدان مسابقه نباشد، امکان دارد که تاراج شود. ملکه مغلوب، یا کشته می شود یا از کلنی بیرون رانده می شود و لارو (شفیره) و لیسه و کارگران به آشیانه گروه فاتح حمل می شوند. کلنی برنده مسابقه، از طریق برده گیری نیروی کار خود را بسیار افزایش می دهد، ولی هیچ مهارت جدیدی کسب نمی کند. اما در

^۱ Pierre Huber
^۲ Leptothorax curvispinosus
^۳ Formica Sanguinea
^۴ Formica Subintegra
^۵ Myremecocystus mimicus

مورد مورچه آمازونی پولیرگوس^۶ این اتفاق نمی افتد. این جانوران بزرگ، با رنگ قرمز براق یا سیاه کهربایی، دشمنان هولناکی هستند که مدافعینی را که در مقابل حمله آنها مقاومت کنند سلاخی می کنند. گرچه در هنر جنگاوری ماهرند ولی استعداد کارهای دیگر را ندارند. آرواره های داسی شکل آنها در شکافتن زره مخالفین مهارت دارد، ولی برای کارهای ضروری مانند حفاری (خانه)، یا پرستاری از لارو و شفیره شان مناسب نیست. آنها حتی قادر نیستند که غذای خودشان را تهیه کنند و کاملاً به مهارت های خانه داری اسرایی خود وابسته اند. راحت طلبی زندگی انگلی آنها فقط گاه و بیگاه با یورش به کلنی های همسایه که متعلق به گونه های دیگر مورچه ها است، به منظور برده گیری قطع می شود.

قبلاً گفتیم که ممکن است حیات معاصر در نتیجه انگلی شدن موجودات آنالوگ فاقد ژن توسط پیش-ژن های دیجیتال پدید آمده باشد. این موجودات را به شکل پلیمرهای دیجیتالی تعریف کردیم که اطلاعات را درون زنجیره های ترکیب پذیر خود به رمز در می آورند ولی با استفاده از روش قالب گیری مکمل ژنها تکثیر نمی شوند و ضمناً فاقد سازوکارهایی جهت رمزگذاری سمبلیک و نیز ترجمه اطلاعات بیولوژیک رمزدار هستند. پیش-ژن های دیجیتال ممکن است مانند مورچه های پولیرگوس که جنبه های پیچیده مورچه های بیگانه را به بردگی می گیرند، طفیلی شده باشند و شبکه های سوخت و ساز موجودات فاقد ژن و آنالوگ را به بردگی گرفته باشند. از این رو، این موجودات خودسازمانده، آنالوگ و فاقد ژن ممکن است زمینه اطلاعاتی را برای تکامل ژنهای معاصر فراهم کرده باشند. در این سناریو، فرض می شود که پیش-ژن ها، نظم و دینامیک خود به خود سیستم های خودسازمانده آنالوگ را با وعده وعیدهای دیجیتالی خود دستکاری کرده اند. در این نما، می توان ژنهای جدید را به یک معنی مانند انگل هایی مشاهده کرد که نظم طبیعی سیستم های خود سازمانده را به دام می اندازند و محدود می کنند. از این رو، بنیان های حیات معاصر ممکن است در استثمار نظم خود به خود موجودات فاقد ژن باستانی ریشه داشته باشد.

ولی ساختارهای اطلاعاتی موجودات آنالوگ فاقد ژن، چگونه ممکن است بدون ژن آغاز شده باشد. چرا حتماً همه موجودات بیولوژیک باید با ژنها مشخص بشوند؟ علاوه بر این، با این که انتظار نداریم این موجودات فرضی فاقد ژن، دفترچه مشخصات متمرکز و نمادینی از خود داشته باشند، آیا معقول است که آنها را زنده بنامیم؟ مثلاً، آب و هوا سیستمی پیچیده و فاقد ژن است، ولی فاقد نوعی نمایش داخلی رمزدار از ساختار خود است که از نظر فیزیکی از اجزاء آب و هوا قابل تمیز باشد.

اصل غیر ژنتیکی که احتمالاً مسئول تولید اولین موجودات فاقد ژن بوده است، اصل نظم خود به خودی است که در انواع معینی از سیستم های بهم پیوسته، باز و دوارز تعادل ظهور می کند. اصول مقدماتی ای که به نظر می رسد زمینه ساز ویژگی های خود برنامه ریزی و خود سازماندهی مربوط به ماده شاکله این سیستم ها باشد، به عنوان قوانین پیچیدگی شناخته شده اند. هنگام بررسی نحوه نمایش اطلاعات در انواع سیستم ها، باید تصور خطی و دیجیتال از یک برنامه را که از علوم کامپیوتر وام گرفته شده کنار بگذاریم، و فرض کنیم که اطلاعات برنامه به روشی پراکنده، دینامیک و غیر دیجیتال یا آنالوگ در سراسر سیستم ذخیره می شوند. در چنین سیستم های اطلاعاتی دینامیک و فاقد برنامه، هیچ تمایز صوری بین سخت افزار و نرم افزار و همچنین هیچ پایگاه داده متمرکزی وجود ندارد. برنامه دیگر مجموعه ای از دستورالعمل های مجزا و اصلی نیست، بلکه خصوصیتی دینامیک و ناگهانی مربوط به کل سیستم است.

برخلاف نظم تداوم یافته توسط ژن ها، که وابسته است به انتقال منبع نظم از قبل موجود یک سیستم دیجیتال به سیستمی دیگر، نظمی که از سیستم های پیچیده خود سازمانده پدیدار می شود، خود به خود و در غیاب یک نظم اجدادی به وجود می آید. این گونه نظم طبیعی که هانس فون فورتر^۷ آن را "نظم برخاسته از نوفه" خوانده است، بُعدی از رفتار احتمالی مولکول ها را نمایش می دهد که منحصر به انواع معینی از سیستم های باز، دوارز تعادل، نامتجانس و بسیار بهم پیوسته است. به این شرط که کلمه برنامه را به معنای بالا به کار ببریم، ماده درون سیستمی که سازمان ضروری برای تولید نظم از نوفه را دارد، خود برنامه ریز است.

^۶ Polyergus
^۷ Hans von Foerster

همچنان که قبلاً دیده ایم، تناقضی که در ظهور خود به خود نظم از متن قاعده ای که ظاهراً درست عکس آن، یعنی بی نظمی را طلب می کند، دیده می شود، واقعی نیست. به این دلیل که سیستم کلاسیکی که قانون دوم ترمودینامیک تعریف می کند سیستمی ایده آل، بسته، کم انرژی و نسبتاً متعادل است که نمی تواند ماده و انرژی با دنیای خارج رد و بدل کند و حاوی اجزاء همگنی است که به هم پیوستگی کمی دارند. از طرف دیگر، موجودات زنده، سیستم های پر انرژی و دوراز تعادل ترمودینامیکی هستند. آنها از اجزاء غیرهمگن و بسیار به هم پیوسته ساخته شده اند که به طور پویایی در تبادل ماده و انرژی با محیط خود هستند. سیلان و زوال ماده و انرژی درون سیستم های زنده سرچشمه اصلی نظم آنها است. این جریان ماده و انرژی، مانند نوری که روی یک ذره بین متمرکز شود، اجازه می دهد که نظم در سیستم به قیمت افزایش بی نظمی در محیط اطراف متمرکز شود. وقتی یک سیستم باز به همراه محیط اطراف آن به عنوان یک سیستم مجرد در نظر گرفته شود، معادلات تراز می شوند و معلوم می شود که از قانون دوم ترمودینامیک تخطی نشده است. اما، سیستم های دور از تعادل ترمودینامیکی، به دلیل ساختار باز و توانایی مکش نظم از اطراف و اضافه کردن آن به نظم خود، می توانند طوری رفتار کنند که انگار در برابر قانون دوم ترمودینامیک مصون هستند. اصولاً، اطلاعات مربوط به حالت های متفاوت نظم طبیعی خود برنامه ریز، باید قابل تکامل باشند و بنابراین لازم است که تابع فرآیند تکامل از طریق انتخاب طبیعی داروین باشند.

بنابراین، احتمال دارد نظم موجودات زنده از دو منبع جداگانه سرچشمه گرفته باشد. اولین منبع، اصل "نظم برخاسته از نطفه" است که خود بخود و خود برنامه ریز است و در رده های معینی از سیستم های باز و دور از تعادل عمل می کند، و دومین منبع، اصل "نظم برخاسته از نظم" است که با اولین برنامه دیجیتال خود تکثیر آغاز شده است. پیچیدگی این منابع اطلاعاتی وابسته بود به الگوریتم تکراری "تولید-تست-بازتست" که به تکامل از طریق انتخاب طبیعی تعلق دارد. ولی احتمالاً اصل "نظم برخاسته از نظم" ژن ها، بعد از استقرار موجودات ابتدایی فاقد ژن که اصل "نظم برخاسته از نطفه" را به کار می بردند، توانسته است در فرآیند حیات مشارکت جوید. ممکن است یک اصل آنالوگ "نظم برخاسته از نطفه" نیز برای زدن دکمه استارت حیات دیجیتال لازم بوده باشد. ممکن است موجودات فرضی بدون ژن بعد از به وجود آمدن، آزمایشگاههای میکروسیپی ای را تشکیل داده باشند که اولین ژن ها در آنها تکامل یافتند و پایه های ژنتیک و دیجیتال حیات معاصر را پی افکندند.

احتمال دارد که قوانین پیچیدگی علاوه بر تهیه محتوی و دستورالعمل قوانینی که به ماده اجازه می دهند خود به خود برنامه ریزی شود، بر روش تکامل اطلاعات برخاسته از نطفه و برنامه های دیجیتال، تاثیر بگذارند. از این رو قوانین پیچیدگی هم به تولید مجدد اطلاعات و هم به پیچیدگی بعدی و بهینه سازی آنها مربوط است؛ و نتیجتاً احتمال دارد که تدبیرهای آن، فرآیند تکامل از طریق انتخاب طبیعی را هم تکمیل و هم محدود کند. احتمال دارد که این اصول در هم تابیده که توسط رویدادهای تاریخی تصادفی تعدیل می شوند، نشان دهنده عوامل اتفاقی عمده ای باشند که مسنول شکل دهی اطلاعات حیات معاصر است. در جایی که اصطلاح "ترکیب مدرن" تنوری داروین روی رویدادهای ژنتیک مولکولی که مبنای مکانیکی فرآیندهای تکامل هستند تمرکز می کند، ترکیب جامع تر "پست مدرن" بر روی تاثیر متقابل انتخاب طبیعی، پیشامدهای احتمالی تاریخی، قوانین ناقص پیچیدگی و عوامل فیزیکی-شیمیایی که طبیعت موجودات زنده را شکل می دهند و محدود می کنند، تمرکز می کند.

گرچه سرانجام ممکن است انتخاب طبیعی دست بالا را بگیرد، ولی به نظر می رسد که قوانین پیچیدگی در کمک به حفظ ثبات هم ایستای موجودات زنده و تضمین این مسئله که ساختارهای زنده تابع فرآیندهای داروینی با بیشترین قابلیت برای تکامل ساخته می شوند، اهمیت داشته باشند. این مقصود می تواند از طریق تاثیر گذاری و مقید کردن رفتار دینامیک سیستم های ژنتیک حاصل شود. نتیجتاً اطلاعات حیات منحصراً وابسته به اتفاقات منجمد رویداد های شانسی نیست، ولی ممکن است با فرصت طلبی، رگه هایی از اطلاعات فاقد برنامه را که ذاتی فرآیندهای طبیعی خود سازمانده هستند، منجمد و بهره برداری کند. بنابراین حیات، تنها نتیجه رشته ای از رویدادهای شانسی بسیار بعید نیست و زمان هم، تنها پیروز میدان بازی تاریخی خلق حیات نیست.

قوانین پیچیدگی یا خودسازماندهی پیچیده، ظرفی صلب و تهی را به حیات پیشنهاد می دهند که در فرکانس های متفاوت نوسان می کند و قادر است خود به خود تعدادی الگوی پیچیده هندسی شامل مربع، خط راه راه و شش ضلعی تولید کند.

آلن تورینگ^۸ ریاضی دان، آزمایش ساده ای اختراع کرد برای این که مشخص کند آیا یک ماشین می تواند فکر کند، ولی نتیجه گرفت که خود این سوال مهم است، زیرا اگر یک ماشین طوری رفتار می کند که انگار می تواند مانند به روشی غیرمتمايز از انسان فکر کند، در این صورت این سوال که آیا حقیقتاً فکر می کند یا نه، بی ربط است. ممکن است برای تعیین این که ساختمان اطلاعاتی سیستم های شبکه ای با اجرای یک برنامه ژنتیک ساخته می شود، یا این که خود به خود در نتیجه فرآیند خود سازماندهی پدید می آیند، نوعی تست تورینگ اصلاح شده را در مورد آنها آزمایش کنیم. گرچه بعضی از آزمایشات ممکن است قادر نباشند بین سیستم های برنامه ریزی شده و فاقد برنامه فرق بگذارند، ولی فرض می کنیم که هر سیستمی خصوصیات یا رفتار منحصر به فردی تولید می کند و قوت و ضعف خودش را دارد. اما همه اینها فقط زمانی معلوم می شوند که سیستم ها به روش مناسبی آزمایش شوند.

نمونه دیگری از خود سازماندهی بی برنامه را می توان در ساختار پروتئین ها یافت. در یکی از فصول قبل، ساختمان ثانوی و ثالث و رابع هموگلوبین را به تفصیل بررسی کردیم. هنگام تحسین پیچیدگی قابل توجه معماری هموگلوبین، باید به یاد داشته باشیم که اجزای ساختمان ابعاد بالاتر پروتئین، در نتیجه ساختمان اولیه آن خود را سازمان می دهند. تقریباً مثل این است که کلیسای جامع سن پل را از هم جدا کنیم، آن را به کویر صحرا (آفریقای شمالی) منتقل کنیم و بعد کنار بنشینیم و ببینیم که خود به خود، بدون دخالت آرشیتکت، بنا، سرکارگر و جرثقیل، خود را بازسازی می کند. گرچه بعضی از پروتئین ها به پروتئین های محافظ و آنزیم های تاکنده نیاز دارند تا به آنها کمک کند درون ساختمان های ابعاد بالاتر خود جای بگیرند، ولی قابلیت اطلاعاتی کامل برای ساختارهای ابعاد بالاتر پروتئین های طبیعی ذاتاً درون ساختمان اولیه آنها قرار دارد. از این رو، ساختمان های اولیه مانند سفیرهای اطلاعاتی بسیار فشرده برای مشتقات تاخوردۀ خود عمل می کنند و گرچه ساختمان اولیه یک بعدی است، ولی شامل همه اطلاعات ضروری برای تولید آرایه پیچیده در فضای سه بعدی است. از این رو، یک زنجیره پروتئین همزمان هم سخت افزار و هم نرم افزار یک نانو ماشین پروتئین خود مونتاژ را تشکیل می دهد.

فرآیندی که در آن زنجیره خطی آمینو اسید به ساختمان های بلند مرتبه تر تبدیل می شوند، بدون شک فرآیندی مجاز است و توسط مجموعه ای از قوانین پیچیده اداره می شود. اما، با وجود برخی کوشش های موفق که برای پیش بینی این ساختمان ها صورت گرفته، هنوز قوانینی که بر ساخت خود به خود ساختارهای ابعاد بالاتر پروتئین ها حاکمند و اجازه می دهند که تاخوردگی محلی در فضای همه تاخوردگی های ممکن پروتئین مانند سوزنی در انبار کاه یافت شود، روشن نشده است. باوجود این، آنچه که افزایش نظم در پروتئین های تاخوردۀ به نظر می رسد، هم به دلیل افزایش بی نظمی در مولکولهای حلالی که پروتئین را احاطه کرده اند و هم به این دلیل که پروتئین تاخوردۀ انرژی کمتری نسبت به پروتئین تاخوردۀ دارد، خنثی شود. از این رو، با وجود این که نظم به نحو قابل توجهی در یک ساختمان تاخوردۀ افزایش می یابد، ولی بی نظمی کلی سیستم به طور خالص افزایش می یابد، و این بی نظمی شامل مولکولهای حلالی که پروتئین تاخوردۀ را احاطه کرده اند نیز می شود.

ساختمان سیستم های باز و دور از تعادل بسیار متفاوت از سیستم های بسته و متعادل است که با استفاده از معادلات خطی ریاضی ترمودینامیک کلاسیک مدلسازی می شوند. از این رو معادلات خطی کلاسیک قادر نیستند پیچیدگی سیستم های باز و دور از تعادل را مجسم کنند. ایلایا پریگوگین^۹ ترمودینامیک غیرخطی جدیدی را برای توصیف سیستم های غیرمتعادل ابداع کرد. چون ساختمان منظم این گونه سیستم ها از جریان انرژی و ماده درون آنها ناشی می شود، پریگوگین آنها را ساختمان های تلف کننده نامید. ساختمان غیرخطی سیستم های تلف کننده، اجازه نمی دهد که ویژگیهای کل سیستم را از هر یک از اجزاء آن

^۸ Alan Turing
^۹ Ilya Prigogin

استنتاج نماییم. به این دلیل که در هنگام انتقال از تعادل به عدم تعادل، واکنش های دوربرد به درون سیستم می خزند و رفتار خطی آن را نابود می کنند. در این زمان، سیستم مانند یک مجموعه کامل عمل می کند، که عمل آن بسیار پیچیده تر از مجموع اعمال اجزای آن است. این رفتارهای جدید در نتیجه بهم پیوستگی سیستم ظاهر می شوند.

رفتار سیستم های بسته و متعادل قابل پیش بینی است و مستقل از شرایط راه اندازی است. از این رو مولکولهای گاز برم، بدون توجه به این که برم از آغاز در کناره ظرف و یا در وسط آن قرار داشته، پخش خواهند شد و توزیع یکنواختی خواهند داشت که بیشترین بی نظمی و بیشترین احتمال است. در این سیستم ها تاریخچه در حاشیه قرار می گیرد و نامربوط است. برای نمونه، تصور کنید که توپی فلزی موقع رها شدن از لبه یک قیف، ممکن است که تا انتهای قیف در مسیرهای متفاوتی بغلتد. هر مسیری که طی کند، نتیجه پایانی یکسان است. حالت ایستای کم انرژی نهایی ته قیف، مانند آهنربا توپ را به شکلی اجتناب ناپذیر به طرف خود جذب می کند. حالت بی نظمی بیشینه ظرف برم نیز به همین نحو، بدون توجه به راهی که هر مولکول پیموده است می تواند حاصل شود.

وضعیت در سیستم های باز و غیر متعادل کاملاً متفاوت است. در این سیستم ها به جای این که توپ به طرف یک نقطه تنها جذب شود، ممکن است در زیر قیف های متفاوتی مکیده شود. هر کدام از این قیف ها آهنربا و ناحیه تاثیر یا حوزه جاذبه مربوط به خود را دارد. اگر مسیری که توپ می پیماید تصادفاً تحت تاثیر آهنربای خاصی قرار گیرد، توپ به درون زیر قیفی که توسط آن آهنربا کنترل می شود کشیده می شود. در اینجا تاریخچه اهمیت زیادی پیدا می کند، چون مسیر خاصی که توسط توپ طی می شود مشخص کننده زیرقیفی که توپ در آن گرفتار شده می باشد و بنابراین حالت نهایی آن را نشان می دهد. در سیستم غیر متعادل هیچ اجبار و استبعادی وجود ندارد و اتفاقات تصادفی تاریخی اثر مهمی بر روی آینده سیستم می گذارند. نتیجه فقدان اجبار این است که همیشه به دلیل ناتوانی ما در تعریف شرایط ابتدایی با تقریب کافی، ریاضیات غیر خطی پیچیدگی باموفقیت روبرو نمی شوند. حساسیت این نوع سیستم ها نسبت به تغییرات جزئی شرایط راه اندازی، و مشکلات مربوط به تخمین بسیار دقیق، به این معنی است که گرچه ممکن است قادر باشیم با الگوهای غیر دقیق، رفتار سیستم های پیچیده را مدلسازی کنیم، ولی حتی از نظر تنوری نیز اجازه نداریم نیز پیش بینی های تفصیلی تر انجام دهیم.

نمونه ساده و قابل رویت یک سیستم غیر زنده تلف کننده، گردابی است که بعد از برداشتن درپوش زیرآب وان شکل می گیرد. اگر آب از شیر جاری باشد، ممکن است ساختمان حلقوی گرداب با مارپیچ هایی که به شکل قیف مخروطی در می آیند، برای مدت نامحدودی حفظ شود. گرچه مولکولهای آب تشکیل دهنده گرداب لحظه به لحظه تغییر می کنند، ولی ساختمان آن حفظ می شود. ساختمان گرداب خود به خود پدیدار می شود و توسط مرکز فرماندهی داخلی اطلاعات برنامه ریزی نشده است. اگر همه اتم های بدن ما با خودنویس شب نمایی علامت زده شوند، در شرایط مناسب همه آنها شب نمایی می کنند. اگر هر روز ناظر این شب نمایی بدن باشیم، مشاهده خواهیم کرد که قدرت سیگنال آن به طور فزاینده ای در حال نابودی است، چون اتم هایی که در هنگام علامت زدن حضور داشتند کم کم با اتم های بدون علامت جایگزین شده اند. موجودات زنده، درست مانند گردابی که در وان حمام شکل می گیرد، سیستم های تلف کننده و غیر متعادل هستند که ساختمانشان در نتیجه زوال پیوسته ماده و انرژی در طول زمان حفظ می شود.

نظم موجودات زنده رایگان به دست نمی آید، ولی همان طور که دیده ایم، به قیمت افزایش بی نظمی در محیط حاصل می شود. کافی است فقط به بی نظمی تولید شده توسط یک وعده اسنک که برای ناهار مصرف می شود فکر کنیم تا خاطر جمع شویم که قانون دوم ترمودینامیک نقض نشده است. ماهی داخل بشقاب باید صید شود که این کار مستلزم نابودی نظم شیمیایی موتور قایق ماهیگیری ای است که برای صید ماهی به کار می رود، همچنین باعث نابودی نظم در غذایی که ماهیگیر می خورد تا انرژی لازم برای صید ماهی را به دست آورد، نابودی نظم در درختان برای تولید روزنامه ای که ماهی شما در آن پیچیده می شود و البته نابودی اطلاعات چاپ شده در روزنامه می شود. همچنین مستلزم نابودی نظم در خود ماهی است و احتمالاً از بین

رفتن نظم به طورگذرا در زندگی شخصی شما، اگر مثلاً همسر شما ترجیح می داد در رستوران مد روز " سوهو بیسترو " غذا میل کند.

اگر نظم می تواند خود به خود درون سیستم های خود سازمانده و تلف شونده ظهور کند، آیا ممکن است که اطلاعات حیات درون نوعی سیستم خود سازمانده غیر متعادل آغاز شده باشد؟ در ۱۹۰۰ هانری بنارد^{۱۰} ظهور بعضی الگوهای پیچیده را در یک لایه نازک روغن که از زیر حرارت می دید مشاهده کرد. این مورد مدلی کلی ساخت برای این مسئله که چگونه طرحهایی شبیه طرحهای زمینه ساز نظم ماشین های بیولوژیک می توانند در غیاب دستورالعمل های رمزدار دیجیتال، خود به خود پدید آیند. این مشاهده به طور قاعده مند تری توسط لرد ریلی^{۱۱} در ۱۹۱۶ بررسی شد. معلوم شد که طرح هایی که بنارد و ریلی مشاهده کردند و تبادل این طرح ها در فضا و زمان، منحصرأ از دینامیک سیستم پدید می آیند و به اجرای برنامه ای داخلی یا خارجی وابسته نیستند. مشاهدات آنها به طریق زیر می تواند درک شود.

لایه نازک آب روی سطح یک صفحه فلزی، یکنواخت، متقارن و بی شکل است. اگر خود را مینیاتوری می کردیم، همه نواحی مایع به نظر ما یکسان می آمد و نتیجتاً راهی برای درک مفهوم فضا نداشتیم. زیرا مایع دراین مرحله، همان طور که در تعادل ترمودینامیکی دیده می شود کاملاً همگن و فاقد گرادیان است. همه نواحی دمای یکسانی دارند و آب بی حرکت است. سیستم پایدار است و اگر اتفاقاً مختل شود، مثلاً توسط کسی که انگشتش را روی سطح آن می چسباند، به محض این که محرک برداشته شود و خاطره اختلال پاک شود، فوراً به حالت قبل خود باز می گردد. پایداری حالت تعادل به این معنی است که همه لحظه ها از یکدیگر غیر قابل تشخیصند و نتیجتاً قادر نیستیم مفهومی از زمان را ایجاد کنیم. در این مرحله سیستم از رفتار تهی است.

اکنون اگر مایع به آرامی از زیر حرارت ببیند، یک گرادیان حرارتی برقرار می شود و سیستم از حالت پایدار تعادل جابه جا می شود. اندازه این جابه جایی بستگی دارد به دامنه گرادیان حرارتی. تا زمانی که این اندازه از آستانه بحرانی عبور نکند، حرارت، از طریق رسانش، از نقاط گرمتر پایینی به نقاط سردتر بالایی منتقل می شود. مانند قبل هر نوع خاطره اختلال پاک می شود و سیستم کماکان فاقد رفتار است. اما اگر مقدار گرادیان حرارتی در مایع از اندازه بحرانی بگذرد، طرحهای شش گوش لانه زنبوری روی سطح مایع ظاهر می شوند. این طرحها، که با پاشیدن پودر آلومینیوم روی سطح مایع بهتر مشاهده می شوند، سلولهای- ریلی بنارد نامیده شده اند. هرچه سیستم بیشتر از تعادل دور می شود، طرحهای مختلفی ممکن است ظاهر شوند. این طرح ها شامل : استوانه های موازی، مثلث، مارپیچ، "تیرهای نشانه روی " و "لحاف های چهل تیکه " می شوند. از سوی دیگر، قبل از اتلاف انرژی حرارتی توسط فرآیند هدایت گرمایی، در نتیجه ظهور مکانیزم اتلاف حرارت که نیاز به جابه جایی حجم بزرگی از مایع دارد و همرفتی (انتقال گرما یا convection) نامیده می شود، سلولهای لانه زنبوری ظاهر می شوند. پایین تر از آستانه، به وسیله چسبندگی و اثر تلف کننده هدایت گرمایی از جابه جایی حجیم مایع جلوگیری می شود. اما وقتی از مقدار آستانه تجاوز می شود، این آثار پایدار کننده بی اثر می شوند و سیستم ناپایدار می شود. این مسئله از این حقیقت ناشی می شود که آب داغی که به منبع حرارت نزدیک است، نسبت به آب سردتری که روی آن قرار دارد سبک تر است و غلظت کمتری دارد. نتیجتاً حجم های داغ تر و سبک تر پایین مایع تمایل دارند که به سطح بیایند و حجم های سردتر و سنگین تر روی آب تمایل دارند که به پایین و ته بروند. اگر حجم کمی از آب نزدیک کف ظرف، اتفاقاً توسط یک اختلال به طور جزئی به سمت بالا حرکت کند، خود را در ناحیه ای متراکم تر خواهد یافت و نیروی ارشمیدس، تغییر مکان آن را به طرف بالا شدت خواهد بخشید. از طرف دیگر، اگر آب نزدیک سطح اختلالی را تجربه کند که آن را به طرف پایین براند، خودش را در ناحیه ای با تراکم کمتر خواهد یافت و نیروی ارشمیدس به پایین رفتن آن کمک خواهد کرد. در حرارت پایین تر از مقدار آستانه، اصطکاک درون مایع این اثرات را فرو می نشاند و از تشکیل جریان های دَوَرانی که طرحهای لانه زنبوری درست می کند،

Henri Benard^{۱۰}
Lord Rayleigh^{۱۱}

ممانعت می کند. آب داغ از مرکز سلول لانه زنبوری بالا می آید و مایع سرد از لبه های آن پایین می رود. ساختار لانه زنبوری راندمان انتقال حرارت به محیط را بالا می برد و به پخش گرادیان حرارتی کمک می کند. جالب است که، اگر سلول های لانه زنبوری از نزدیک مورد آزمایش قرار گیرند، معلوم می شود که جریان انتقال حرارت در سلول های مجاور در جهت عکس یکدیگر است. هنگام پرش از یک سلول به سلول دیگر الگوهای را می بینیم که یک در میان یا در جهت عقربه ساعت، خلاف عقربه ساعت، جهت عقربه ساعت می گردند (CW-AW-CW) یا خلاف عقربه ساعت، جهت عقربه ساعت، خلاف عقربه ساعت (AW-CW-AW) می گردند. هر یک از این الگوها ممکن است یافت شوند، فقط سیستم باید تصمیم بگیرد که کدام الگو باید اجرا شود. اما نمی توان پیش بینی کرد که کدام یک از این دو الگو در یک موقعیت خاص ظاهر خواهد شد. علاوه بر این، اگر سیستم در موقعیت های متعدد، بالاتر از مقدار آستانه یا پایین آن در نظر گرفته شود، احتمال دارد که هر بار که از آستانه تجاوز می شود انتخاب های متفاوتی انجام دهد.

ظهور ناگهانی سلول های ریلی -بنارد هنگام تجاوز از آستانه، جهان بدون زمان و بی شکل سابق را که شبیه مینیاتوری ما به آن انس گرفته، خرد می کند. مایعی که قبلاً همگن و متقارن بود، اکنون نامتجانس است و تقارنش شکسته است. اکنون، با پرش از یک سلول به سلول دیگر و شمردن سلول هایی که از آنها عبور کرده ایم، تصویری از فاصله و فضا به دست می آوریم. علاوه بر این، وقتی که ساکن هستیم، با مشاهده جهت چرخش سلولی که در آن قرار داریم می توانیم بگوییم کجا بوده ایم. جنبه حیرت انگیز پدیده سلول ریلی -بنارد این است که، مولکول های آب وقتی که پایین تر از آستانه ناپایداری قرار دارند مانند ماده مستقل و ناپیوسته ای که تصادفی حرکت می کند عمل می کنند، ولی بالای آستانه، هر مولکول با تعداد انبوهی از مولکولهای دیگر اشتراک مساعی می کند تا طرح پیچیده و مرتبه بالاتری را تولید کند. هر سلول ریلی بنارد در نتیجه فعالیت هماهنگ حدود صد میلیارد میلیارد مولکول آب (10^{20}) به وجود می آید. اگر بخواهیم با مثال روبات های بچه مدرسه ای مقایسه کنیم، این حالت مانند حالتی است که هر روبات فقط ناحیه بسیار کوچکی از فضای عظیم "نیای حالت های پله های توری" را کاوش می کند. تغییر ناگهانی از سادگی به پیچیدگی یادآور انتقال فازی است که هنگام تبدیل آب به یخ رخ می دهد.

نواحی دور مایع، علاوه بر این که همکاری موضعی دارند، همبسته می شوند و طرح کلی دوربرد سلولهای متناوب (یک در میان) را می سازند. از این رو، چون جریان انرژی، سیستمی را که قبلاً عاری از اطلاعات بوده از حالت تعادل جا به جا می کند، نظم می تواند خود به خود ایجاد شود. گرادیان حرارتی، اختصاصی نیست و رمز یا برنامه ای ندارد که دستور ساخت طرح ها را بدهد. اطلاعات طرحها منحصر در نتیجه فرآیند خود سازماندهی آغاز می شود، که این فرآیند نیز خود به خود در پاسخ به فشار گرادیان حرارتی ظهور می کند. از این رو، طرحهای لانه زنبوری پارادایمی برای آغاز نظم بدون برنامه فراهم می کنند، و هم چنین نگاهی اجمالی دارند به نوع آنتومی ای که احتمال دارد از اشکال مقدماتی حیات فرضی بدون ژن حمایت کرده باشد. همچنین این طرحها، نمونه های جالبی هستند که نشان می دهد ساختمان ابتدایی ولی در عین حال پیچیده، چگونه می تواند ناگهانی و به طور غیر پیوسته، بدون وساطت فرآیند سنتی انتخاب طبیعی ساخته شود.

سطح پیچیدگی اطلاعات پدید آمده در سیستم ریلی -بنارد، بسیار پایین تر از پیچیدگی ساده ترین موجودات زنده است. در هر حال این مسئله مهمی است، چون نشان می دهد که چگونه ساختارهای شبیه حیات، که معمولاً با سیستم هایی همراهند که از اطلاعات رمزدار ژنها فرمانبری می کنند، می توانند در یک سیستم ساده بدون ژن یا ژنوم پدیدار شوند. ساختمان مجرد سیستم ریلی-بنارد مدل خوبی از همه سیستم های پیچیده خود سازمانده است. از این رو، تفاوت موجود بین سیستم های ساده خود سازمانده ولی غیر زنده با ساده ترین موجودات زنده ممکن است مسئله ای مربوط به مقدار پیچیدگی باشد نه نوع آن. می توان نردبان پیوسته ای از پیچیدگی های خود سازمانده را در نظر گرفت که گروهی از سیستم ها با پیچیدگی های متفاوت را در بر می گیرد، و قطرات روغن، دانه های برف، بلور، پروتئین های تاخورد، گرداب، و سلولهای ریلی-بنارد در یک انتهای آن قرار دارند و موجودات چند سلولی در انتهای دیگر آن.

دلیلی برای این باور وجود ندارد که طرحهای موجودات زنده از اصولی متفاوت با اصول سیستم های شیمیایی یا فیزیکی-شیمیایی، ساخته شوند. بیشتر احتمال دارد که پیچیدگی سیستم های غیر متعادل غیر زنده، در سیستم های زنده، با تزریق اطلاعات دیجیتال رمزار، که نظم طبیعی و خود به خود آنها را به اسارت خود در می آورد، تقویت شده باشد. اریک شنایدر و جیمز کی^{۱۲} اظهار کرده اند که ژنها مانند "بانکهای اطلاعاتی راهبردهای خود سازماده موثر" عمل می کنند. ژنها در طول زمان با استفاده از قدرت خود در رمزارکردن، و تعدیل و تنظیم نظم خود ساخته، ظرفیت بازتولید الگوهای خود مونتاژ را، علاوه بر چیزهای دیگر به دست آورده اند. سیستم ریلی-بنارد به ما آگاهی می دهد که چگونه چنین اتفاقی می تواند رخ بدهد و نیز این که اصولاً چگونه ژنها می توانند اطلاعات خود به خود تولید شده درون چنین سیستم هایی را، به جهت های خاصی سوق دهند.

دیده ایم که هنگام تجاوز از آستانه، سیستم با دو احتمال روبرو می شود. یعنی ممکن است یا الگوی AW-CW را درست کند یا AW-CW-AW. گرچه همان سیستم می تواند در موقعیت های متفاوت الگوهای متفاوت تولید کند، ولی امکان ندارد که همزمان از هر دو الگو استفاده کند. هر دو الگو احتمال یکسانی دارند. پس چه چیزی تعیین میکند که کدام الگو انتخاب شود. سیستم ناپایدار بعد از تجاوز از آستانه، حتی به جزئی ترین اختلال ها حساس است. اولین اختلالی که سیستم پس از عبور از مقدار آستانه با آن مواجه می شود، معین می کند که کدام یک از الگوهای AW-CW یا AW-CW-AW شکل خواهند گرفت. برخلاف موقعیت های زیر آستانه که سیستم خاطرات اختلالات تصادفی را پاک می کند، سیستم فوق آستانه با رویدادهای شانس مهر می خورد و بعدی تاریخی به دست می آورد. تکامل بعدی سیستم تحت تاثیر رویدادهای محتمل تاریخی قرار می گیرد که نمی توانند پاک شوند. بنابراین، تکامل هر سیستم خاص ریلی-بنارد در هر موقعیت خاص منعکس کننده تاثیرات متقابل پیچیده بین احتمال و جبرگرایی می باشد.

اجازه بدهید فرض کنیم که الگوهای متناوب AW-CW-AW و CW-AW-CW برای سیستم فوق آستانه، نتایج متفاوت دربردارند. الگوی CW-AW-CW ممکن است از نظر زیبایی شناختی خوشایند تر از AW-CW-AW باشد، به طوری که هر سیستمی که الگوی AW-CW-AW را نشان می دهد فوراً توسط ناظر مشکل پسند دور انداخته می شود. در این مورد دو الگوی متناوب در یک فرآیند انتخاب زیبایی شناختی برای بقا بایکدیگر رقابت می کنند. هر عاملی که فرآیند انتخاب را طوری جهت دهد که احتمال یکی از نتایج بیش از دیگری باشد، به سیستمی که تصادفی تصمیم میگیرد اجازه گزینش بهتری را می دهد. در این صورت ممکن است تصور شود که یکی از اولین عمل های پیش-ژن ها این بوده که تکامل سیستم های پیچیده ای را که در "فضاهای عظیم راه حل های متناوب" کاوش می کنند و در نبود عوامل جهت دهنده، به روشی کاملاً تصادفی انتخاب می کنند، جهت بدهند. ممکن است پیش-ژن ها در ابتدا وظیفه داشته اند با هدایت فرآیندهای خود سازماندهده به سوی راه حل های بهینه امتحان شده و محک خورده تاریخی، اثر رویدادهای شانس بر آنها را به حداقل برسانند.

آستانه های بحرانی ناپایداری که در آنها راه حل های متناوب به سیستم های غیر متعادل عرضه می شوند، نقاط انشعاب نامیده می شوند. هر راه حل مسیری را نشان می دهد که سیستم می تواند با استفاده از آن خود را پایدار کند. در شرایط غیر جهت دار، احتمال هر راه حل با راه حل های دیگر مساوی است و نتیجه با تثبیت اختلالهای تصادفی تعیین می شود. ولی می توان وضعیت هایی را تصور کرد که در آنها نتیجه یک نقطه انشعاب طوری جهت داده می شود که، به جای مسیرهای دیگری که احتمال یکسانی دارد، سیستم به طور ثابت در یک مسیر خاص جریان پیدا می کند. با تثبیت یک نتیجه خاص، سیستم یک ماده تاریخی می شود. درمثال توپ فلزی که قبلاً مورد بحث قرار دادیم، عواملی که در نقطه انشعاب بر نتیجه تاثیر می گذارند، آهنرباهایی هستند که توپ را به جای یک مسیر در مسیر مخروطی دیگری به پایین جذب می کنند. از این رو، به نظر می

رسد که شکستن تقارن در نقاط انشعاب توسط اختلالهای تصادفی، نقشی اساسی در تولید اطلاعات در سیستم های پیچیده بازی می کند.

وقتی که فشار سیستم از حد اولین ناپایداری نقطه انشعاب فراتر می رود، ناپایداری های دیگر و انشعابات همراه آنها را نیز پشت سر می گذرد. این ناپایداری ها الگوهای پیچیده تری دارند. هر سیستم به طور بالقوه ناپایداری های متوالی دارد. بعد از تجاوز از هریک از ناپایداری های متوالی، راه حل های ممکن آن ناپایداری آشکار می شود. اصولاً، هر جزیره پایداری که یک سیستم بتواند در آن متمرکز شود، جذب کننده نامیده می شود. مجموعه همه شرایط اولیه ای که یک سیستم را به یک جذب کننده خاص هدایت می کند، حوزه آن جذب کننده نامیده می شوند.

وقتی که سیستم از اولین ناپایداری می گذرد و تعادلش کمتر و کمتر می شود، تعداد انشعابات هم افزایش می یابد. درواقع فاصله با هر نقطه انشعاب بعدی به طور فزاینده نصف می شود. اگر سیستمی بسیار از تعادل دور شود، راه حل های ممکن در هر یک از نقاط انشعاب، انقدر زیاد می شود که رفتار سیستم به نظر آشفته و بی نظم می رسد. مثلاً، اگر گردادیان حرارتی در یک سیستم ریلی - بنارد خیلی زیاد باشد، الگوهای منظم ناپدید می شوند و سیستم آشفته و متلاطم می شود. این رفتار به ظاهر آشفته، این واقعیت را منعکس می کند که سیستم دیگر مجبور نیست که فقط یک راه حل جذب کننده را انتخاب کند بلکه آزاد است که هریک از جذب کننده های گوناگون را انتخاب کند. این اتفاق در نتیجه افزایش بیش از حد اطلاعاتی رخ می دهد، که وقتی سیستم از تعادل دور می شود تولید می شود.

انواع سیستم های بدون برنامه و بدون دستورالعمل که قادر به تولید خود به خود اطلاعات هستند، دراین نقطه مشترکند که با اعمال محدودیت خارجی ای که آنها را به سوی ناپایداری های تولید کننده انشعاب می راند، در حالت غیر متعادل نگهداری می شوند. انشعابات درون یک سیستم توسط راه حل های جذب کننده متفاوتی ارضاء می شوند که قبل از انتخاب یک راه حل خاص و تثبیت آن توسط اختلالی شانسی، اسکن می شوند. اصولاً می توان اجازه داد که نتیجه هر نقطه انشعاب بر مسیر حرکت سیستم تاثیر بگذارد. قبلاً اشاره کرده بودم که پیش - ژن ها و نمونه - ژن های بعدی احتمالاً طوری عمل کرده اند که یک الگوی گزینش برنامه ریزی شده و غیر تصادفی برای نقاط انشعاب تولید کنند. گرگوار نیکولیس^{۱۳} و ایلینا پریگوگین درواقع شباهتی بین اختلالات شانسی موثر بر انتخاب مسیرها در نقاط انشعاب و جهشهای وارد شده به ژنها یافته اند. آنها همچنین اشاره کرده اند که تثبیت یک اختلال شانسی در نقطه انشعاب از طریق گزینش یک جذب کننده به جای دیگری، مشابه تثبیت یک جهش توسط انتخاب طبیعی است. از این رو تثبیت تصادفی یک رویداد شانسی ممکن است، در نتیجه تاثیر بر دینامیک سیستم تقویت شود و نتایج ژرفی بر روی تکامل بعدی اش بگذارد.

اهمیت این عبارت که ژنها " باتکهای اطلاعاتی راهبردهای خود سازمانده موثر " هستند، اکنون آشکار می شود. چون، گرچه سیستم های خود سازمانده ای که از آستانه ناپایداری خود تجاوز کرده اند عمیقاً تاریخی هستند و با اختلالات تصادفی متعدد مهورشده اند، ولی احتمال این که زنجیره انتخاب ها در سیستم جهت دار نشده دیگری تکرار شود بسیار کم است، مگر این که نقاط انشعاب محدود باشند و ضمناً، راه حل های جذب کننده موجود در نقاط انشعاب نیز کم باشند. ازاین رو گرچه سیستم های مشخص تاریخی هستند، ولی مجموعه سیستم ها فاقد تاریخ هستند چرا که هر سیستم جدید، لوح سفیدی است که تاریخ جدید روی آن نوشته می شود. یک سیستم، بدون این که سابقه مستندی از انتخاب های صورت گرفته در نقاط انشعاب داشته باشد، نمی تواند با راهنمایی سیستم دیگری اطلاعاتش را بازتولید کند و دودمانی تاریخی بنا نهد. از این رو، هر سیستم مشخص مهوور تاریخی حالت های غیر ممکن زیادی را نمایش می دهد. مقدار عدم احتمال یک ساختار خاص، تا اندازه ای می تواند تعداد نقاط انشعاب مستقلاً را که از آنها تجاوز کرده است و تعداد راه حل های ممکن را که در هر نقطه انشعاب با آنها مواجه شده است منعکس کند.

اصولاً ممکن است ژنها با رمزدار کردن و تحمیل الگوی جامعی از انتخاب هایی که در نقاط بحرانی انشعاب یک سیستم پیچیده انجام می شود، آن سیستم را به ناحیه مجزا و مشخصی از "فضای راه حل های نقاط انشعاب" بالقوة خود، خلاصه کرده باشند. به این ترتیب، ممکن است دستورالعمل های رمزدار، نظم طبیعی و درعین حال بدون ساختار سیستم های پیچیده خود سازمانده را در اختیار خود بگیرند و آنها را به گزینش راههای تجویز شده تاریخی که به راه حل های آزمایش و تست شده منتهی می شوند، راهنمایی کنند. می توان تصور کرد که ژنها پیچیدگی میکروسکوپی سیستم های زیستی را با استفاده از دانش تاریخی به رمز درآمده، به وجود می آورند، تا قابلیت عظیم پیچیدگی میکروسکوپی را کاهش دهند. تصمیمات اخذ شده در هر یک از نقاط انشعاب، در غیاب دستورالعمل های رمز دار، تصادفی و غیر جبری است. اما وقتی همین سیستم ها توسط ژنها به بردگی گرفته می شوند بسیار جبری تر رفتار می کنند.

این مدل از ژنها که آنها را در نقش واسطه ای نشان می دهد که روش آشکار شدن الگوهای ریاضی سیستم های پیچیده خود سازمانده در زمان و فضا را اصلاح می کنند، کلاً قابل قبول به نظر می رسد. اما، این مدل فرض می کند که سیستم های پیچیده قادر نیستند تصمیم های اخذ شده در نقاط انشعاب را بدون دخالت ژنها جهت دار کنند. فرض می شود که ژنها با فرصت طلبی بر روی عمارت های ریاضی بدون ساختاری عمل می کنند که از جهات دیگر سیستم های آزاد و خود سازماندهی هستند. گرچه این سیستم ها قادر به تولید اطلاعات هستند، ولی کیفیت آن پایین است چون به جای این که اطلاعات سمبلیک باشد ساختمانی است. اما به نظر می رسد که این فرض معقول نیست، چون سیستم های فاقد ژن می توانند جهت گیری های خاص خود را داشته باشند و طوری رفتار کنند که انگار تحت تاثیر دستورالعمل های رمز دار ژنتیک هستند. اصولاً بدون ژنها، تداوم اطلاعات به طور ناقص حاصل می شود. قبل از توصیف انواع سازو کارهایی که ممکن است موجودات فاقد ژن را قادر به ترکیب و تداوم اطلاعاتی که خود به خود تولید کرده اند بسازد، باید منظور خود از واژه اطلاعات را بیان کنیم.

لغت اطلاعات از کلمه قدیمی یونانی ایدوس^{۱۴} یا فرم مشتق شده است و مقیاسی است برای اندازه گیری نظم یا ساختار یک سیستم. کارل فردریش فون وایزاکر^{۱۵} اطلاعات را "چیزی که فهمیده می شود" تعریف کرده است. این تعریف مستلزم این است که این مفهوم به طور لاینحل به انتقال اطلاعات بین یک فرستنده و یک گیرنده محدود شود. می توان ملاحظه کرد که اطلاعات حاوی دو جزء اساسی است که آنها را ساختاری و دستوری می نامیم، یا ترکیبی و معنایی (Synthetic & Semantic). محتوای ساختاری رابطه بین سمبل هایی را که اطلاعات را به رمز در می آورند توصیف می کند. برای مثال مقدار اطلاعات ساختاری در کلمه "man"، با ترکیب ساختاری جایگزین آن یعنی "mna"، "nam"، "anm"، "man" و "anm" یکسان است، چون همه رشته ها شامل تعداد کاراکترها، یا بیت های اطلاعات ساختاری یکسان هستند. اما فقط کلمه "man" اطلاعات معنی دار را به رمز در می آورد. اگر این رشته توسط یک انگلیسی زبان خوانده شود، به عنوان یک فوق سمبل شناخته می شود که نمایش دهنده مفهوم ژنتیک مرد است. درحالی که رشته نمادین "man" تصویری از یک مرد را در ذهن بیننده متبادر می کند، اما رشته جایگزین آن "anm" این کار را نمی کند. تشخیص کلمه "man" به عنوان یک فوق سمبل که معنی خاصی دارد، متضمن ادراکی ضمنی یا توافقی است که مبتنی بر دانش مشترکی بین فرستنده و گیرنده است. ماهیت این توافق ممکن است تغییر کند و معنی کلمه سابق "man" به رشته بی معنای "anm" اختصاص یابد. کلمه "man" می تواند مجدداً به مفهوم یک درخت نسبت داده شود، یا این که اصلاً به مفهومی نسبت داده نشود و بی معنی باقی بماند. تا زمانی که متن قرارداد بین استفاده کنندگان یک کانال ارتباطی از نظر معنا تکامل می یابد، این که چه ترکیباتی برای نمایش یک مفهوم به کار می روند، بی اهمیت است.

^{۱۴} Eidos ایده یا مثل افلاطونی – (۱*)
^{۱۵} Carl Fredrich von Weizsacker

محتوای اطلاعات ساختمانی ژن ها به طور قابل ملاحظه ای کمتر از اطلاعات سیستمی است که آنها به رمز در می آورند. از این رو ژنها، به جای تشکیل پایگاه داده دقیق درمورد اطلاعات ساختمانی سیستم، نمونه ای اقتصادی تر از این اطلاعات را به رمز در می آورند که فقط جنبه های ضروری جهت بازسازی سیستم را در خود جای می دهد. صرفه جویی زیاد در فرآیند رمزگذاری بیولوژیک را می توان با دو مثال نمایش داد.

در یکی از فصول قبلی تشریح کردیم که چگونه ابعاد بالاتر ساختمان پروتئین قادرند خود را از مشخصات حداقلی که در رده اولیه زنجیره آمینواسید آنها وجود دارد، بسازند. گرچه آنزیم های زیادی فقط از یک پروتئین ساخته می شوند، ولی بقیه آنزیم ها پیچیده ترند و از اجزاء پروتئین متفاوتی ساخته می شوند، که هر یک از این پروتئین ها با یک ژن جداگانه به رمز در می آید. برای مثال، آنزیم لیگاز^{۱۷} F_1-ATP که مولکول های F_1-ATP را برای تامین انرژی لازم جهت واکنش های درون سلول ها تولید می کند، از یک ساقه و یک رأس ساخته شده است که با ده الی دوازده پروتئین متفاوت سرهم می شود. این آنزیم ها خود به خود ساخته می شوند و موتوری بیولوژیک با معماری بسیار پیچیده تولید می کنند. اطلاعات نسبتاً کم ساختمانی درون ده تا دوازده ژن که زنجیره های اصلی آمینو اسید های اجزاء رأس لیگاز F_1-ATP را به رمز در می آورند، نه تنها قادر است اطلاعات ساختمانی لازم برای تشکیل ساختمان ثالث هر یک از زیر واحدها را تولید کند، بلکه می تواند اطلاعات لازم برای سرهم کردن زیر واحدها در مجتمع مولکولی که معماری اساسی دستگاه را تشکیل می دهد نیز تولید کند. از این رو، اطلاعات ساختمانی ژنتیک نسبتاً کم اجزاء پروتئین سازنده لیگاز، مانند یک سفیر اطلاعاتی بسیار فشرده برای اطلاعات ساختمانی مجتمع آنزیم چند جزئی کامل عمل می کند. نتیجتاً، بیشتر اطلاعاتی که برای مشخص کردن معماری نهایی لیگاز لازمند، نیازی نیست رمزدار شود. اینک جنبه اساسی فیزیک شیمی پروتئین ها و واکنش های آنها در محلولی خاص و محیط میکروسکوپی به وضوح قابل مشاهده است. فشردگی ساختمان اطلاعاتی دستگاه لیگاز F_1-ATP فقط به این دلیل امکان پذیر است که تصویر ژنتیک آن فرضیاتی تاریخی در مورد ماهیت پروتئین ها و انواع محیط هایی که در آنها الگوهای سازماندهی مراتب بالاتر می توانند ظاهر شوند، در نظر می گیرد. برای مثال، خیلی بعید است که، لیگاز F_1-ATP بتواند در حضور یک شوینده، یا در داخل یک بطری روغن، خود به خود ساخته شود. به این ترتیب، درون ژنوم، هیچ تصویر واضح ژنتیکی از لیگاز F_1-ATP کامل ساخته شده وجود ندارد. در عوض، از دستورالعمل های ژنتیک مربوط به ساخت هر یک از اجزاء مجزا، برای سرهم کردن ساختمان آنزیم اصلی چند جزئی استفاده می شود.

اما سوخت و ساز، که اتفاقاً می توان آن را به عنوان مجموعه پیچیده ای از پروتئین هایی که علامت را انتقال می دهند یا مانند ناوماشین های ساختمانی یا کاتالیزور عمل می کنند، تعریف کرد، و مداربندی اساسی و ضروری همه موجودات زنده را تشکیل می دهد، حتی پیچیدگی ساختاری خودمونتاز و نواخته مرتبه بالاتری را تشکیل می دهد. لیگاز F_1-ATP خود در یک شبکه سوخت و ساز ادغام می شود. آنزیم، به جای قرار گرفتن در مکان نامناسبی از سلول، به غشاء سلول هدایت می شود. بدین گونه، ژنهایی که آنزیم های شکل دهنده و تنظیم کننده مدارهای سوخت و ساز را رمزدار می کنند، همچنین اطلاعات ساختاری مربوط به مشخصات فضایی هر پروتئین داخل سلول و مجموعه واکنش های شیمیایی ای را که این پروتئین ها احتمال شرکت در آن دارند، به صورت فشرده ای نمایش می دهند.

حلقه های نظارتی خودسازمانده که راههای سوخت و ساز را تنظیم می کنند حتی مرتبه بالاتری از تشکیلات ساختاری پویا را تشکیل می دهند که به وضوح درون ژنوم نمایش داده نمی شود، اما به طور غیر مستقیم از آن استنباط می شوند. عناصر مجزای پروتئین که مسیر سوخت و ساز معینی دارند و ژنهای به رمز درآورنده آنها، به مثابه سفرای اطلاعاتی بی نهایت فشرده ای برای ابعاد بالاتر ساختارهای خود سازمانده عمل می کنند، و دامنه شان از ساختارهای دوم، سوم و چهارم پروتئین های مجزا شروع می شود و تا ساخت مجتمع های پیچیده پروتئین، معماری مسیرهای سوخت و ساز پیچیده و مکانیزم تنظیم کننده ای که این مسیرها را کنترل می کنند، گسترش می یابد. همه این پدیده های خود سازمانده سطح بالا، با حذت بر

^{۱۷} سینتتاز یا لیگاز. (۲*)

روی ساختمان اولیه پروتئین و بنابراین بر روی زنجیره ژن و زنجیره دی.ان.ا که بروز آن را تنظیم می کند، قرار می گیرند. به این ترتیب بار دیگر ثابت کردیم که ژنها سفرای اطلاعاتی بسیار مترادفی برای گروهی از استراتژی های خود سازماندهنده موثر مراتب بالاتر هستند. همچنین به نظر می رسد که اجزاء پروتئین یک سوخت و ساز ممکن است مانند یک دستگاه محاسبه آنالوگ مینیاتوری به نظر برسند، که هم قادر به محاسبه ساختارهای مرتبه بالاتر خود هستند و هم قادر به محاسبه ساختارهای مربوط به سوخت و سازها و حلقه های نظارتی که در آنها شرکت دارند. به این ترتیب، ساختارهای بیولوژیک از سطوح زیادی از خود سازماندهی سلسله مراتبی ترکیب شده اند که نهایتاً در ساختارهای سطح پایین پروتئین که از نظر ژنتیک داربست نام گرفته اند ریشه دارند و یا غیرمستقیم توسط آنها برنامه ریزی شده اند، و این پروتئین ها برای تشکیلات خود سازماندهنده مراتب بالاتر مانند بذر عمل می کنند.

به دلیل ماهیت بسیار فشرده اطلاعات ژنتیک، ممکن است هیچوقت نتوان اجرای اطلاعات ساختاری سطوح بالاتر را به تنهایی از زنجیره ژنها و عناصر تنظیم کننده دی.ان.ا به طور کامل محاسبه کرد. نکته دیگر این است که، دی.ان.ا تنها پایگاه داده فشرده بیولوژیک نیست. اطلاعات ساختاری بالقوه به رمز در آمده درون مجموعه ای از ژنها و زنجیره های تنظیم کننده که در اثر همجوشی اسپرم و تخمک تولید شده اند، فقط وقتی می توانند آشکار شوند که اطلاعات زنجیره آر.ان.ا پیغامبر در سیتوپلاسم تخمک موجود باشد و علائم القایی تحویل شده توسط سلولهای فولیکولی احاطه کننده تخمک بارور الگوی صحیحی داشته باشند. تخمک و علائم القایی فولیکولی، ماشینی هستند که اطلاعات لازم را فراهم می کنند تا مشخص کند که اطلاعات ساختاری بالقوه ای که در ژنوم جدید ذخیره شده چگونه باید تحقق یابد. به این دلیل، همان طور که لونیس ولپرت^{۱۸} استدلال کرده است، سناریوی فیلم پارک ژوراسیک غیر محتمل است. گرچه ما نهایتاً ممکن است قادر به بازیابی یا استنتاج یک ژنوم دایناسور شویم، ولی هرگز امکان ندارد که قادر به بازیابی یا استنتاج صحیح ساختارهای اطلاعاتی درون تخمک دایناسور و سلولهای فولیکولی ماده های باردار آنها بشویم. بدون این کار، هرگز نمی توانیم تضمین کنیم که اطلاعات ساختاری بالقوه ذخیره شده در ژن دایناسور بتوانند به روش تاریخی معتبری به تجسم درآیند. با این حال، ممکن است در نتیجه درک مفصلی که در مورد مکانیزم های سایر گونه های بسیار نزدیک به دایناسور پیدا می کنیم، نهایتاً قادر باشیم در مورد محتوای اطلاعاتی تخمک و علائم القایی دایناسور حدس هایی بزنیم که قریب به یقین باشند. پس، این کار به ما کمک می کند که مخلوقات قابل قبولی بسازیم که شبیه دایناسورند، و گرچه اعتبار تاریخی آنها قابل اثبات نیست ولی احتمالاً قابل قبول است.

مقدار فشرده گی اطلاعات ساختاری فراوانی که ساختمان و دینامیک یک متابولیسم را تعریف می کنند، نشان دهنده این است که اطلاعات ساختاری چقدر می توانند آزادانه و خود به خود توسط فرایندهای فاقد ژن خود سازمانده به وجود آیند. به نظر می رسد که ساختار اطلاعاتی موجودات زنده، می تواند با داشتن منبع متمرکزی از زنجیره های اولیه پروتئین های لازم برای ساخت موجود زنده و نیز شرایط خاص دور از تعادل، خود به خود، خود را به شکل ریزماشین های زیستی منسجم و گذرگاههای بیوشیمیایی بسازد. اطلاعات به رمز در آمده ژنهای منفرد، بر روی این فرسینه غیر رمزی و فاقد دستورالعمل اطلاعات ساختاری پدیدار شده سوار می شود. این راهبرد فشرده گی اطلاعات کاملاً اقتصادی است. اما، این نوع فشرده گی اطلاعات که توسط میکرو کدهای مجرد دیجیتال ژنها بدست می آید، در سیستم ریلی-بنارد رخ نمی دهد. گرچه این سیستم ها قادر به تولید اطلاعات ساختاری هستند، ولی در نمایش آنها صرفه جویی وجود ندارد. هر سیستم، نمایش دقیق آنالوگی از خودش است. همه اطلاعات ساختاری آشکار است و هیچ کدام استنباط نمی شود و به همین دلیل سیستم ریلی-بنارد مبتلا به فراموشی است و به سرعت گذشته خود را فراموش می کند. از این رو، گرچه اصولاً رفتار دینامیک سیستم ممکن است به شکل دیجیتال نمایش داده شود، چون راه حل هایی که در هر نقطه انشعاب عرضه می شوند تصمیم های دوگانه را نشان می دهند، ولی این انتخاب ها به روشی منحصر آنالوگ ثبت می شوند و الگوی تصمیمات تاریخی اتخاذ شده اصلاً رمزگذاری نمی شوند. علاوه بر این هیچ متن

مرجع خلاصه یا قالبی اصلی که بتوان حالت جاری اطلاعات ساختاری سیستم را با آن مقایسه کرد وجود ندارد. ماهیت آنالوگ اطلاعات تولید شده توسط سیستم ریلی-بنارد آنها را تابع همه محدودیت های ماشین های آنالوگ می کند.

دو نکته مهم را درباره نوع اطلاعات تولید شده توسط سیستم های ساده ای مشابه سیستم ریلی-بنارد ثابت کرده ایم. اول این که این سیستم ساختمانی است و نه معنایی و دوم این که آنالوگ است و نه دیجیتال و ضمناً متراکم هم نیست. اما همه مخلوقات معاصر از اطلاعات ساختاری رمزار دیجیتال استفاده می کنند، بُعد معنایی دارند و شدیداً توسط نشانه گذاری سمبلیک انتزاعی فشرده می شوند. بنابراین گرچه ما شاهد ظهور خود به خود ساختار اطلاعات در سیستم ریلی-بنارد هستیم ولی به نظر می رسد که این سیستم فاقد ویژگی های اطلاعاتی مرتبط با حیات معاصر باشد. اما، این ویژگی های سیستم های زیستی بالغ تاریخی، میلیون ها سال طول کشیده است تا تکامل یابند، و به وضوح، انتظار این که اولین موجودات زنده در هر امری، جز به شکلی بی نهایت ابتدایی مشارکت کرده باشند، غیر واقع بینانه است.

بنابراین همان طور که قبلاً بیان کردیم به نظر منطقی می رسد که به وضعیتی متوسل شویم که در آن بین چیزهایی که پیش-حیات، نمونه حیات و حیات نامیده ایم، پیوستگی وجود داشته باشد. سیستم های پیچیده مولد اطلاعات ولی در عین حال غیر زنده، مانند ریلی-بنارد، به وضوح در انتهای شاخص پیش-حیات قرار می گیرند. آنها ساختارهای غیر متعادل و تلف کننده ای هستند که خود به خود اطلاعات ساختاری تولید می کنند، ولی قادر به فشرده سازی اطلاعات ساختاری و تولید تصویری انتزاعی و رمزار نیستند. از طرف دیگر ممکن است اولین نمونه -ارگانیسم ها سرانجام ظرفیتی ابتدایی برای رمزار کردن و نمایش مجرد به دست آورده باشند. اما، بُعد معنایی محتوای اطلاعاتی چنین نمونه -ارگانیسم هایی می تواند نسخه رقیق آن چیزی باشد که در موجوداتی که سرانجام آنها را از ریشه برداشتند و ما با آن آشناییم، یافت می شود.

اکنون ممکن است سوال کنیم که آیا رمزگذاری دیجیتال و ظرفیت نمایش اطلاعات معنا دار از وجوه ضروری حیات هستند؟ اگر می توانستیم ثابت کنیم که اصول ذاتی سازماندهنده ای در سیستم های پیچیده خود مونتاژ حضور دارند که قادر به جهت دهی تصمیم های نقطه انشعاب هستند، ولی در عین حال غیردیجیتال و فاقد عنصر معنا هستند، آیا در این صورت ممکن بود چنین سیستم هایی به یک معنی زنده باشند؟ آیا احتمال دارد که نیاکان نمونه -حیات که همگی ما از آن سرچشمه گرفته ایم، درون سوخت و ساز خود مونتاژ خودشان، بدون کمک ژنها، حالت های جذب کننده و جهت دهی به وجود آورده باشند؟ پاسخ هر یک از این سوالات می تواند مثبت باشد، چون همان طور که خواهیم دید، آزمایشاتی که از برنامه های کامپیوتری استفاده می کنند، و این برنامه ها می توانند ویژگیهای خلاصه شبکه های بسیار بهم پیوسته و خوشه های شدیداً متصل عناصر غیر متعادل را که با یکدیگر بر هم کنش دارند، شبیه سازی کنند، نشان می دهند که تحت شرایط معین، جذب کننده ها که رفتار یک سیستم را به شکل قابل توجهی جهت دار می کنند، می توانند خود به خود و به راحتی ظاهر شوند. مطالعه منطق کلی خلاصه شده موجودات زنده با استفاده از کامپیوتر، حیات مصنوعی در معنای وسیع آن یا "حیات A" نامیده شده است.^{۱۹}

نقش اساسی فرایندهای بازخوردی^{۲۰} در تولید پیچیدگی سیستم هایی که از عناصر متعددی که باهم برهم کنش دارند، ترکیب شده اند، توسط استوارت کافمن^{۲۱} نشان داده شده است. او ۱۰،۰۰۰ دکمه را در نظر می گیرد که روی زمین پراکنده شده اند. دو تا از آن ها به طور تصادفی برداشته می شوند و با یک نخ به هم متصل می شوند. این اتصال اجازه می دهد که رفتار هر دکمه به شریکش بازخورد داده شود. اگر زوج متصل روی زمین انداخته شوند و یکی از دکمه های زوج برداشته شود، شریک آن هم منفعلانه مانند یک مسافر حمل خواهد شد. سپس این دکمه ها روی زمین انداخته می شوند و دو دکمه دیگر به طور تصادفی برداشته و به هم متصل می شوند. اگر روند برداشتن و اتصال دکمه ها به دفعات تکرار شود، نهایتاً درخواهیم یافت که بیشتر دکمه هایی که انتخاب می کنیم، قبلاً به دکمه دیگری متصل شده اند. وقتی یک دکمه اضافه به زوجی که قبلاً

^{۱۹} Artificial life or A life

^{۲۰} Feedback

^{۲۱} Stewart Kauffman

موجود بودند متصل شود، خوشه کوچکی از سه یا تعداد بیشتری دکمه شکل خواهد گرفت. اگر به برداشتن و اتصال و رها کردن آنها به این روش ادامه دهیم، سیستم نهایتاً و کاملاً ناگهانی به یک نقطه بحرانی بهم پیوستگی می رسد. در این نقطه اگر تنها یک دکمه از زمین برداشته شود متوجه خواهیم شد که همه یا تعداد زیادی از ۹۹۹۹ دکمه باقی مانده با آن به بالا کشیده می شوند. مجموعه دکمه هایی که در آغاز کار مانند عناصر مستقل رفتار می کردند اینک خوشه تنه‌ای به هم پیوسته ای است و رفتار هر دکمه درون خوشه اطلاعات به بقیه دکمه های درون خوشه بازخورد می شود. تقلای ناچیزی در هر یک از دکمه ها، امواجی از تاثیرات را خواهد فرستاد که توسط بقیه دکمه های شبکه احساس خواهد شد. از این رو، یک ساختار شبکه ای شدیداً به هم پیوسته، خود به خود و به طور چشمگیر متبلور می شود و در این حالت، رفتار موضعی می تواند در فاصله های دور هم عمل کند و نتایج عمیق کلی و سراسری داشته باشد.

این مثال ساده جنبه های مهمی از نحوه ظهور خود به خود اطلاعات در سیستم هایی را نشان می دهد که قابلیت تولید شبکه های بسیار به هم پیوسته را دارند. پیچیدگی رفتار این سیستم ها از این واقعیت ناشی می شود که وقتی به هم پیوستگی به سطح بحرانی می رسد، هر یک از اجزاء سیستم می تواند اطلاعات مربوط به حالت کنونی خود را به همه اجزای دیگر بازخورد دهد. پیچیدگی این برهم کنش ها توضیح می دهد که چرا برای مدلسازی رفتار این سیستم ها به معادلات غیرخطی نیازمندیم. رفتار هر دکمه در هر لحظه خاص به عنوان تابعی از اعمالی که ۹۹۹۹ دکمه دیگر در آن لحظه خاص انجام می دهند، محاسبه می شود. اثری که هر دکمه بر روی بقیه دکمه ها اعمال می کند به عوامل متعددی بستگی دارد، مثلاً این که، چقدر دکمه ها به هم نزدیکند، بین آنها چه تعداد اتصال موجود است و قدرت اتصالات چقدر است. انتقال از وضعیتی که در آن همه دکمه ها مانند عاملی خود مختار و خود گردان رفتار می کنند، به وضعیتی که دکمه ها شبکه ای از برهم کنش های بسیار به هم پیوسته را تشکیل می دهند، ناگهان به مانند " انتقال فاز " رخ می دهد. مثلاً، این مسئله یاد آور تغییر ناگهانی آب به یخ می باشد. ساختار شبکه ای که به هم پیوستگی اجزایش بالاتر از سطح معینی قرار داشته باشد، خود به خود متبلور می شود. شبیه سازی های کامپیوتری نشان می دهند که هرچه تعداد اجزای سیستم بیشتر باشد، انتقال از رفتار ساده به رفتار پیچیده ناگهانی تر خواهد بود. اردوس و رینی^{۲۲} در ۱۹۵۹ نشان دادند که تبدیل فاز وقتی رخ می دهد که نسبت اتصالات به دکمه ها به آستانه بحرانی که مساوی عدد ۰.۵ است، برسد. زمانی که تعداد نخ ها بیشتر از تعداد دکمه ها بشود، شبکه ناگهانی و خود به خود سقوط می کند.

این نوع تبدیل فاز از رفتار ساده به رفتار پیچیده منحصر به دسته دکمه ها یا در واقع به سیستم های ریلی-بنارد نیست. سیستم های شیمیایی همچنین قادر به تشکیل شبکه های به هم پیوسته ای از واکنش های سوخت و ساز هستند که به یکدیگر بازخورد می دهند و از این طریق قادرند رفتار پیچیده و اطلاعات ساختاری ای تولید کنند که یاد آور سیستم ریلی-بنارد است. درحالی که در سلول های ریلی-بنارد، جریان انتقال گرمایی (همرفتی) که در جهت عقربه ساعت یا خلاف عقربه به گردش در می آید، زیربنای بازخورد است، زیربنای بازخورد مثبت یا منفی در سیستم های واکنش شیمیایی، خود تسریع کنندگی و تسریع متقابل است. واکنش شیمیایی خود تسریع کننده (خود کاتالیزور) واکنشی است که فرآورده های آن قادرند نرخ تولیدات خود را با تشکیل یک حلقه بازخورد مثبت افزایش دهند. یک واکنش ساده شیمیایی را تصور می کنیم که در آن واکنش کننده های A و B باهم ترکیب می شوند تا فرآورده های C و D را تولید کنند. اگر فرآورده های C یا D بازخوردی بدهند که نرخ تبدیل واکنش کننده های A و B به C و D را افزایش دهد این واکنش خود کاتالیزور است. حلقه بازخورد مثبتی که به این ترتیب شکل می گیرد حلقه خود کاتالیزور نام دارد.

اگر ماده های A و B در یک محیط مناسب و در حضور کاتالیزور مناسب با هم مخلوط شوند، باهم برهم کنش خواهند داشت و فرآورده های C و D را خواهند ساخت. اما واکنش هرچقدر هم که طول بکشد، بعضی از ماده های A و B باقی خواهند ماند؛ به دلیل این که همه واکنش های شیمیایی برگشت پذیرند. به این ترتیب در حالی که مواد A و B در

حال تبدیل به C و D هستند، فرآورده های C و D همزمان در حال تبدیل به A و B هستند. به این ترتیب واکنش های رو به جلو و رو به عقب با یکدیگر رقابت می کنند. اگر سیستم، به مدت کافی در شرایط مناسب شیمیایی نگه داشته شوند سرانجام به تعادل می رسد. در شرایط تعادل، نسبت فرآورده ها به مواد اولیه به یک مقدار ثابت می رسد که " ثابت تعادل " نام دارد. در این نقطه، واکنش های رو به جلو و رو به عقب دقیقاً تراز می شوند. مقدار ثابت تعادل از یک واکنش به واکنش دیگر متفاوت است. اگر این مقدار بزرگ باشد نسبت فرآورده ها به مواد اولیه بزرگ است و اکثر مواد اولیه به فرآورده تبدیل می شوند. اما اگر مقدارش کوچک باشد نسبت فرآورده ها به مواد اولیه کم است و واکنش شامل مواد اولیه بیشتری نسبت به فرآورده ها خواهد بود. گرچه یک کاتالیزور قادر به افزایش سرعت تعادل است، ولی اندازه ثابت تعادل و نتیجتاً غلظت نهایی مواد اولیه و فرآورده های تعادل را تغییر نمی دهد. یک واکنش شیمیایی در حالت تعادل پایدار، شبیه یک سیستم ریلی-بنارد است که زیر آستانه بحرانی ناپایداری قرار دارد و انرژی حرارتی اضافی را از طریق انتقال تلف می کند. سیستم شیمیایی، متقارن، بی شکل و عاری از رفتار است. هر نوع اختلال تصادفی در این سیستم به سرعت محو می شود و خاطره هیچ اختلالی نگهداری نمی شود.

در سال ۱۹۵۱ بوریس بلوسوف^{۲۳} ثابت کرد که اگر یک واکنش ساده شیمیایی خود کاتالیزور مشابه آنچه که هم اینک شرح دادیم از تعادل خارج شود، مانند سیستم ریلی-بنارد ناگهان و خود به خود دستخوش انتقال فاز خواهد شد و رفتار پیچیده تولید خواهد کرد. برای مطالعه سیستماتیکی این ویژگی خود برنامه ریزِ واکنش شیمیایی خود کاتالیزور، می توان غلظت مواد اولیه و فرآورده ها را در یک ظرف به طور مصنوعی تغییر داد و آن را بهم زد و سپس سیستم را باز گذاشت تا ماده جریان یابد. در این روش، فاصله سیستم واکنش شیمیایی از تعادل را می توان با تعدیل نسبت پمپ کردن مواد اولیه به ظرف و پمپ کردن فرآورده ها به خارج، تنظیم کرد. فاصله عددی نسبت فرآورده ها به مواد اولیه، که مصنوعاً تحمیل شده، از ثابت تعادل طبیعی، مشابه کمیت گرادیان حرارتی سیستم ریلی - بنارد است. ابتدا بلوسوف و بعداً آاناتولی ژابوتینسکی^{۲۴} مشاهده کردند که به محض این که یک آستانه بحرانی از نسبت فرآورده ها به مواد اولیه به طور مصنوعی به دست می آید، سیستم رفتار پیچیده ای نشان می دهد. در مورد مواد شیمیایی خاصی که توسط بلوسوف و ژابوتینسکی استفاده شدند، رفتار سیستم تغییری متناوب و منظم را به این شکل نشان می داد که رنگ واکنش مخلوط از رنگ زرد (Y) به بی رنگ (C) تغییر می کرد، البته رفتارهای دیگری نیز نشان می داد. اگر سیستم در یک دوره زمانی ثابت مشاهده می شد، مثلاً الگوی زیر از تغییر رنگ آن مشاهده می شد:

$$C, Y, C, Y, C, Y, C, Y, C, Y, C, Y, C, Y,$$

بنارَد است با این تفاوت که باز خورد جریان های همرفت سیستم ریلی - بنارَد، با باز خورد حلقه های شیمیایی خود کاتالیزور جابه جا شده است، که با یکدیگر همکاری می کنند و از فواصل دور همبسته می شوند. حلقه های شیمیایی خود کاتالیزور، مانند جریان همرفت سیستم ریلی- بنارَد، اختلال های شانسی را که درون سیستم رخ می دهند، تقویت می کنند. درحالی که در حالت تعادل همه لحظات یکسان و هم ارز هستند، به محض این که سیستم از آستانه بحرانی ناپایداری تجاوز می کند و در حالت نامتعادل نگه داشته می شود، تِقَارَن زمان شکسته می شود و ممکن است سیستم در لحظه های متفاوت رفتار بسیار متفاوتی داشته باشد. واکنش به اصطلاح بلوسوف-ژابوتینسکی (BZ) نشان می دهد چگونه سیستم های نسبتاً ساده شیمیایی می توانند در شرایط عدم تعادل، خود را سازماندهی و برنامه ریزی کنند و در نتیجه این کار اطلاعات ساختاری و رفتار پیچیده تولید کنند.

به نظر می رسد که حلقه های خودکاتالیزور واکنش های شیمیایی، از رفتار پیچیده بعضی از سیستم های شیمیایی پشتیبانی می کنند. گرچه پیچیدگی واکنش (B-Z) نتیجه وضعیت مصنوعی ای است که در آن، جریان مواد اولیه و فرآورده ها با استفاده از یک پمپ خارجی تغییر می کنند، ولی رفتار پیچیده دور از تعادل می تواند با استفاده از سازو کارهای محتمل تری ایجاد شود. یکی از روش ها این است که واکنش های خود کاتالیزوری را که حرارت اضافی تولید می کنند با واکنش هایی که

Boris Belousov²³
Anatoly Zhabotinski²⁴

حرات تولید نمی کنند، همراه کنیم. به این طریق، انرژی لازم برای دور کردن واکنش ها از حالت تعادل، می تواند درون خود سوخت و ساز تولید شود. اگر واکنش BZ هم زده نشود، غلظت مواد اولیه و فرآورده ها در فضا یکنواخت نخواهد بود. در این شرایط، درون سیستم امواج مارپیچی یا هم محور ایجاد می شوند. کانونی که این امواج از آن صادر می شوند مانند منبعی عمل می کند که پیامی را به بقیه مواد شیمیایی درون سیستم، که مانند گیرنده عمل می کنند، انتقال می دهد. اولیور اشتاینبوک^{۲۰} ثابت کرده است که شبکه های شیمیایی درون یک واکنش BZ می توانند مهار و وادار به عمل مانند یک کامپیوتر پردازش موازی شیمیایی شوند که برای حل مسائل ریاضی استفاده می شود. این مورد حاکی از این است که یک سیستم واکنش شیمیایی خود سازمانده فاقد ژن، حداقل در اصول، ممکن است مقدمات وسیله ای محاسباتی را فراهم کند که بتواند به ایجاد تجسمی ابتدایی از حیات کمک کند.

سوخت و ساز موجودات نوین شامل تعداد زیادی حلقه های بهم پیوسته خود کاتالیزور است. گرچه عناصر مجزای این حلقه ها توسط ژنها به رمز در می آیند ولی آناتومی اساسی مدارهای خود کاتالیزور آنها به صورت ژنتیک نمایش داده نمی شود. در عوض، مدارهای بیوشیمیایی که شامل ماشین محاسباتی موجودات زنده هستند اجازه دارند خود را مونتاژ کنند. گرچه منطق برنامه نویسی ژنتیک، اطلاعات سیبرنتیک فشرده ای را در خود جای می دهد که اجازه می دهد مدارهای سوخت و ساز هماهنگ شوند و به منظور مواجهه با چالش های محیطی تغییر یابند، ولی طرح اصلی و ماهیت اتصالات بین اجزاء مدارها به صورت ژنتیک برنامه ریزی نشده است. بنابراین ممکن است که اولین موجودات زنده از شبکه های بیوشیمیایی خود مونتاژی ساخته شده باشند که فاقد ویژگی ژنتیک بودند. اگر چنین باشد، در این صورت حیات می تواند بدون ژن شروع شده باشد و اولین موجودات زنده ممکن است سوخت و سازی خود کاتالیزور و فاقد ژن داشته بوده باشند که امکان ذخیره اطلاعات و تکثیر قالبی را نداشته، ولی نظم خود را در نتیجه فرآیندهای بازخورد شیمیایی غیرخطی به دست می آورده اند. در این گونه سیستم ها، اطلاعات به صورت دیجیتال در یک پایگاه داده متمرکز ذخیره نمی شود، بلکه به روش آنالوگ در خود شبکه واکنش های شیمیایی نمایش داده می شود؛ یعنی هیچ تمایزی بین پایگاه داده و خود سیستم نیست. این گونه سیستم های فرضی فاقد ژن اصلاً امکان ندارد که هیچ نوع برنامه یا رمزگذاری ای داشته باشند. اگر این چنین بوده باشد و اولین موجودات زنده، شبکه های بیوشیمیایی خود مونتاژ بوده باشند، در این صورت حیات نه به صورت ساده، بلکه پیچیده آغاز شده است، و مولکول های آزادزی و خود- تکثیر دیجیتال فقط ممکن است در زمان دیرتری با ساختار موجودات زنده درهم آمیخته باشند. به این ترتیب ممکن است نظم حیات از نظمی از پیش موجود سرچشمه نگرفته باشد، بلکه از نطفه فاقد برنامه آغاز شده باشد. گرچه شواهد تجربی مستقیمی برای پشتیبانی از این فرضیه حیات فاقد ژن که نسبتاً بدعت آمیز است، موجود نیست، ولی دلایلی برای جدی گرفتن این مسئله وجود دارد، که این دلایل از نظر تنوری قانع کننده و وسوسه انگیز و در عین حال غیر مستقیم اند.

اما چگونه چنین شبکه های بیوشیمیایی خودشان را مونتاژ کرده اند تا مجموعه ای از واکنش های شیمیایی سازمان یافته درون یک سوخت و ساز بهم پیوسته منسجم را، تولید کنند. یک احتمال این است که به جای این که این شبکه ها از واکنش های خود کاتالیزوری که از فرآورده های C و D ی واکنش (که در آن مواد اولیه A و B به فرآورده های C و D تبدیل می شوند) بازخورد بگیرند و بتوانند نسبت تبدیل مواد A و B به C و D را افزایش دهند و یک حلقه خود- کاتالیزور درون همان واکنش شیمیایی شکل دهند، در فرآیندی که تسریع متقابل یا متقابلاً- کاتالیزور نام دارد، حلقه های بازخوردی کاتالیزور، بین واکنش های شیمیایی مختلف تشکیل شوند. در این وضعیت، گرچه هیچ یک از واکنشها به تنهایی خود- کاتالیزور نیست، ولی مجموعه واکنش های به هم پیوسته ای که به یکدیگر بازخورد می دهند و یکدیگر را تسریع می کنند، مجتمعاً خود کاتالیزور است. این وضعیت از اینجا ناشی می شود که هرواکنش درون شبکه متقابلاً- کاتالیزور به طور غیر مستقیم به همه واکنش های دیگر درون شبکه متصل است که شامل خودش هم می شود. به این ترتیب هر عضوی از یک

مجموعه واکنش در نگهداری و تداوم کل مجموعه مشارکت می کند. بنابراین گرچه فرآورده های C و D شکل گیری خودشان را تسریع نمی کنند، اما ممکن است تبدیل مواد اولیه E و F را به فرآورده های G و H تسریع کنند. به همین نحو گرچه G و H نمی توانند شکل گیری خود از مواد اولیه E و F را تسریع کنند، ولی ممکن است قادر به تسریع شکل گیری فرآورده های C و D از مواد اولیه A و B باشند. پس این دو واکنش می توانند در مجموعه واکنش های مجتمعاً خود کاتالیزور به یکدیگر قفل شوند. مجموعه واکنش های مجتمعاً خود کاتالیزور می توانند تعداد زیادی واکنش شیمیایی مختلف را در خود جای دهند. تنها معیار برای عضویت در این مجموعه این است که تشکیل هر فرآورده، بتواند حداقل توسط یکی دیگر از اعضای آن مجموعه تسریع شود. این باعث می شود که هر عضو به طور حیاتی به همه واکنش های شبکه وابستگی داشته باشد، که این واکنش ها فعالیت های مناسب کاتالیزوری را فراهم می کنند که برای ساختن آن عضو توسط مولکولهای "غذا" (یا مواد اولیه) ضروری هستند.

گرچه در مدل کافمن هیچ یک از عناصر مجموعه واکنش های مجتمعاً خود کاتالیزور نمی توانند خود را تکثیر کنند، و برای این کار به تشکیلات بقیه شبکه تکیه دارند، ولی بعضی از عناصر ممکن است همزمان هم در واکنش متقابلاً-کاتالیزور و هم در فرآیند خود-تکثیری خود-کاتالیزور شرکت کنند. بنابراین، فرآورده C یا D ممکن است از طریق خود تسریع کنندگی نرخ تولید خود از واکنش کننده های A و B (و نتیجتاً خود-تکثیری) را تسریع ببخشد، و همزمان تبدیل مواد E و F از واکنش شیمیایی دیگری را به فرآورده های G و H متقابلاً تسریع کند. اما، مشارکت در تسریع متقابل، به واکنش اختصاصاً خود-کاتالیزور یا خود-تکثیر این قابلیت را می بخشد که عضوی از مجموعه واکنش مجتمعاً خود-کاتالیزور باشد. انتظار می رود که عناصر خود-تکثیر و خود-کاتالیزور، به ندرت در مجموعه مجتمعاً خود-کاتالیزور جای گیرند، چون اگر هر یک از عناصر آن هم ورودی خود کاتالیزور و هم متقابلاً-کاتالیزور داشته باشد، ممکن است بر شبکه چیره شود و ساختار آن را نابود کند. گرچه تمایل به چیرگی بر سایر اجزاء، ممکن است بدو مخالف بقاء شبکه های مجتمعاً خود کاتالیزوری باشد که حاوی اجزاء خود-تکثیر خود-کاتالیزور هستند، ولی با وجود این می توان شرایطی را در نظر گرفت که در آن شرایط، این اجزاء توسط اثرات بازدارنده ای که از درون خود مجموعه مجتمعاً خود کاتالیزور سرچشمه گرفته است، مهار شوند.

این تصور که اولین موجودات زنده ممکن است از شبکه های شیمیایی مجتمعاً خود کاتالیزور ساخته شده باشند، مستقلاً توسط روسلر^{۲۶}، آگن و کافمن در ۱۹۷۲ پیشنهاد شد. اما، یکی از متقاعد کننده ترین مباحث حامی این فرضیه، توسط استوارت کافمن ارائه شده است، که برای نشان دادن این که در غیاب اجداد اطلاعاتی، شبکه های مجتمعاً خود کاتالیزور چقدر پیچیده خود را تکثیر می کنند، از مدلسازی کامپیوتری استفاده کرده است. ریچارد بگلی، دوین فارمر و والتر فونتانا^{۲۷} نیز از شبیه سازی کامپیوتری شبکه های مجتمعاً خود کاتالیزور مصنوعی استفاده کرده اند تا نشان دهند که این نوع سوخت و سازهای فاقد ژن از نظر دینامیکی پایدارند و قادر به ذخیره و تغییر اطلاعات خود به منظور بازتولید و اصلاح، و تکامل خود هستند. علاوه بر این، شبیه سازی های کامپیوتری از سوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزوری که به طور تصادفی تولید شده اند، نشان داده اند که این نوع شبکه ها ویژگی خود سازماندهی قدرتمندی دارند، که بدون نیاز به دستورالعمل های ژنتیک از قبل برنامه ریزی شده داخلی یا خارجی، آنها را قادر به تولید نظمی عالی و مقاومتی هم ایستا می کند. مقاومت هم ایستا در مقابل اثرات آشفتة بالقوة اختلالات تصادفی، ویژگی اساسی همه موجودات زنده است. کریس لنگتون^{۲۸} و استوارت کافمن و سایرین به راستی نشان دادند که شبکه های تصادفی واکنش های شیمیایی مجتمعاً خود کاتالیزور می توانند با تغییر پارامترهای اساسی مانند میزان اتصال بین عناصر سازنده مدارهای شیمیایی شبکه، تنظیم شوند. شبکه ای که مناسب تنظیم شده باشد، صاحب نظم

^{۲۶} Rossler

^{۲۷} Richard Bagely, Doyne Farmer, Walter Fontana

^{۲۸} Chris Langton

و پایداری زیادی است، و در عین حال همزمان انعطاف لازم برای فرآیندهای تکاملی را حفظ می کند. از طرف دیگر شبکه ای که ضعیف تنظیم شده باشد، ممکن است به طور نومید کننده ای آشفته و عاری از نظم و استحکام باشد.

فریمان دایسون^{۲۹} و استوارت کافمن هر یک به طور مستقل استدلال کرده اند که اولین سوخت و سازها از دریای مختلطی از مولکولهای منفصل یا اندکی متصل متبلور شده اند، و مجموعه به هم پیوسته ای از واکنش های شیمیایی مجتمعاً خود کاتالیزور را تشکیل داده اند. تبدیل از حالت غیر متصل به حالت بهم پیوسته مانند یک " انتقال فاز " ناگهانی در ذهن مجسم می شود، شبیه آن چیزی که در مثال دکمه و نخ قبلاً دیدیم. وقتی که تعداد اتصالات و مواد شیمیایی گوناگون از سطح بحرانی تجاوز می کند، سوخت و ساز مجتمعاً خود کاتالیزور خود به خود ساخته می شود. گرچه می توان مخلوط واکنش را در حجره ای فضایی محبوس کرد و از این طریق موادی تولید کرد که غلظت کافی برای تولید یک نمونه- سلول را داشته باشند، ولی سایر روش های تغلیظ که به حجره بندی نیاز ندارند نیز محتمل هستند. از این رو ممکن است اولین مخلوقات موجودات مایع غیر سلولی باشند؛ یعنی سوخت و سازهای مجتمعاً خود- کاتالیزور بدون شکل، خود به خود تولید شده و آلودگی دیجیتالی یافته، که در ناحیه مشخصی از فضا مانند سطح دو بعدی یک سنگ یا حجم تغلیظ شده ای از محلول آزاد محبوس بوده اند، ولی در اولین لحظات فاقد حجره بندی بوده اند.

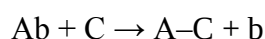
توضیحات فصل یازدهم

۱- ایده (مثل افلاطونی)

ایده یک کلمه یونانی است که به معنای تصویر، پندار خیالی، شکل یا فرم است. این اصطلاح زمانی اهمیت پیدا کرد که توسط افلاطون برای اشاره به شکل های ایده آل یا ایده ها در تئوری فرم های او استفاده شد.

۲- سینتتاز یا لیگاز Ligase و synthetase

لیگاز در لاتین به معنای پیوند یا چسبیدن به یکدیگر است. در بیوشیمی لیگاز آنزیمی است که می تواند پیوستن دو مولکول بزرگ را با تشکیل یک پیوند شیمیایی جدید تسریع کند، و معمولاً همراه با هیدرولیز یک گروه کوچک شیمیایی است که به یکی از مولکول های بزرگ آویزان هستند. عموماً لیگاز واکنشی مشابه ذیل را تسریع می کند.



لیگاز ها به رده ای از آنزیم های ۵۰ گانه تعلق دارند که واکنش را تسریع می کنند و مستلزم حفظ انرژی شیمیایی هستند و زوجی بین فرآیند های ساختگی نیازمند انرژی و واکنش های از کار افتاده تهیه کننده انرژی می سازند. آنها پیوستن دو مولکول را تسریع می کنند و انرژی مورد نیاز خود را از شکافتن یک اتصال فسفات غنی از انرژی به دست می آورند.

سفری به باغ وحش فاقد ژن

اکنون من دوباره درحال سقوطم. ولی این بار بیشتر شبیه یک پر تا یک سنگ. یا شاید کمی شبیه هر دو. چنان که انگار ناخواسته در تجربه غریب و ظاهراً غیر طبیعی شخص دیگری شریک باشم. ابتدا مناظری از ایتالیا را می بینم. پیزا با برج کج و تپه های توسکانی با رنگهای آخرای و شهرهای برج و بارودار قرون وسطائی. ما زیر نور آفتاب انگور می چینیم و از کنار استخر شنا صدای خنده به گوش می رسد. و سپس توره گوینیگی^۱ درخت برگ دار بی قواره، سینمای فضای باز و رستوران در کنار خط آهن دیده می شوند. تو می دانی که من تو را در تمام مسیر تا فله، روی شانه هایم حمل کردم. و تو به من گفتی که نقاشی های من "زیبا" بود. به خاطر این چیزهاست که دور کره زمین می گردیم. اما این تصاویر به زودی رنگ می بازند و من به خود واگذارده می شوم تا لحظه بعدی را پیش بینی کنم. تا مدتی به نظر نمی رسد که این لحظه فرا خواهد رسید. و قیف مرا به درون فضای ژن با همه اعداد و ترکیبات غریبش هدایت می کند. قطعا سفری طولانی خواهد بود. پایین و پایین تر و ژرف و ژرف تر. و یک بار دیگر رویدادهای گذشته را به خاطر می آورم، ردیف های بی پایان جعبه های بی چهره و باغ گیاهان و جالیز سبزیجات. نباید بترسیم. چون قبلاً اینجا بوده ایم. همه ما قبلاً اینجا بوده ایم. پایین تر به طرف ریشه ها. به طرف آغاز. ولی باید راه درست را انتخاب کرد. لطفاً حتماً این کار را بکنید. دودمان صحیح را انتخاب کنید، هر چیز یا هر کسی که می خواهد باشد. البته آنهايي را انتخاب کنید که ما را به مقصد می رسانند.

فریادهایی که از فضای آر.ان.ا به گوش می رسند، به دلیل سرعت ما هنگام سقوط خفه می شود و زمانی که به عمق فضای خالی پرتاب می شویم، قیف به مرور باریک تر می شود. باز هم فضاهای بیشتری مانند قطعات کیک یکی یکی قاچ می شوند. و سطوح متقاطع غریب تر از دیگری به نظر می رسد. طبیعی. مصنوعی. زیبا. خشن. بند زن. خیاط. سرباز. جاسوس. قطعه دیگری از فضای بیگانه را می بریم و از دیدن آن مشمنز می شویم. می شنوم که تو فریاد می زنی، "گود تر و گود تر". و همین طور است. در حقیقت برخلاف عقل سلیم، به هبوط خود ادامه می دهیم. و به زودی به مقصد غریب خود خواهیم رسید. دورنمایی با توانایی غانی برای قید و بند زدن. سرآغاز های بی شمار و شاید نامحدودی از اندام ها، رنگ ها و اشکال پیچیده. و علاوه بر همه اینها، ظرفیت تغییر شکل.

صدایی در زمین بازی می شنوم. غنچه چین خورده، شیر آبی که چکه می کند، سینک آشپزخانه، آلودگی شهر. برای این که همه چیز از اینجا سرچشمه می گیرد. و سپس گفت و گویی ناخواسته، ظاهراً ضروری و غیر قابل اجتناب.

"تو خیلی کوچکی، من نمی توانم ببینمت."

"پس تو را کوچکتر می کنیم."

"ولی من اصلاً نمی خواهم کوچکتر شوم."

"ولی به هر حال تو کوچکتر خواهی شد." چون در بریای قیف ها انتخاب کمی خواهی داشت و نمی توانی مسیر

خود را تغییر دهی. "ما تو را به اندازه لازم تغییر شکل خواهیم داد. ما ریخت و قواره تو را اختراع و دوباره اختراع می کنیم. تو

^۱ Torre Guinigi

ناتوانی. ما مرزهای تو را مجدداً تعریف خواهیم کرد." و تو اشتباه می‌کردی اگر فکر می‌کردی که قدرت انتخاب داری. تو هیچوقت این حق را نداشتی.

ما دم دروازه هستیم. خانه امن. البته نسبتاً امن، یا شاید این طوری خیال می‌کنیم. و بعد این صداها. " ما به تو اجازه می‌دهیم که ببینی قضایا چگونه ممکن است بوده باشد." و در یک لحظه می‌توانم از یک قیف به قیف دیگر بخزم. صدای یک شیپور. و در گرداب دردناکی که اجازه می‌دهد گذشته، حال و آینده را در یک نوبت درک کنم، بی وقفه و بیهوده به دنبال زیگورات^۲ می‌گردم. هیچ شهر محصور توسکانیایی نمی‌بینم و نمی‌توانم تو را به بالای برج حمل کنم. هیچ انگور یا استخرشایی دیده نمی‌شود و باغ‌های تیره رنگ زیتون مانند مهره‌های کشته صفحه شطرنج یکی یکی ناپدید می‌شوند.

بار دیگر آبی فیروزه‌ای به چشم می‌خورد و حالا نور آفتاب طرحهایی روی سطح سفت صیقلی زیر آب درست می‌کند که سوسو می‌زنند. برای لحظه‌ای من بخشی از این طرح هستم که به طور منظم راه پرفراز و نشیب آن را در این زمین گوی مانند و بعضاً زمخت، دنبال می‌کنم. اردک وحشی بی پروا روی سبزه‌ها می‌خرامد و وقتی که غازهای کانادایی^۳ روی آب چلپ و چلپ می‌کنند ما می‌خندیم. و به این ترتیب داخل فضای بدون ژن می‌شویم. چون شاید راه ورودی این باشد. نمی‌توانیم با تحسین بگوییم که بله این حیات است، گرچه حیاتی در لباسی مبدل یا تجسیدی دیگر که ما قادر به درک آن نیستیم. و تو مرا که در انتظار خال‌ها و راه‌ها و دندان و مو هستم از کنار قفس‌ها عبور می‌دهی، فقط به این منظور که از نبودن حتی یک غرش آرام نومیدم کنی. رنگهای این رنگین کمان نامرئی است. ظرف طلا در کار نیست. ولی در حقیقت یک ظرف هست. ظرفی شفاف، بدون رنگ ولی نه کاملاً تهی. در اینجا دندان تیز، لجن لیزی که رویش سربخوری و تلوتلو بخوری، زبان صورتی شاخه دار، یا منقار نارنجی وجود ندارد. ولی به هر حال یک باغ وحش است.

وقتی که سرپوش باغ وحش را برمی‌داریم، و وارونه اش می‌کنیم، جانورهایی که بیرون می‌ریزند کاملاً غریب هستند. برای این که فاقد ژن هستند. درحقیقت بعضی از آنها فاقد ساختار هستند. بدون شکل و کدر، و مانند یک تکه دستمال کاغذی لطیف و نازکند. بعضی از آنها هیچ سلفی ندارند. آنها در سرزمین‌های برهوتی که در حاشیه طناب نجات قرار دارد سکنی دارند و قبل از آنها به احتمال قریب به یقین چیزی وجود نداشته است. در حقیقت هم چیزی نبوده است، چون آنها در لبه یک پرتگاه ریاضی قرار داشته‌اند.

اشاره کردیم که مخلوقات فرضی ساکن باغ وحش بدون ژن، به دستورهای دیجیتال رمز دار تکیه نداشتند و در بعضی موارد نیازی به تاریخچه هم نداشتند چون در ساده‌ترین تجسم خود، احتمال داشت خود به خود تولید شده باشند؛ یعنی فرزندان بدون والدین وصلت خودسازمانده‌ای که بین فیزیک و شیمی صورت گرفته. واضح است که این ماشین‌های زیستی آنالوگ خود برنامه ریز فاقد ژن، فاقد نماد سازی و در حقیقت فاقد هرگونه دستورالعمل رمزدار، به اندازه مخلوقات معاصر پیچیده و پیشرفته نبوده‌اند. احتمالاً ظرفیت آنها برای وراثت شدیداً محدود بوده است و احتمال دارد هریک از تبارهای متعدد آنها در اثر رویداد های شانس منقرض شده باشند یا به صورت مایع در آمده باشند. حفره های آب آنها سایه های تاریکی از انقراض بوده‌اند. ولی با وجود این آنها موجودات زنده بوده‌اند؛ وراثت و نیاکان آنها محدود بوده، اما به هر حال نوعی وراثت و دودمان داشته‌اند.

اگر اولین موجودات زنده فاقد ژن بودند و اگر این موجودات فرضی بدون ژن قادر بوده‌اند در غیاب ساختارهای والدین اجدادی، خود به خود ساخته شوند، در این صورت پارادوکسی را مطرح کرده ایم که برهر کوششی برای توضیح سرآغاز حیات سایه می‌افکند و ممکن است به این سوال پاسخی معقول بدهد که اولین برنامه را چه چیزی برنامه ریزی کرد. بعضی از رده های سیستم های شیمیایی ممکن است قادر به برنامه ریزی خود بدون نیاز به هیچیک از دستورالعمل های بیرون یا درونی باشند.

^۲ ziggurat در معماری بابلی های قدیم مانند برج بلند و طبقه‌ای هرمی شکل پلکان دار بوده.

^۳ Canada Goose (*۱).

قبلاً فایده استفاده از دستگاه آنالوگ را به جای دستگاه دیجیتال برای نمایش و تداوم اطلاعات تشریح کرده ایم. نتیجتاً باید از محدودیت جدی ای که فناوری ذخیره اطلاعات آنالوگ به اولین موجودات زنده تحمیل کرده آگاه باشیم. ممکن است طبیعت و وسعت زندگی اولین موجودات زنده، حتی نسبت به ساده ترین اشکال موجودات زنده ای که ما می شناسیم، ابتدایی و ناقص بوده باشد. تا زمانی که نیاکان ژن در دودمان های بدون ژن پخته نشدند، حیات نتوانست راز وراثت دیجیتال نامحدود را کشف کند و دورنماهای ریاضی مربوط به پیچیدگی امروزی قابل دسترس و قابل مشاهده نگردد.

آغاز حیات ابتدایی در این نوع سیستم های فرضی فاقد ژن، نمونه ای برای خلق حیات آنالوگ در غیاب اطلاعات رمز دار دیجیتال از قبل موجود تاریخی، می سازد. این نمونه- موجودات فرضی پایین ترین سطح پیچیدگی را نمایش می دهند که پایین تر از آن، زندگی امکان پذیر نیست. ولی این موجودات و دستگاه های سوخت و ساز آنها چگونه ممکن است خود به خود بدون یک نقشه یا دستور ساخت خودشان را ساخته باشند. در حقیقت چگونه یک ساختار شبکه خود- تکثیر مجتمعاً خود- کاتالیزور می تواند از گروهی از عناصر مجزا ساخته شده باشد، که هر یک از این عناصر به تنهایی از تکثیر قالبی یا هر نوع دیگری از خود- تکثیری ناتوان بودند.

موضوع سوخت و ساز پیچیده خود تکثیر، خود به خود و مجتمعاً خود کاتالیزور بر این اندیشه مبتنی است که، درون مجموعه ای از انواع مواد شیمیایی، نسبت مشخصی از عناصر می توانند به طور تصادفی واکنش های شیمیایی محتمل بین اعضای مختلف مجموعه را، تسریع کنند. بگذارید فرض کنیم که دکمه هایی که در فصل قبل از آن صحبت کردیم، نشان دهنده مواد مختلف شیمیایی باشند و نخ های بین آنها مجموعه واکنش های شیمیایی ای باشند که این مواد می توانند در آن مشارکت جویند. شبیه سازی های کامپیوتری نشان می دهند که در یک شبکه مجتمعاً خود- کاتالیزور اگر تعداد واکنش های تسریع شده تقریباً مساوی یا بزرگتر از تعداد مواد شیمیایی مختلف درون آن باشد، این شبکه می تواند خود به خود از یک آبگوشش شیمیایی که از نظر اطلاعات عقیم است ظهور کند. این نتیجه بر پایه این فرض قرار دارد که احتمال یافتن کاتالیزور برای یک واکنش شیمیایی خاص درون مجموعه ای تصادفی از پلیمرها محدود است.

منتقدانهایی مانند لسلای اورگل اظهار کرده اند که، ظرفیت مجموعه های شیمیایی تصادفی برای تهیه مقداری کاتالیزور متقابلاً سازگار که برای خود تکثیری خود به خود یک مجموعه مجتمعاً خود کاتالیزور کافی باشد، زیاد بر آورد شده است، ولی شواهد تجربی غیر مستقیم مربوط به شیمی ترکیب شونده حاکی از این است که ظاهراً این فرضیه نامعقول نیست. اما عیب عمده این فرضیه این است که، هنوز معلوم نیست که ظهور خود به خود مجموعه های مجتمعاً خود- کاتالیزور، از نظر شیمیایی محتمل است یا نه. با وجود این، بهتر است توجه داشته باشیم که حتی اگر بتوانیم ثابت کنیم که هیچ شیمی طبیعی قابل قبولی نمی تواند چنین سیستمی را تولید کند، باز هم نباید این احتمال را رد کنیم که حیات آنالوگ فاقد ژن می تواند در بعضی فرایندهای غیر تاریخی، در محدوده و محیط برخی سیستم های شیمیایی مصنوعی تاکنون ناشناخته، به وجود آید.

استوارت کافمن به این نکته اشاره کرده است که وقتی طول یک پلیمر شیمیایی مانند پپتید، دی.ان.ا تک کلافی یا زنجیره آر.ان.ا افزایش می یابد، تعداد مولکول های مختلف مستعد ترکیب، بسیار آهسته تر از تعداد واکنش های شیمیایی که هر یک از مولکولها به تنهایی می توانند در آن شرکت کنند، افزایش می یابد. این موضوع ناب تنوریک نشان می دهد که اگر احتمال یافتن فعل و انفعالات سازگار متقابلاً کاتالیزور، درون پلیمر مورد نظر کافی باشد، تبلور شبکه مجتمعاً خود کاتالیزور تقریباً غیر قابل اجتناب می شود.

تعریفی که از مجموعه زنجیره های تصادفی آر.ان.ا ارائه دادیم، مثالی عینی از مجموعه ترکیب شونده ای است که آکنده از فعل و انفعالات کاتالیزور است. بررسی سایر مجموعه های ساخته شده تصادفی مانند زنجیره های پپتید یا دی.ان.ا ی تک کلافی یا مولکولهای آنتی بادی، نتایج مشابهی را اعلام می کند. بنابراین، اگر معلوم شود که این ویژگی ها به سایر مجموعه های شیمیایی نیز تسری می یابند نباید موجب تعجب شود. علاوه بر این، به نظر می رسد که بسامد کشف فعل و انفعال های کاتالیزور درون مجموعه ها، با ظهور خود به خود مجموعه های مجتمعاً خود کاتالیزور متناسب باشد. اما، تاکنون مطالعه

سیستماتیک در مورد بسامد، پراکندگی، سودمندی، پایداری، جنبش و سازگاری متقابل بین فعل و انفعال های کاتالیزور احتمالی درون مجموعه های مختلف ترکیب شونده، انجام نشده است. این گونه مطالعات برای آزمودن مقبولیت فرضیه، بسیار مهم هستند.

احتمال یافتن فعل و انفعالات کاتالیزور مناسب درون هر مجموعه خاص از پلیمرهای شیمیایی به این مسئله مربوط می شود که این پلیمرها بتوانند با فضای انتزاعی ترکیبات که آنرا "فضای ترکیبات کاتالیزور" نامیده ایم، متناظر قرارگیرند. این فضای انتزاعی هم شکل جایگاه اتصال آنزیم را- که مشخص کننده جزئیات آن است- مورد توجه قرار می دهد، و هم به جایگاه های فعال آن- که معرف اثر کاتالیزور آن است- توجه می کند. مثلاً، مجموعه ای تصادفی از مولکولهای دوکلافی دی.ان.ا ممکن است حاوی تعداد کمی و شاید حتی یک فعل و انفعال کاتالیزور باشند، چون مولکولهای دوکلافی دی.ان.ا ظرفیت بسیار کمی برای تشکیل اشکال سه بعدی مولکولی و اتصال و پیکر بندی یونهای فلزی- که اجزاء اساسی بسیاری از جایگاه های فعال را تشکیل می دهند- دارند. از طرف دیگر، آر.ان.ا به دلایلی که قبلاً برشمردیم، قادر است که از بسیاری از نقاط اتصال پروتئین تقلید کند و یون های فلز را در آرایه هایی که با ساخت جایگاه های فعال هماهنگ هستند سازمان دهد. کمابیش عین همین مطلب در مورد پپتیدها، نقاط اتصال آنتی بادی و مولکول های تک کلافی دی.ان.ا ی "آپتامر"^۴ صدق می کند. به طور فرض بسیاری از انواع پلیمرهای شیمیایی وجود دارند که قادرند متناظر فضای ترکیبات کاتالیزور قرار گیرند و ممکن است نهایتاً عناصر سخت افزاری لازم برای ساخت یک مجموعه مجتمعاً خودکاتالیزور را فراهم آورند.

گرچه هر مجموعه پیچیده ای از مواد شیمیایی می تواند عناصری را که برای خود تکثیری خود به خود یک مجموعه مجتمعاً خود کاتالیزور لازم است را فراهم کند، ولی مجموعه هایی از پلیمرها مانند زنجیره های آر.ان.ا، زنجیره های تک کلافی دی.ان.ا یا پپتید ها از نظر آماری بیشتر احتمال دارند که انباشته از فعل و انفعال های کاتالیزور باشند. این، نتیجه قدرت درونی حالات ترکیب شونده فضای ترکیبات کاتالیزور است. اما این گمان منطقی به نظر می رسد که احتمالاً بعضی از مجموعه های شیمیایی بیشتر از بقیه حاوی مجموعه های متقابلاً سازگاری که فعل و انفعالات متقابلاً کاتالیزور دارند، باشند.

اندازه مواد شیمیایی لازم برای خود تکثیری خود به خود یک مجموعه مجتمعاً خود کاتالیزور، هم با احتمال وجود فعل و انفعالات کاتالیزور در مجموعه ای با ویژگی های مناسب، مهارت و هماهنگی متقابل متناسب است و هم با نسبت عناصر شیمیایی درون مجموعه به واکنش های ممکن، تناسب دارد. هر چه تعداد واکنش های بین اجزاء شبکه بیشتر باشد احتمال این که یکی از آنها واکنش دیگری در شبکه را تسریع کند بیشتر می شود. هر چه ساختار مواد شیمیایی سازنده کاتالیزورهای محتمل پیچیده تر باشد، تعداد واکنش هایی که می توانند در آن شرکت جویند بیشتر می شود. بنابراین اگر بخواهیم دنبال مواد شیمیایی مناسبی بگردیم که در تولید مصنوعی سوخت و سازهای فاقد ژن مجتمعاً خود کاتالیزور استفاده شوند یا در حقیقت دنبال کاندیداهای محتمل تاریخی باشیم، لازم است که مجموعه ای از مولکول ها را که هم تعداد فعل و انفعال های کاتالیزور آنها و هم نسبت واکنش های بالقوه شیمیایی به عناصر مولکولی شان بالاست، مشخص کنیم. این مجموعه های فشرده، بیشترین قابلیت برای تولید یک مجموعه مجتمعاً خود کاتالیزور، و در عین حال کم ترین تنوع عناصر را خواهند داشت. این نوع مجموعه های شیمیایی کاندیدای مناسبی برای فناوریهای خود برنامه ریز هستند.

اگر حیات واقعا به این شکل آغاز شده باشد، در این صورت پیچیدگی ابتدایی اولین سیستم های شبکه ای متقابلاً کاتالیزور زنده، نه در پی فرآیند متوالی و فزاینده تکامل از طریق انتخاب طبیعی داروین، بلکه در اثر فرآیند خودسازماندهی، ناگهان و خود به خود پدیدار شده است. گرچه، زمانی که این گونه سیستم ها شکل می گیرند، زمینه ای مناسب برای انتخاب طبیعی به روش معمول هستند، ولی پیدایش ساختار بنیادین، لزوماً نیازمند پردازش تاریخی همراه با فرآیندهای داروینی نمی باشد. چون چنین ساختارهایی کمترین پیچیدگی سازگار با حیات را دارا می باشند، طبق تعریف نمی توانند در فرآیند وراثت به

^۴ Aptamer (۲*)

وجود آمده باشند. حتی اگر خود شبکه متوالیا و به طور فزاینده با اضافه کردن بخش به بخش لایه های مجزایی از مدارهای شیمیایی به وجود آمده باشد و دوره ای از تکامل شیمیایی پایدار هم قبل از آن رخ داده باشد، نمی توان آن را یک فرآیند کلاسیک وراثتی در نظر گرفت. نتیجتاً معقول نیست بگوییم که نمونه موجود نوزاد در اولین لحظه نطفه بستن از یک ساختار اطلاعاتی اجدادی تکامل یافته است.

بنابراین، حیات ممکن است هم نتیجه ای طبیعی و هم قابل انتظار از رفتاری باشد که خود به خود درون انواع معینی از سیستم های واکنش شیمیایی خود برنامه ریز پدیدار می شود. و گرچه به محض این که سوخت و ساز متقابلاً کاتالیزور ساخته شد، می تواند در تاریخ توسط سازو کارهای کلاسیک داروینی پردازش شود، ولی به نظر نمی رسد که نظم اولیه آن در نتیجه انتخاب های بهم پیوسته منطقی گروهی از عناصر ساده که همه می توانند پی درپی بیشتر برنامه ریزی شوند، آغاز شده باشد.

بافرض این که چنین شبکه هایی از واکنش های شیمیایی مجتمعاً خود کاتالیزور حقیقتاً از نظر شیمیایی محتمل باشند، به چه معنایی می توان آنها را زنده در نظر گرفت؟ هیچ تعریف عموماً پذیرفته ای در مورد موجود زنده وجود ندارد. اما اگر کوشش کنیم که فهرستی از پیش نیازها را جمع آوری کنیم می توانیم علاوه بر بسیاری چیزهای دیگر به موارد زیر اشاره کنیم که، موجودات زنده: (۱) موجودات مجزا، مشخص و حجره بندی شده ای هستند که مرز روشنی دارند و (۲) مرکب از شبکه های در هم قفل شده یا سوخت و ساز های واکنش های شیمیایی متقابلاً سازگاری هستند که باهم همکاری می کنند. موجودات زنده باید بتوانند (۳) اطلاعات را ذخیره و بازیابی کنند، به منظور این که (۴) خود را تکثیر کنند یا ساختار اطلاعاتی خود را بازتولید کنند و به این ترتیب حداقل ظرفیت محدود یا ناقصی برای توارث را دارا شوند. آنها همچنین باید قادر باشند (۵) ساختار اطلاعات مرکزی خود را جهش دهند تا بتوانند جمعیت های گوناگونی را تولید کنند که (۶) پذیرای انتخاب مثبت و منفی فرآیند کلاسیک داروینی باشند و نتیجتاً قادر باشند که تصویر خود از دنیای بیرون را به روز در آورند و بهینه کنند و به این ترتیب تکامل یابند. نتیجتاً ممکن است دودمان های اطلاعاتی ای تولید کنند که تغییرات ساختاری ناشی از جهش های تصادفی را که در اثر رویدادهای تصادفی تاریخی یا موانع ساختاری انتخاب شده یا پابرجا شده اند در بر می گیرد، و می توان این دودمان ها را تا یک ساختار بنیادین اجدادی ردیابی کرد.

این ویژگیها باید از درون خود سیستم سرچشمه بگیرند تا سیستم، با داشتن غذا و انرژی کافی، قادر به حفظ ساختار اطلاعات خود در طول زمان باشد. بنابراین سیستم های زنده باید (۷) سازوکارهایی برای تهیه و تحویل ماده و انرژی لازم برای انجام تغییر شکل های شیمیایی درون مدارهای سوخت و ساز خود و برای تضمین این که سیستم دور از تعادل باقی می ماند، داشته باشند. همچنین سیستم باید قادر باشد که (۸) در صورت آسیب دیدن ساختار اطلاعاتی یا بد تکثیر شدن، خودش را مرمت کند و (۹) درجه ای از هم ایستایی و پایداری دینامیک را نمایش بدهد. و باید آن را در مقابل اثرات اختلالات شانس نسبتاً ایمن کند و آن را قوی و نیرومند سازد. اما سیستم نباید خیلی پایدار باشد، چون مانع تغییرات تکاملی می شود. از این رو باید (۱۰) توازن بهینه داشته باشد تا هم پایدار و نیرومند باشد و هم انعطاف پذیری اطلاعاتی و قابلیت تکامل را حفظ کند. یعنی، بتواند تصویر خود از ترکیب تصادفی دنیای بیرون را در فواصل مجزا روز آمد کند. این مسئله، موجودات زنده را قادر می سازد که به طور پویا و تعاملی با محیطی که در آن هستند، تعامل کنند و به پیش آمدهای احتمالی که با آن مواجه می شوند پاسخ های مناسبی بدهند و اطلاعات محیطی را پردازش کنند و پاسخ های رفتاری بهینه ای که موجب بقاء مداوم آنها می شود فراهم کنند. این کار مستلزم این است که (۱۱) حداقل، درجه ای از مهارت محاسباتی را به موجودات زنده نسبت دهیم. گرچه سبک محاسبه این موجودات به وضوح از محاسبات دستگاه های مصنوعی متفاوت است، ولی این موضوع که موجودات زنده محاسباتی انجام می دهند که آنها را قادر به پاسخ دینامیک به رویدادهای درون محیط می سازد، ادامه منطقی توانایی آنها برای پردازش اطلاعات است. در حقیقت این مسئله که تصویر آنها از دنیای خارج چقدر مربوط و دقیق است و در نتیجه توانایی آنها برای بقاء دائم، به طور حیاتی به ظرفیت آنها برای تطبیق پویای حالت داخلی خود با حالت محیط وابسته است.

چون سیستم زنده را می توان به جای ساختمان مادی ویژه اش، وسیعاً توسط سازمان کلی اش تعریف کرد، بنابراین لازم نیست که تعریف ما گزارشی از طبیعت فیزیکی و شیمیایی اجزاء سیستم را در برگیرد. به این ترتیب می توان ماده و جنبه های صوری سیستم های زنده را مستقل از یکدیگر در نظر گرفت. به دلیل فقدان کاندیداهای واضح دیگر، و قابلیت دسترسی آشکار در محیط پیش زیستی، منطقی به نظر می رسد که سوخت و سازهای مجتمعا خود کاتالیزور فرضی، که فعالیت های موثر و اطلاعاتی در موجودات زنده معاصر دارند و می توانند اجداد موجودات معاصر باشند، از دی.ان.ا تک کلافی، آر.ان.ا و یا مولکولهای پیپتید ساخته شده باشند. اصولاً، هر یک از این فناوریها می توانسته اند کافی باشند. سوخت و سازهای فرضی بدون ژن، حتی ممکن است خود را از مجموعه نامتجانسی از عناصر ساخته باشند. اساساً معیار شمول اینها در مجموعه مجتمعا خود کاتالیزور، قابلیت دسترسی و سازگاری جایگاه اتصال و جایگاه فعال شان است که آنها را هم قادر به تسریع متقابل با سایر اعضای مجموعه و هم ساخت بخشی از واکنشی می سازد که خود بتواند توسط عضو دیگری از مجموعه تسریع شود. اما ممکن است یک یا چند فرآیند "چیرگی" تکنولوژیک در تاریخ نمونه- حیات اولیه رخ داده باشد. درحقیقت ممکن است زمانی یک مجموعه بنیادین از سخت افزارهای کاتالیزور فرضی فروتن^۵ و غیررمزدار توسط سایر فناوریهای پیشرفته شیمیایی رمزدار از کار برکنار شده باشند. بنابراین، اجزاء شیمیایی اولین سوخت و سازهای بدون ژن ممکن است دیگر در مخازن مولکولی موجودات دیجیتالی نوین ارائه نشوند.

چیز مهمی که در فهرست پیش نیازهای ضروری از قلم افتاد، نیاز دقیق به طریقه یا سبکی است که سیستم های زنده مورد قبول، با آن اطلاعات را ذخیره و بازیابی می کنند. همچنین هیچ اشاره ای به ساز و کاری نشده است که سیستم ابتدائاً توسط آن مطلع می شود. اگر کسی منحصراً حیات مدرن را در نظر می گرفت، قریب به یقین اصرار می کرد که اطلاعات باید توسط میکروکدهای دیجیتالی سمبولیک زبان دی.ان.ا رمزگذاری شود. یکی از ویژگی های اقناع کننده دستگاه سوخت و ساز موجودات زنده معاصر این است که شیمی تعالی می یابد؛ یعنی بازهای مولکول های دی.ان.ا بر اساس ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی شان انتخاب نمی شوند، بلکه بر اساس ویژگیهای سمبولیک یا اطلاعاتی انتخاب می شوند. علاوه بر این وقتی که اطلاعات از این بانک های اطلاعاتی میکروسکوپی بازیابی می شود، لازم است که اطلاعات به رمز در آمده سمبولیک رمزگشایی و به زبان اجرایی پروتئین ترجمه شود. این کار نیازمند وجود دستور زبانی است که قوانین ترجمه را مشخص می کند. به این ترتیب اطلاعات رمزدار گنجانده شده در زنجیره های دیجیتالی دی.ان.ا ی ژنها، دستورالعمل های فوق العاده فشرده برای ساخت و اداره موجود زنده را شامل می شوند.

اما بعید است که سمبولیزم و کدهای همراه آن و دستگاه ترجمه، گزینه ای در مقابل اولین موجودات زنده بوده باشند، بنابراین بهتر است که از خیر این پیش نیازها بگذریم. با وجود این ممکن است از نظر شخص دیگری، هر چیز زنده ای که متضمن نوعی فرآیند یا برنامه رمزی کردن ابتدایی نیست و خود از طریق اجرای سیستماتیک مجموعه ای از دستورات که از یک مرکز فرماندهی صادر می شوند ساخته نمی شود، باید در مقوله شبه حیات یا "حیات واره"^۶ جای گیرد. اما، نباید فراموش کنیم که تعداد قابل توجهی از زنجیره های دی.ان.ا که در تنظیم عملکرد برنامه های رمزدار ژنتیک اهمیت حیاتی دارند و از نظر محاسباتی ترجمه روشنی دارند، هیچوقت به زبان زنجیره های پروتئین ترجمه نمی شوند و منحصراً مانند دستگاه های منطقی آنالوگ عمل می کنند. این ها نمونه ای از اطلاعات معنادار بیولوژیک هستند که به روش معمول به رمز در نیامد اند، ولی با این وجود در خدمت یکی از فعالیت های مهم بیولوژیک است.

اگر فهرست حداقل و خلاصه شده فوق را بدون قید و شرط قبول کنیم و سوخت و ساز خود تکثیر قابل قبولی که شرایط فوق را ارضا کند بیابیم، در این صورت می توانیم، کاملاً به حق، یا حداقل با استناد به این تعریف خاص، آن را موجود زنده بنامیم. گرچه اگر یک یا چند تا از پیش نیاز ها به طور ناقص یا شرطی ارضا شوند در این صورت باید از لفظ زنده چشم پوشی

^۵ Low-tech
^۶ Quasi-life

کنیم. اما اگر بفهمیم که این نوع سیستم ها ممکن است بسیاری از ویژگی های معمول موجودات زنده را داشته باشند، ممکن است فکر کنیم که از نظر مقوله بندی نمی توان این احتمال را رد کرد که حداقل زیر مجموعه کوچکی از تمام این نوع سیستم ها، ممکن است به یک معنی جاندار باشند. ممکن است ترجیح بدهیم که هنگام اشاره به این موجودات، برای نشان دادن این که آنها در یک منطقه خاکستری فرضی یا ناحیه ای انتقالی بین مرحله حیات و غیر-حیات، که تاحدی اختیاری تعریف شده اند، سکنی دارند، از اصطلاح " شبه جاندار " استفاده کنیم. این مسئله ماهیتاً غیر معقول به نظر نمی رسد، چون ظاهراً دلیلی وجود ندارد که چرا باید حالت های زنده و غیر زنده دقیقاً توصیف شوند. در حقیقت، موجودات زنده پیشگام ممکن است در حالتی تقریباً میانه بین زنده و غیر-زنده وجود داشته بوده باشند که خارج از همه تعاریف باریک و مرزبندی شده دقیق از حیات، که درون چهارچوب موجودات زنده معاصر فرموله شده باشد، قرار می گیرد. همچنین اولین موجود شبه-جاندار ممکن است به صورت گذرا وجود داشته، شاید برای فقط چند ثانیه، چند دقیقه یا چند ساعت قبل از این که نابود شود شبه جاندار بوده است.

اکنون دقیق تر به پیش نیازهای حیات نگاه می کنیم، تا معلوم کنیم که این پیش نیازها تا چه اندازه می توانند توسط موجودات فاقد ژن فرضی مجتمعا خود کاتالیزوری که احتمالاً ساکن دشت های "جهان فاقد ژن" بوده و داربست اطلاعاتی اشکال پیچیده حیات معاصر آشنا را فراهم کرده اند، ارضاء شوند. بنابراین باید ببینیم که آیا می توانیم منطقاً آنها را به عنوان جاندار یا شبه جاندار دسته بندی کنیم یا نه.

اجازه بدهید کارمان را با بررسی روش ذخیره اطلاعات سوخت و سازهای منحصر آنالوگ آغاز کنیم که بدون ژن یا ژنوم صورت می گیرد. واضح است که این مسئله مهمی است، چون برعکس سوخت و ساز موجودات امروزی که اجزاء پروتئین آنها دقیقاً با مشخصه های درونی ژنتیک رمز دار می شوند، به نظر می رسد که اجزائی که سوخت و ساز موجودات فاقد ژن را می سازند، رمزدار نباشند. این شبکه های آنالوگ غیررمزدار هیچ تعریف درونی از خود، که بتوان آن را از سوخت و ساز آنها جدا کرد، ندارند. هیچ نوع بانک اطلاعات دیجیتال متمرکز مجزا و هیچ نوع ریز دستورالعمل ندارند، و برعکس سوخت و سازهای آزموده تاریخی که توسط ژنها آگاه می شوند، نمایش سمبلیک از ساختار اجزاء خود ندارند. در عوض اطلاعات شبکه به روشی کاملاً آنالوگ نگهداری می شود و هیچ قالب اصلی یا نقطه مرجعی که بتوان وضعیت کنونی سیستم را با آن مقایسه کرد وجود ندارد. بلکه، اطلاعات در تشکیلات دقیق و اندازه غلظت گونه های شیمیایی سازنده آن و در شبکه پیچیده تبدیلات شیمیایی که هر جزء شبکه در آن شرکت دارد، پخش شده و جای گرفته است. از این رو مشخصات این موجودات محتمل فاقد ژن با دورنمای غلظتی که اجزاء آن در هر لحظه تولید می کنند، نمایش داده می شود.

بنابراین، خود شبکه سابقه شیمیایی پیوسته آنالوگی از ساختار، دینامیک و تاریخچه خود است و تمایزی بین دستگاه و ویژگی های آن وجود ندارد. این مسئله با سیستم های ژنتیک که " تصویری " از ساختار اطلاعات اصلی خود ذخیره نمی کنند، بلکه در عوض هسته ای مرکزی از دستورات حداقل را برای بازسازی آن ذخیره می کنند، تناقض مطلق دارد. همچنین هیچ نوع فشرده گی اطلاعات و صرفه جویی که مشخصه نمایش ژنتیک است وجود ندارد. درحالی که سیستم های ژنتیک قادرند جزئیات ضروری حالت های پیچیده آنالوگ را بگیرند و خلاصه کنند و متعاقباً این نمایش خلاصه، فشرده و دیجیتال را برای بازسازی دستگاهی آنالوگ به کار برند، سوخت و سازهای آنالوگ فاقد ساز و کاری برای تلخیص اطلاعات خود درون اجزاء ضروری مدولار هستند. اگر یک سوخت و ساز رمزدار نابود شود، می تواند طبق دستورالعمل از روی توصیفات ژنتیک بازسازی شود. اما اگر یک سوخت و ساز فاقد رمز نابود شود، وسایل آنالوگ بازسازی آن هم نابود می شود و اطلاعات ساختار آن نیز به طور جبران ناپذیری از دست می رود.

مانند اجزاء برنامه ریزی شده سوخت و سازهای رمزدار که بدون داشتن تصویر واضحی از روش انجام کار می توانند خود را بسازند، اجزاء برنامه ریزی نشده سوخت و سازهای فاقد رمز هم ممکن است خود را بدون برنامه ساخته باشند. اما اطلاعات در شبکه های آنالوگ به روش معمول ذخیره و باز یابی نمی شود. برعکس اطلاعات رمزدار ژنتیک، که می توانند خاموش شوند و به طور گزینشی در زمان های مختلف و در مکان های فضایی متفاوت دست یابی شوند، در سوخت و سازهای

فاقد رمز، همیشه از همه اطلاعات استفاده می شود. علاوه بر این، درحالی که ژنها به قول سیدنی برنر^۷ "شامل وسایل نیستند ولی در عوض توصیفی از وسایل را"، برای اجرای یک برنامه ژنتیک که دستور ساخت و عمل موجود زنده را می دهد دارند، و نتیجتاً به دم و دستگاه تخمک برای رمزگشایی اطلاعات، ونصب وسایل انجام این کار در دستگاه فرزند نیاز دارند، سوخت و سازهای فاقد ژن، هم شامل برنامه خاص غیر دیجیتال خود و هم وسایل اجرای آن هستند.

جفری ویکن^۸ بیان کرده است که "اطلاعات لازم برای توضیحات، ربطی به محتوای اطلاعات ندارد". از این دید، برای نسبت دادن محتوای اطلاعاتی به یک سیستم، باید فکر کنیم که این سیستم واقعا چیزی را انتقال می دهد. و این کار مستلزم این است که گیرنده ای وجود داشته باشد که اطلاعات را با استفاده از قوانین مشخص ترجمه در دستور زبان مناسبی، رمزگشایی کند. درست است که برای تداوم صحیح جنبه های اصلی یک ساختار اطلاعاتی در طول زمان، وسیله ارتباطی دقیقی لازم است. و جای سوال ندارد که استراتژی رمزگذاری سمبولیک به کار رفته توسط همه موجودات زنده آشنا، قدرتمندترین سازوکار انتقال اطلاعات را تشکیل می دهد. ولی اصرار براین که موجودات زنده باید درست از همان ابتدای کار ظرفیت توارث نامحدود داشته باشند غیرمنطقی است، و گفتن این که اولین موجودات زنده فقط ظرفیت کمی برای انتقال اطلاعات خود در طول زمان داشته اند، معقول تر است.

اما، به دلیل این نقص نباید از آنها بدگویی کنیم، گرچه ممکن است که همان طور که قبلاً بیان کردیم، ترجیح دهیم که این تقصیر آنها را با "شبه جاندار" نامیدنشان به جای جاندار، تایید کنیم. چون اگر زمان کافی داشتیم، می توانستیم انتظار داشته باشیم که زنجیره های ژنها آنقدر از ساختار والدین خود دور شوند که بتوان این سوال را مطرح کرد که چقدر از اطلاعات انتقال یافته توسط زنجیره موسس در ساختار گیرنده ژنتیک نهایی نمایش داده می شود. بنابراین روشن نیست که آیا منطقاً می توانیم به جای این که واقعا به دلخواه خود چنین تمایزاتی قائل شویم، آنها را طبق قاعده در نظر بگیریم؟

تا اینجا، جنبه های استاتیک ساختار اطلاعات درون شبکه های مجتمع خود تسریع کننده را تشریح کردیم. ولی آیا ممکن است که جزء دینامیکی هم در اطلاعاتی که این شبکه ها تولید می کنند وجود داشته باشد؟ یعنی این که، اگر این شبکه های خود مونتاژ، فاقد ژن و برنامه های دیجیتال ژنتیک باشند، آیا با این وصف ممکن است بتوانند خود را طوری برنامه ریزی کنند که خود به خود اطلاعات موردنظر ویکن را تولید کنند؟ آیا چیزی هست که نشان دهد سوخت و سازهای بدون ژن قادر به تولید دینامیک های غیر تصادفی هستند؟ و اگر چنین باشد، آیا این اطلاعات، پایداری هم ایستا و قدرتی را که مشخصه ساختارهای اطلاعاتی تولید شده توسط دستورات سمبولیک رمزار ژنهاست به نمایش می گذارند؟ علاوه بر این، اگر ژنهای معاصر از کلاف مکمل خود به عنوان یک کپی اصلی مرجع استفاده می کنند که زنجیره های خود را با آن مقایسه می کنند و آنهایی را که آسیب دیده یا بد تکثیر شده اند مرمت می کنند، و با توجه به این که سوخت و سازهای غیر قالبی فاقد چنین سازو کارهایی هستند، آیا این سوخت و سازها می توانند خود را تعمیر کنند، یا این که اطلاعاتشان را بعد از یک حلقه تکثیر کم دقت حفظ کنند.

اگر شبکه های آنالوگ با دینامیک خود برنامه ریز مشخص شوند، در این صورت می توان نظم طبیعی به وجود آمده درون آنها را به دو جزء مرتبط ولی مجزا تقسیم کرد. اولین جزء مربوط به خود تکثیری اجزاء شبکه است، در حالی که دومی مربوط است به دینامیک خود سازمانده ساختارهای سرهم شده. جزء دوم لزوماً نتیجه جزء اول نیست. از این رو هر جهش آنالوگی که وارد شبکه شود ممکن است بر ساختار یا دینامیک شبکه و یا بر هر دوی آنها اثر بگذارد. ولی چگونه این نوع اطلاعات دینامیک می توانند در غیاب منطق دستورالعمل های برنامه ریزی شده تاریخی ژنتیک خود به خود ظاهر شوند.

قبلاً روشی را که در آن سیستم های نسبتاً ساده B-Z در نتیجه حلقه های بازخورد شیمیایی خود کاتالیزور قادر به تولید خود به خود رفتار دینامیک پیچیده اند، توضیح دادیم. بنابراین نباید حیرت کرد از این که سیستم های بازخورد شیمیایی

پیچیده تر که در برخی موارد می توانند اجزاء خود کاتالیزور و متقابلاً کاتالیزور را در شبکه مجتمعا خود کاتالیزور در هم آمیزند، رفتارهای خود سازمانده مشابه یا پیچیده تری را نیز به نمایش گذارند. اما، با فرض پیچیدگی ساختاری فراوان شبکه های فرضی فاقد ژن و روش غیر تاریخی و نسبتاً خلق الساعه ای که احتمال دارد خود را به آن روش ساخته باشند، نباید از آشفتگی و فقدان نظم دینامیک این شبکه ها تعجب کنیم.

چون هیچ نمونه طبیعی یا مصنوعی شناخته شده ای از شبکه های واکنش شیمیایی مجتمعاً خودکاتالیزور وجود ندارد، مطالعه مستقیم دینامیک آنها غیر ممکن است. معلوم نیست همیشه بدین منوال باقی بماند، مگر این که، همان طور که قبلاً خاطر نشان کردیم، این سوخت و سازهای آنالوگ فاقد رمز از نظر شیمیایی بی معنا باشند و حتی از نظر تنوری نیز امکان پذیر نباشند. ولی می توانیم رفتار ژنتیک شبکه های شیمیایی مصنوعی را با استفاده از کامپیوترهای قدرتمند مدلسازی کنیم. این کار فرصت منحصر به فردی را برای ما فراهم می آورد تا نگاهی بیاندازیم به آناتومی های ممکن و رفتارهای انواع موجودات فاقد ژن که ممکن است دردشت های عاری از دستورالعمل و آنالوگ "جهان فاقد ژن" سکنی گزیده باشند و سرانجام دودمان های دیجیتال ژنتیکی را برقرار کرده باشند که همه ما از آنها سرچشمه گرفته ایم.

توانایی شبیه سازی کامپیوتری درمدلسازی و تقلید دینامیک سوخت و سازهای مصنوعی، بر این حقیقت تکیه دارد که شبکه های اجزاء مولکولی شدیداً بهم پیوسته، تعبیر محاسباتی روشنی دارند. می توان تصور کرد که هر یک از اجزاء سوخت و ساز یک سیگنال ورودی را به خروجی تبدیل می کند. ورودی این سوخت و سازها اطلاعات دریافتی از پروتئین های دیگر شبکه است که با آنها واکنش دارند، و خروجی آنها عبارت است از نوع واکنش آنها با سایر اجزاء شبکه. می توان فرض کرد که آنزیم، غلظت واکنش کننده های ورودی را می خواند و آن را ترجمه می کند، یعنی مقدار فعالیت خود را با غلظت محصولات خروجی به روز در می آورد. در سوخت و سازهای رمزدار پروتئین ها، هر جزء پروتئین ممکن است به عنوان یک سویچ دیجیتال ایده آل که با روشن است یا خاموش، در نظر گرفته شود.

پروتئین ها و عملکردشان می توانند به روش های متفاوت از حالت ON به OFF و بالعکس تبدیل شوند. این روش ها شامل سازو کارهایی است برای افزایش یا کاهش غلظت پروتئین یا اجزاء آن، تغییرات دگر ریختاری (الوستریک) که در پاسخ به تغییر غلظت واکنش کننده ها رخ می دهد و پروتئین را به حالت فعال یا غیرفعال تبدیل می کند، حضور فعال کننده ها و بازدارنده هایی که فعالیت آنزیم را با تغییر قابلیت دسترسی جایگاه اتصال آن تغییر می دهند، و همچنین تعدیلات شیمیایی برگشت پذیر مانند افزایش یا کاهش فسفات، که تغییری سازگار را القا می کند که دست یابی به جایگاه اتصال را اصلاح می کند. هر جزء پروتئین ممکن است بیش از یک ورودی دریافت کند. در این هنگام، پروتئینی که ورودیها به آن می پیوندند نیاز دارد که اطلاعات آنها را به منظور تولید پاسخ هماهنگ، یکپارچه کند. قوانینی که مشخص می کنند این رویداد یکپارچگی چگونه رخ می دهند به قوانین بول^۹ معروفند. مثلاً اگر پروتئینی فقط وقتی که هر دو ورودی اش ON باشند به حالت ON تبدیل شود، با تابع بولین یا "دریچه" AND کنترل می شود. یعنی این که یک پاسخ یکپارچه ON فقط وقتی تولید می شود که هر دو ورودی دریچه AND حالت ON داشته باشند. یکی دیگر از مثال های منطق بول دریچه OR است. جزئی که دو ورودی داشته باشد و پاسخ آن تحت کنترل یک مدار OR باشد، اگر یکی از ورودی هایش حالت ON داشته باشد، یک خروجی ON تولید می کند. انواع دیگری نیز از توابع بولین وجود دارند که از نظر تنوری می توانند توسط اجزاء شیمیایی به کار بسته شوند. از این رو مدارهای شیمیایی و عناصر تنظیم کننده که این توابع را اجرا می کنند عناصر بنیانی محاسبات را در سیستم های بیوشیمیایی تشکیل می دهند. در برخی موارد پاسخ منطقی یک دریچه بستگی به موقعیت دارد، و شاهد "منطق فازی" هستیم که در آن تحت شرایط خاصی، دریچه ممکن است مانند تابع AND رفتار کند و تحت شرایط دیگری مانند یک دریچه OR عمل کند.

^۹ Boolean Rules
^{۱۰} Gate

در سوخت و سازهای ژنتیک رمزدار، زنجیره های فاقد رمز دی.ان.ا ی نقش تنظیم کننده مهمی را بازی می کنند و مانند درجه های آنالوگ عمل می کنند که اطلاعات مربوط به غلظت دو پروتئین یا بیشتر را یکپارچه می کنند و با اصلاح بروز ژن^{۱۱}، یک پاسخ خروجی مناسب تولید می کنند. پیچیدگی محاسباتی چنین درجه های آنالوگی می توانند حیرت انگیز باشد. برای مثال ناحیه ارتقاء دهنده^{۱۲} (تشدید کننده عمل کاتالیزور) ژن خارپوست دریایی اندو ۱۶^{۱۳} حداقل ۳۰ عنصر تنظیم کننده آنالوگ در بردارد که تقریباً در ۲۳۰۰ باز دی.ان.ا پراکنده شده اند. چپو هوایو و اریک دیویدسون^{۱۴} اظهار کرده اند که این مجموعه عناصر تنظیم کننده مانند یک ریزکامپیوتر آنالوگ عمل می کنند. برنامه ای که روی این کامپیوتر اجرا می شود، در هریک از عناصر تنظیم کننده به رمز در آمده است، که خودشان هیچوقت به زنجیره های پروتئین ترجمه نمی شوند و به این ترتیب یک تابع منحصرأ محاسباتی را اجرا می کنند.

مدارهای رمزدار سوخت و ساز موجودات امروزی در طی میلیاردها سال توسط فرآیند پایداری تکامل داروینی آموزش دیده اند. ویژگیهای کارکردی هرمدار با بهینه کردن پارامترهای متعددی درون اجزاء آن مدار برنامه ریزی شده است. این پارامترها شامل اقلامی هستند مانند آهنگ واکنش شیمیایی، میل ترکیبی آنزیم ها نسبت به محیط خود، پایداری و قابلیت تاخوردگی هر یک از اجزاء، ماهیت و مشخصات جایگاه های اتصال، درجه تأثیر جایگاه های فعال و توانایی آنها برای ترکیب با خود و با دیگر اجزاء. همان طور که قبلاً دیده ایم، هر ذره از عمل اجزاء تنظیم کننده ترجمه نشده دی.ان.ا در تنظیم دینامیک سوخت و ساز، به اندازه همان ژن هایی که اجزاء پروتئین ها را به رمز در می آورند حیاتی است. منطق برنامه مشخص کننده دینامیک اساسی مدار نیز مانند اجزاء مجری، توسط تاریخ شکل گرفته است. چون همه اجزاء و برنامه هایی که این جزء در آنها مشارکت می کند توسط تاریخ پردازش شده و برای عملکرد خاصی درون یک محیط ویژه بهینه شده اند، شبکه به رفتارهایی محدود می شود که به نحو موفقیت آمیز آزمایش و تست شده اند.

شبکه های مجتمع خود کاتالیزور غیررمزدار چنین آموزش هایی ندیده اند و فاقد هوش تکاملی بوده اند. عناصر مجزایی که این شبکه ها را می ساختند از نظر تاریخی خام و بی تجربه بودند و برای مثال، در جریان تکامل آموزش ندیده بودند که چگونه به بهترین وجه با محیط خود برهم کنش داشته باشند و بتوانند به سرعت و با کفایت تا بخورند یا این که خود را هم در شرایط متعارف و هم غیر متعارف تثبیت کنند. این شبکه ها، برعکس سوخت و سازهای رمزدار "باهوش"، نمی توانستند از انواع قوانین منطقی صیقل خورده ای که دینامیک سوخت و سازهای معاصر را تنظیم می کنند، یعنی قوانینی که طی فرآیندهای تکاملی کشف شده و به صورت دیجیتال در زنجیره ژن ها و عناصر کنترلی آنها اسیر شده اند، سود ببرند. مطمئناً این شبکه های شیمیایی تصادفی، که از اجزاء تصادفی و آموزش ندیده ترکیب شده اند و درغیاب برنامه های تنظیم کننده تاریخی، ورودی های خود را که به طور تصادفی به هر کدام یک تابع بول تخصیص داده ایم، مطابق منطق قوانین بول یکپارچه می کنند، کمترین شانس برای تحمل دینامیک های منظم را نداشتند.

باید توجه کنیم که مطلب چنین نیست. انواع معینی از شبکه های تصادفی که از عناصر به هم پیوسته ساخته شده اند، و به هر یک به طور تصادفی یک تابع بول اختصاص یافته، واقعا می توانند نظم معتناهی تولید کنند. گرچه این نظم را نمی توان حتی با پیچیدگی ابتدایی ترین سوخت و سازهای رمزدار آزموده تاریخی مقایسه کرد، با وجود این بسیار مهم است. خوشبختانه رفتار ظاهری مجموعه های به هم پیوسته اجزاء ON/OFF، می تواند بدون اشاره به فناوری خاصی که در آن اجرا می شوند، روی کامپیوتر مدلسازی شود. این مدلها، وسیعاً قادرند ویژگیهای ژنتیک یا "استخوان بندی های منطقی" همه رده های شبکه های بیوشیمیایی را ضبط کنند. درحقیقت این مدلها آنقدر کلی هستند که ممکن است برای هر نوع سیستم شبکه به هم

^{۱۱} Gen expression بروز، تجلی یا تظاهر ژن

^{۱۲} Promoter. (۳*)

^{۱۳} Endo 16

^{۱۴} Chiou-hwaYuh & Eric Davidson

پیوسته به کار روند، منجمله اقتصاد جهانی، که در این مدل، اجزاء شرکت هایی را نمایش می دهند که معرف نوعی اقتصاد هستند و اتصالات بین اجزا هم همان نیروی بازار محلی و جهانی است. بنابراین، این واقعیت که ما هویت اجزاء مولکولی سازنده این سوخت و سازهای فرضی فاقد ژن را نمی دانیم، مانع از مدلسازی سبک رفتار احتمالی آنها نمی شود. اما باید بدانیم که این نوع مدل های ساده شده مواد شیمیایی مصنوعی انتزاعی، بسیاری از پارامترهای حیاتی برای تعریف ویژگیهای بیوشیمی حقیقی را نادیده می گیرد. ساختار سوخت و سازهای بیولوژیک آموزش دیده ای که از نظر محاسباتی غنی هستند و توسط تاریخ مشخص شده اند، دقیقاً چیزهایی هستند که حتی ساده ترین ارگانیسم تک سلولی برنامه ریزی شده ژنتیک را قادر به انجام اعمال ضروری می سازند.

اکنون بگذارید یک شبکه مجتمعا خود کاتالیزور شیمیایی را در نظر بگیریم که جمعا از ۱۰۰,۰۰۰ جزء آنزیم متفاوت ساخته شده است، که هر یک از آنها در حالت ایده آل در حالت ON یا در حالت OFF قرار دارند. حالت ON متناظر با غلظت زیاد آن جزء است، درحالی که حالت OFF متناظر است با غلظت کم. زمانی که غلظت آنزیم توسط یک تغییر آلوستریک یا تغییر شیمیایی بازگشت پذیر ثابت باقی بماند و فقط فعالیت آن تنظیم شود، آنزیم فعال و حالت آن متناظر با ON است و حالت OFF متناظر با وضعیتی است که آنزیم غیر فعال است. چون هر آنزیم ممکن است در یکی از دو حالت متفاوت (ON یا OFF) وجود داشته باشد، متابولیسم آن، جهان نجومی "جهان دورنمای غلظت" را کاوش می کند که شامل مجموعاً $2^{100,000}$ یا $(10^{30,000})$ حالت از غلظت های متفاوت است که ممکن است سوخت و ساز در هر لحظه در آن حالت باشد. هر حالت نشان دهنده الگوی مشخصی از غلظت آنزیم است. برای مثال، یکی از حالت های ممکن در جهان دورنمای غلظت، متناظر با وضعیتی است که در آن همه ۱۰۰,۰۰۰ آنزیم به ON تبدیل شوند، و حالتی دیگر متناظر با وضعیتی است که در آن همه آنزیم ها به OFF تبدیل شوند. در وضعیت دیگری نیز ممکن است ۵۰,۰۰۰ آنزیم ON باشند و ۵۰,۰۰۰ تای بقیه OFF باشند.

هر آنزیم در شبکه، قادر است با یکپارچه کردن مشخصات ورودی های خود که از سایر اجزاء شبکه متصل به آن و از طریق حلقه های بازدارنده یا متقابلاً کاتالیزور دریافت می کند، حالت های ON و OFF خود را تعیین کند. به نظر می رسد که در فواصل گسسته، هر آنزیم با جستجوی پاسخ خروجی مناسب و به روز در آوردن حالت خود مطابق منطق دیکته شده درجه، مشخصات ورودی هایش را مطابق منطق درجه بول یکپارچه می کند. برای مثال، آنزیمی که توسط درجه AND کنترل می شود، وقتی هر دو ورودی متقابلاً کاتالیزوری که دریافت می کند ON باشند، حالت ON پیدا می کند. اما آنزیمی که تحت کنترل درجه NOT است، اگر یکی از ورودیهایش ON باشد و ورودی دیگر OFF باشد، به حالت ON می رود. با روزآمد کردن همزمان یا غیر همزمان حالت یک جزء شبکه در هر لحظه خاص به ON یا OFF، ویژگی غلظت شبکه تغییر خواهد کرد. یک لحظه بعد فرایند روز آمد کردن تکرار می شود و حالت شبکه یک بار دیگر تغییر می کند. به این ترتیب در نتیجه تعداد زیادی از این گونه محاسبات که به طور موازی تکرار می شوند، دینامیک شبکه ظاهر می شود.

در زمانی که سیستم "جهان دورنمای غلظت" را کاوش می کند، رشته متوالی الگوهای غلظت یا "حالت" های تولید شده، "خط سیر" سیستم نامیده می شود. سرانجام سیستم با حالتی که قبلاً مواجه شده بود دوباره مواجه می شود و همان توالی حالت ها بار دیگر شروع شده و بی اندازه تکرار خواهد شد، درست مثل طرحهای چشمک زننده تابلوهای الکترونیک تبلیغاتی که میدان پیکادلی را آراسته اند. الگوی حالت های متوالی که یک شبکه خاص مکرراً در آن می چرخد "چرخه حالت" آن نامیده می شود. اگر چرخه حالت کوتاه باشد، در این صورت دینامیک شبکه منظم است و فقط تعداد کمی از حالت ها در آن مشاهده می شود. اما ممکن است که شبکه همه یا تعداد زیادی از حالت های ممکن را بازدید کند، که در این مورد خاص چرخه حالت طولانی است و دینامیک آن هم آشفته و بی نظم خواهد بود. در این وضعیت، هر حالت تکراری، به طور تصادفی از میان مخزن همه حالت های ممکن انتخاب می شود.

چرخه حالت شبکه "جذب کننده" (رباینده) نام دارد و مجموعه حالت های اولیه ای که در چرخه حالت آن قرار می گیرند "حوزه جاذبه" نامیده می شود. درحالی که سیستم های بسته متعادل به روشی کاملاً تصادفی به سمت فضای حالات بالقوه خود رانده می شوند و از این رو تحت تاثیر جذب کننده های بی نظم بزرگ هستند، سیستم های باز و دور از تعادل که ساختار شبکه ای ندرتاً پیوسته ای دارند، قادرند خود به خود و درغیاب دستورالعمل های برنامه ریزی شده، جذب کننده های کوچک و منظم تولید کنند. این جذب کننده های کوچک، سیستم را به ناحیه بسیار کوچکی از فضای حالت هایش می کشند و تضمین می کنند که خط سیر سیستم درون فضای حالت های بالقوه آن غیرتصادفی باشد. هر سیستم شبکه یک یا چند جذب کننده دارد و هر یک از آنها حوزه کشش منحصر به فرد خود را دارد، و مجموعه مجزایی از حالت های ابتدایی را به طرف خود می کشد.

در یکی از فصول قبلی فضای "جهان پله توری" را توصیف کردیم که توسط ۱۰۰۰ ربات بچه مدرسه اشغال و کاوش شده است. به همین نحو، سوخت و ساز ما را که در برگزیده حدود ۱۰۰،۰۰۰ جزء شیمیایی متفاوت به هم پیوسته است، می توان کاوش در "جهان دورنمای غلظت" در نظر گرفت. درجهان پله توری، دینامیک های منظم با موقعیتی نشان داده شدند که در آن، تغییر مکان روبات ها محدود به نواحی بسیار کوچکی از فضای بالقوه حالت های شان شده بود. از طرف دیگر، هرج و مرج نیز توسط موقعیتی نمایش داده شد که تغییر مکان ها محدود نبود و روبات ها آزاد بودند که فضا را با مصونیت کاوش کنند. انتظار می رود که سوخت و سازی که دینامیک آشفته ای دارد در فضای بالقوه حالت های خود به روشی کاملاً تصادفی کاوش کند. دورنمای غلظت به طور پیوسته با ON و OFF شدن غلظت هر یک از اجزای شبکه به روشی بی نظم و بدون این که الگویی قابل تشخیص داشته باشد، از ON به OFF تغییر خواهد کرد. اما در یک شبکه کاملاً منظم، غلظت همه اجزاء به صورت الگوی ثابت و غیر متغیری از مقادیر ON و OFF ثابت نگه داشته می شود. به وضوح هر دو نوع رفتار دینامیک برای فرآیندهای حیات نامناسب هستند، یکی از آنها زیادی تصادفی است و دیگری بسیار سخت و غیر قابل انعطاف. بنابراین، واقعا چه نوع دینامیکی در یک شبکه بولین تصادفی که از ۱۰۰،۰۰۰ جزء متفاوت ساخته می شود، مشاهده می شود؟

استورات کافمن رفتار متابولیسیم های مصنوعی مجتمعا خود کاتالیزور ایده آل و بسیار ساده شده ای را که به طور تصادفی ساخته می شوند، با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری مطالعه کرده است. این شبیه سازی ها نشان داده اند که ترکیبات اصلی ای که بر دینامیک شبکه تاثیر می گذارند عبارتند از: (۱) تعداد ورودیهایی که هر جزء دریافت می کند، (۲) ماهیت درجه بولی که روش یکی کردن ورودیهای هر جزء را کنترل می کند و خروجی آن را محاسبه می کند، و (۳) انحرافی که درجه در پاسخ خروجی اعمال می کند.

شبیه سازی نشان می دهد که اگر هر جزء فقط یک ورودی دریافت کند، رفتار شبکه روال ساده و منظمی پیدا می کند و ثابت می ماند، و فقط بین یک یا دو حالت از $10^{30,000}$ حالت ممکن درجهان دورنمای غلظت خود چرخه می زند. اگر هر جزء یک ورودی از همه اجزاء دیگر دریافت کند، بازخورد اضافی (سربار) به وجود می آید و رفتار شبکه به طور نومید کننده ای آشفته می شود. غلظت هر یک از اجزاء بین ON و OFF به روشی تصادفی و آشفته چشمک می زند و سیستم، به طور غیر منظم درحالت های زیادی از دورنمای بالقوه غلظت خود چرخ می زند.

اما، نتیجه ای که بسیار شگفت آور است این است که اگر هر جزء فقط دو اتصال ورودی دریافت کند، سیستم خود به خود یک جذب کننده کوچک تولید می کند که تضمین می کند که آن سیستم مکرراً فقط بین ۳۱۷ حالت از $10^{30,000}$ حالت ممکن خود چرخ بزند. این درجه از نظم شگفت انگیز، بدون کمک دستورالعمل های رمزدار دیجیتال تولید می شود. در حقیقت پیش نیازهای اصلی تولید نظم پویای خود به خود و خود سازمانده درون این سیستم، این است که باید طوری ساخته شود که اجزاء آنها تک و توک به هم متصل باشند. وقتی این شرط ارضاء می شود، سیستم خود به خود یک جذب کننده کوچک و منظم

تولید می کند. سپس از بیشتر حالت های موجود در فضای عظیم حالت های بالقوه خود چشم پوشی می کند و فقط از کسر بسیار کوچکی از آنها بازدید می کند.

شبکه مجتمعاً خود کاتالیزور، می تواند از این طریق بر روی مولکولهای غذایی که به او تغذیه می شود متمرکز شود و غلظت های بعضی از مولکولها را زیاد کند و در نتیجه مانند متابولیسم حقیقی عمل کند. بنابراین، روشن است که حتی در یک شبیه سازی که در آن ساختار و منطق شبکه فاقد ژن به شکلی کاملاً تصادفی باهم آمیخته شده اند، بدون دخالت برنامه های رمزدار دیجیتال، نظم عالی می تواند تولید شود. گرچه، بعد از این که این نظم طبیعی به وجود آمد، زمینه مناسبی برای فرآیند تکامل از طریق انتخاب طبیعی فراهم می کند، ولی خود این نظم، مستقل از این فرآیند پدید می آید.

خلاصه شدن قابل توجه سیستم به ناحیه بسیار کوچکی از فضای حالات بالقوه آن، بدون کمک هیچ نوع دستورالعمل کاربردی درونی یا بیرونی و به طور طبیعی و خود به خود رخ می دهد. نظم عمیق، به راحتی در غیاب یک برنامه اجدادی ظهور می کند، و سیستم غیر تاریخی بدون برنامه طوری رفتار می کند که انگار طوری برنامه ریزی شده است که از بسیاری از حالت های موجود در جهان دورنمای غلظت اجتناب کند، و فقط در حالت های بسیار کم و برگزیده ای چرخ بزند. این نظم تکان دهنده پویا فقط در نتیجه شکل آرایش شبکه ظهور می کند. برعکس سوخت و سازهای ژنتیک که در آن ها نظم مربوط به یک برنامه تاریخی در هر یک از اجزای هوشمند شبکه منقش شده است و برهه پدیده های ذاتی خود سازمانده آن تحمیل می شود، در سوخت و سازهای فاقد رمز، نظم به صورت غیر تاریخی پدیدار می شود و منحصراً نتیجه خود برنامه ریزی خود انگیزه است.

به نظر می رسد که فقط تعداد کمی از دریچه های متعدد منطق بول قادر به تولید و پایدار نگهداشتن دینامیک های منظم باشند. نتیجتاً، به جای به کار بردن آش شله قلمکاری از مخلوط دریچه های منطقی، می توان توابعی را به اجزاء شبکه اختصاص داد که نظم تولید می کنند، و به این ترتیب دینامیک شبکه شبیه سازی شده را منظم تر ساخت. همچنین می توان با استفاده از مجموعه ای از دریچه های منطقی که به پاسخ های خروجی جهت خاصی می دهند، نظم تولید کرد. برای مثال، اجازه دهید جزئی را در نظر بگیریم که دو ورودی دریافت می کند و پاسخ خروجی اش توسط یک دریچه OR کنترل می شود. این جزء می تواند ۴ ترکیب ورودی محتمل را دریافت کند. هر دو ورودی می توانند OFF باشند (0,0) یا ON (1,1)، یکی می تواند ON باشد در حالی که دیگری OFF است (1,0) و برعکس (0,1). در دریچه OR سه عدد از چهار شکل ورودیها (1,1)، (1,0)، (0,1) پاسخ ON تولید می کنند. بنابراین دریچه OR در ۷۵٪ موارد پاسخ ON تولید می کند و تمایل به پاسخ ON دارد. از طرف دیگر یک دریچه AND که منطقی برای تولید یک ON نیازمند این است که هر دو ورودی اش ON باشند، در ۷۵٪ موارد پاسخ OFF تولید می کند. به این دلیل که فقط یکی از ۴ ترکیب ورودی های آن یعنی (1,1) پاسخ ON تولید می کند، درحالی که بقیه آنها یعنی (1,0) و (0,1) و (0,0) پاسخ ON تولید نمی کنند. پس، تمایل کلی شبکه را می توان با گرفتن میانگین تمایل های همه دریچه ها تعیین کرد. اگر تمایل کلی شبکه از حد آستانه ای که منحصر به همان شبکه است بگذرد، احتمال دارد که نظم دینامیک تولید کند. درواقع می توان نظم کلی شبکه را با تنظیم قاعده مند درجه انحراف تنظیم کرد. این نتیجه را می توان با تغییر مجموعه دریچه های منطقی مستقر در اجزاء یک شبیه سازی معین به دست آورد. این اثر مخصوصاً در شبکه هایی که پیوستگی تنگاتنگ دارند و همچنین تمایل به بازخورد اضافی (سربرار) دارند، دیده می شود.

بنابراین به نظر می رسد که، ژن ها و دستورالعمل های دیجیتال رمزدار آنها تنها منبع نظم بیولوژیک نیستند و نظم می تواند از نو، در غیاب نظم از پیش موجود، به وجود آید. با توجه به این مسئله، می توانیم به این سوال برگردیم که "چه چیزی برنامه اولین برنامه را نوشت؟" و این نظر را دوباره تکرار کنیم که شاید لازم نبوده که اولین برنامه توسط ریزدستورالعمل های یک برنامه از پیش موجود نوشته شده باشد. در عوض، احتمال دارد که اولین سیستم های ابتدایی وراثت بیولوژیک، خود به خود درون دینامیک های پیچیده خود سازمانده شبکه های مجتمعاً خود کاتالیزور باز و دور از تعادلی که

تک و توک به هم پیوسته اند، ظاهر شده باشند. حداقل در شبیه سازی کامپیوتری، به نظر می رسد که جذب کننده های کوچک مولد نظم که خود به خود درون شبکه های مجتمع خود کاتالیزور تشکیل می شوند، بدون نیاز به رمزگذاری یا نماد گذاری دیجیتال، قادر به تولید مجموعه دستورالعمل های آنالوگ توزیع شده خود باشند. از این رو جذب کننده های آنالوگ قادرند درون دینامیک سیستم شبکه های مناسب، خود به خود پدیدار شوند، و مانند اشباح عجیب، این شبکه ها را درون حجم های بی نهایت کوچکی از فضای وسیع حالات خود در تله بیاندازند.

بنابراین آیا این شبکه های شیمیایی تک و توک بهم پیوسته خود سازمانده، که توسط جذب کننده های قوی کنترل می شوند، قادر به تولید پایداری هم ایستا جهت مرمت و تکامل خود هستند؟ در شبکه های بزرگ، جذب کننده های کوچک عموماً حوزه جاذبه وسیعی دارند. از این رو، علاوه بر حالت هایی که بخشی از چرخه را تشکیل می دهند، تعداد زیادی از حالت های ابتدایی دیگر به چرخه حالت جذب کننده مادر برمی گردند. این حالت های حوزه های جذب کننده کوچک معمولاً بسیار شبیه حالت های چرخه جذب کننده ای است که به درون آن کشیده می شوند، بنابراین هر اختلال یا آسیب به شبکه می تواند حالت جدیدی را تولید کند که، گرچه بخشی از چرخه حالت مادر نیست ولی، با وجود این به داخل آن کشیده می شود. بنابراین شبکه تمایل دارد که "به طرف خانه" یعنی به طرف جذب کننده کوچکی جاری شود، که اجازه می دهد حتی با وجود اختلالات، دینامیک سیستم تحت تاثیر جذب کننده آن منظم باقی بماند. این کار به شبکه استحکام می بخشد. به همین دلیل، بعید است که جهش در ساختار شبکه، سیستم را از جذب کننده اش دور کند. این کار به شبکه اجازه می دهد که بدون وارد کردن تغییرات مصیبت بار به ساختار یا دینامیک خود، به آرامی در میان "فضای سوخت و ساز فاقد ژن" تکامل یابد.

دورنماهای سازواری^{۱۰} که این نوع سوخت و سازهای ندرتاً پیوسته در آن جای دارند و آن را کاوش می کنند، مثل دورنمای فضای آر.ان، که به هنگام توصیف فضای آر.ان، آن را کاویدیم بسیار هم بسته هستند. راه حل های تطبیقی بالقوه برای مشکلات محیطی مشابه، به جای آسمان خراشهایی که به طور تصادفی حول دورنمای سازواری آن پراکنده شده باشند، معمولاً به صورت خوشه در ناحیه یکپارچه ای در مرکز شهر منتهن یافت خواهد شد. کلاً احتمال دارد که سوخت و سازهای فاقد ژن از یک آسمانخراش به آسمانخراش دیگری بپرند و هنگام جستجو در همسایگی نزدیک خود راه حل های قابل انعطافی را با درجات سازواری متغیر بیابند. علاوه بر آن، دینامیک شبکه هایی که تحت تاثیر جذب کننده های کوچک هستند نباید تحت تاثیر تغییرات تصادفی در غلظت اجزاء آنها قرار گیرد.

بنابراین، شبکه های ندرتاً پیوسته، دقیقاً نوعی استواری، پایداری هم ایستا و قابلیت تکامل را نشان می دهند، که هم برای نگهداری هسته ساختار اطلاعات در طول زمان لازم است و هم برای تغییر سیستماتیک و فزاینده آن، به طوری که قادر به روزآمد کردن تصویر دنیای بیرون باشد. از طرف دیگر، شبکه های قویاً پیوسته آشفته و بی نظم، بسیار نسبت به آسیب، جهش و اختلال حساس هستند، و در دورنمایی سکنی دارند که به آسانی توسط فرایندهای تکامل قابل رهایی نیست. حذف فقط یک جزء از سوخت و ساز می تواند اندازه جهان دورنمای غلظت شبکه را به طور وسیعی کاهش دهد و تاثیرات ژرفی هم بر جذب کننده و هم بر چرخه حالت سیستم بگذارد.

در این شبکه ها تغییر از رفتار منظم به رفتار پرهرج و مرج در نتیجه نوعی انتقال فاز که قبلاً در مثال دکمه و نخ دیدیم، رخ می دهد. کریستوفر لنگتون اظهار کرده است که بهترین مصالحه بین پایداری منظم و انعطاف پذیری، و به عبارتی پیچیده ترین شیوه پردازش اطلاعات، وقتی رخ می دهد که شبکه ها درون ناحیه منظم و در لبه بی نظمی قرار داشته باشند. انتخاب طبیعی عملاً می تواند سیستم ها را به نقطه ای بکشد که در آن، درون ناحیه ای منظم از منطقه انتقالی تلوتلو می خورند، که این منطقه مقدم است و نتیجتاً "روی لبه" انتقال فاز به بی نظمی قرار دارد. در این نقطه آنها آماده می شوند که هم پایدار باشند و هم بتوانند حداکثر تکامل را پیدا کنند و بنابراین بتوانند باکفایت به چالش های محیطی پاسخ دهند.

^{۱۰} Fitness برآزش، سازواری، صلاحیت، تناسب (*۴)

شبکه‌ها را می‌توان به طور مصنوعی، با تنظیم مناسب اتصالات میان اجزاء شان، و یا با تغییر ماهیت درجه‌های منطقی بول به این مرحله رساند. همان طور که می‌دانیم انحراف^{۱۶} هر درجه را می‌توان تنظیم نمود. افزایش انحراف قابلیت بازخورد را کاهش می‌دهد و شبکه تمایل پیدا می‌کند که دینامیک منظم تری داشته باشد. بنابراین، شبکه نامنظمی را که در آن هر جزء بیش از دو ورودی دریافت می‌کند، می‌توان با تنظیم انحراف درجه‌های منطقی‌ای که پاسخ خروجی هر جزء را محاسبه و کنترل می‌کنند، درون دینامیک منظم تری به کار انداخت.

گرچه ممکن است بتوان شیمی‌های مجرد غیر مجسم خود-مونتاز و خود-سازماندهنده را بدون اشاره واضح به طبیعت مادی واحدهای شیمیایی سازنده آن، مدلسازی کرد، ولی معنی بیولوژیک و فایده این مدل‌ها فقط با مراجعه به شیمی‌های خاصی می‌تواند ارزیابی شود. با وجود کلیات وسیعی که می‌تواند از شبیه‌سازی معماری شبکه‌های انتزاعی بول استنتاج شود، احتمال دارد دینامیک شبکه‌های حقیقی شدیداً به جزئیات حساس باشد. این جزئیات شامل توپولوژی شبکه و پارامترهای جنبشی واکنش‌های شیمیایی سازنده آن است. علاوه بر این، فرض این که هریک از اجزاء بتواند فقط ON یا OFF باشد یک ایده آل گرایی غیر واقعی شیمیایی است، چون آنزیم حقیقی پاسخ‌های مرحله مرحله می‌دهد. هم چنین خطا است که اتصالات بین اجزاء شبکه‌ها را طوری مدلسازی کنیم که انگار از نظر فضایی ثابت هستند یا سیم بندی شده اند، چون در واقع آنها از پراکندگی اجزاء شیمیایی در فضای واکنش‌های درون شبکه شکل گرفته اند. بنابراین با وجود سختی ظاهری مدل و عدم حساسیت آن به جزئیات، و این واقعیت که رفتار کلی هر شبکه شیمیایی واقعی باید قابل محاسبه باشد، احتمال دارد که شبیه‌سازی‌های دقیق، نیاز به فهرست جامعی از همه پارامترهای شیمیایی و فیزیکی مربوطه داشته باشد. این پارامترها شامل نیمه عمر همه اجزاء، و نرخ و ضریب‌های تعادل واکنش‌هایی که آنزیم‌ها در آن شرکت می‌کنند و تعدادی پارامتر دیگر می‌شود.

این پرسش که تطبیق پذیری این مدل‌های فرضی با دنیای حقیقی و شیمی‌های حقیقی چقدر است می‌تواند به دو بخش تقسیم شود. اولین پرسش مربوط می‌شود به این که آیا شیمی‌های محتمل تاریخی قادر بوده اند خود را به شکل شبکه‌های سوخت و ساز تک و توک پیوسته و خود سازمانده بسازند؟ سوال دیگر مربوط می‌شود به این که آیا به طور کلی امکان دارد که این نوع شبکه‌ها و دینامیک آنها را از اجزاء شیمیایی مصنوعی بسازیم، که ضرورتاً شبیه کاندیداهای طبیعی تاریخ نیستند. همچنین، همان طور که قبلاً خاطر نشان کردم، می‌توان پرسید که مدل‌های کامپیوتری شیمی‌های مصنوعی و آرمان گرایی شان تا چه اندازه می‌تواند نمایش معقولی از شیمی واقعی باشد.

پاسخ به این پرسش‌ها اصولاً به مطالب زیر مربوط می‌شود: (۱) میزان تولید اجزاء شبکه توسط فرآیندهای شیمیایی غیر اطلاعاتی، (۲) میزان فعالیت‌های متقابلاً کاتالیزور سازگاری که در مخازن اجزاء شیمیایی وجود دارند، (۳) تواتر یافتن این اجزاء درون مجموعه‌های ترکیب شونده، (۴) میزان اتصال بین اجزای سازنده شبکه‌های شیمیایی خود مونتاز و (۵) دامنه کنترل جزاء توسط درجه‌های منطقی تولید کننده دینامیک منظم.

در انتها، پرسش در مورد محتمل بودن این مدل‌ها را فقط می‌توان براساس تجربه و با استفاده از کاندیداهای مناسب شیمیایی جواب داد. بنابراین، گرچه اصولاً دورنماهای متقابلاً کاتالیزورها و خود-کاتالیزورها که توسط انواع پلیمرهای مختلف شیمیایی تولید شده اند، را می‌توان بر پایه ساختار شیمیایی آنها مدلسازی کرد، ولی بهتر است که با استفاده از انواع مجموعه‌های ترکیب شونده‌ای که در هنگام توصیف جهان آرمان بررسی کردیم جستجو شوند. به محض این که فرکانس و پراکندگی این نوع فعالیت‌ها با رده‌های متفاوت سیستم‌های طبیعی شیمیایی متناظر قرارگیرند، می‌توان پیش بینی کرد که آیا مجموعه مشخصی از پلیمرهای با اندازه معین قادرند خود را بسازد و خود به خود شرح حالی از درجه‌های منطقی، پیوند‌ها و انحراف‌هایی را ارائه بدهند که بتواند نظم استاتیک و دینامیک ابتدایی تولید کند. هیچ دلیل ذاتی‌ای وجود ندارد که نشان بدهد چرا چنین

^{۱۶} Bias سودارکردن

شبکه‌هایی می‌توانند فقط از یک رده پلیمر ساخته شوند، و ممکن است که فقط مخلوط‌های معینی از پلیمرهای متفاوت قادر به تولید شبکه‌های منظم خود پایدار باشند.

پرسش مهم دیگر این است که آیا پلیمرهایی که اندازه‌شان در دامنه محدودی قرار دارد و احتمالاً توسط فرآیندهای شیمیایی پیش زیست‌غیربیولوژیک تولید شده‌اند، می‌توانند فعالیت کاتالیزور کافی برای تولید یک مجموعه مجتمعا خود کاتالیزور را داشته باشند؟ این مسئله که این اجزاء فقط در واکنش‌های خاص شرکت می‌کنند بحرانی است و شاید قابل حل نباشد، و در این صورت بخت به وجود آمدن شبکه مجتمعا خود کاتالیزور از شیمی‌های طبیعی بسیار ناچیز خواهد بود. اما، مدلی که دریاچه‌های منطقی بول رابه طور کاملاً تصادفی به هر یک از اجزاء شبکه تخصیص می‌دهد، احتمالاً سناریوی بدتری را نمایش می‌دهد. احتمال دارد که سوخت و سازهای طبیعی از مجموعه محدودتری از دریاچه‌های بول، که مایل به ایجاد دینامیک‌های منظم هستند، استفاده کنند. شاید بهتر باشد که خود را به این دلگرم کنیم که تقریباً همه مدارهای شناخته شده ژنتیک با تعداد کمی ورودی تنظیم می‌شوند، و تحت کنترل زیر مجموعه‌ای از دریاچه‌های منطقی بول هستند که علاقمند به ایجاد نظم دینامیک هستند.

باوجود دشواری‌های بالقوه، پژوهش‌های آزمایشی جهت یافتن بنیان تجربی فرضیه سوخت و سازهای فاقد ژن به طور سطحی و غیر قطعی و در عین حال وسوسه‌انگیز آغاز شده‌اند. در سال ۱۹۹۶ دیوید لی و رضا قدیری نشان دادند که پپتیدی با طول ۳۶ آمینو اسید می‌تواند به طور خود-کاتالیزور نرخ تولید خود را با اتصال دو پپتید به طول ۱۵ و ۱۷ آمینو اسید، افزایش دهد. این واکنش نشان داد که زنجیره و ساختار آمینو اسید شدیداً اختصاصی است، چون کمتر از ۱۵٪ مواد اولیه به محصول فرعی تبدیل شده بودند. این کار اولین شواهد را فراهم آورد تا نشان دهد که خود-تکثیر خود-کاتالیزور پپتید از نظر شیمیایی امکان پذیر است. یک سال بعد لی و قدیری توانستند نشان دهند که دو پپتید متفاوت خود-تکثیر خود-کاتالیزور می‌توانند با تسریع متقابل به یک شبکه کوچک بپیوندند. گرچه، درحالی که هر یک از اجزاء این شبکه به تنهایی خود-کاتالیزور است، ولی این شبکه مینیاتوری مجتمعا خود-کاتالیزور نیست، و با وجود این اتصالات متقابلاً کاتالیزوری را به هم پیوند می‌زند که می‌توانند بنیان یک سوخت و ساز مجتمعا خود-کاتالیزور را بنا نهند. شائو یانو و جوان شمیلسکی^{۱۷} توانستند با تولید شبکه‌های پپتید خود سازمانده‌ای که شامل ۴ واکنش پیوند پپتید خود-کاتالیزور خود-تکثیر بود، گامی به پیش بردارند. هر واکنش انفرادی خود کاتالیزور توسط شبکه‌ای از اتصالات متقابلاً کاتالیزور که بر یکدیگر منطبق شده‌اند، به دیگر اجزاء وصل شده بود. علاوه بر این، مشاهده شد که غلظت ۴ فرآورده این واکنش به ویژگی‌های متفاوت محیط اطراف آن مثل PH و غلظت نمک حساس هستند. این مسئله نشان می‌دهد که غلظت‌های تولید شده در مینی شبکه‌های واکنش‌های شیمیایی که همزمان خود-کاتالیزور و متقابلاً کاتالیزورند می‌توانند خود را با شرایط محیطی وفق دهند و تکامل یابند. این مسئله همچنین اشاره‌ای دارد به این که چگونه چرخه حالت تولید شده توسط جذب کننده‌های کوچک درون شبکه‌های منظم مجتمعا خود کاتالیزور، می‌تواند به غلظت‌های منحصر به فردی ترجمه شود، که هر یک ممکن است نتایج قابل تطبیق جداگانه‌ای داشته باشند.

نسبت تعمیم این نتایج به شبکه‌های پیچیده تر را، که منحصرأ متکی بر تسریع متقابل هستند و به تنهایی خود کاتالیزور نیستند بلکه جمعا خود کاتالیزورند، بعداً بررسی خواهیم کرد. اما آنها شواهدی مقدماتی هستند که بیان می‌کنند شبکه‌های شیمیایی مجتمعا خود کاتالیزور ساخته شده از مولکولهای پپتید از نظر شیمیایی مورد قبول هستند و طولشان آن اندازه است که علی‌الاصول می‌توانند تحت شرایط پیش زیستی ترکیب شده باشند. بنابراین جهان فاقد ژن ممکن است توسط موجودات آنالوگی که از فناوری پپتیدها برای تولید خود به خود سوخت و ساز هایشان استفاده کردند، مسکونی شده باشد. گرچه اجزاء خام و بی تجربه پپتید، خود ممکن است از زنجیره‌های دیجینال آمینو اسیدها ترکیب یافته باشند، ولی احتمال دارد که اولین نمونه‌های آنها، به روشی منحصرأ آنالوگ مورد استفاده قرار گرفته باشند.

^{۱۷} Shao yao & Joan Chmielewski

به زودی جهان فرضی فاقد ژن را ترک خواهیم کرد. اما قبل از این کار به طور مختصر این سوال را مورد ملاحظه قرار خواهیم داد که آیا این موجودات فرضی فاقد ژن دارای حجره بندی بودند یا نه و بنابراین آیا قادر بودند مانند واحدهای گسسته عمل کنند. همچنین به این مسئله می پردازیم که آیا آنها قادر بوده اند بازتولید کنند و جهش و تکامل یابند، و نیز بررسی خواهیم کرد که چگونه توانسته اند جریان ماده و انرژی لازم برای حفظ حالت دور از تعادل را تولید کنند. سپس سعی خواهیم کرد برای شدت پیچیدگی به دست آمده توسط این شبکه های شبه جاتدار بالقوه مرزی تعیین کنیم، و صحبت را با تشریح این که چگونه نظم غیر تاریخی، خود سازمانده و فاقد ژن این شبکه ها سرانجام توانست به اسارت گرفته و توسط تاریخ پردازش شود و سرانجام منطق دیجیتال رمزار ژن ها روی آنها نوشته شود، خاتمه دهیم.

احتمال دارد که اولین گیاهان و جانوران دنیای فاقد ژن شامل موجودات عریان، بی دوام، حجره بندی نشده یا مایع و فاقد ژنی باشند که روی مواد معدنی یا سایر انواع سطوح دو بعدی، یا شاید بدون محدودیت درون محلول های تغلیظ شده یا دھیدراته، شبه زندگی کرده باشند. معلوم نیست که آیا این سوخت و سازهای بدون ژن فاقد حجره بندی و بد تعریف می توانسته اند خودشان را بازتولید کنند، و تکامل یابند و دودمان های وسیع به وجود بیاورند. اگر درمکانی ۲ نمونه از این سوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزور فاقد حجره بندی در فضای مشترکی کنار هم سکنی داشتند، از یکدیگر قابل تشخیص نبودند. گرچه موجودات فاقد حجره بندی نمی توانستند فرایندهای تکثیر مجزا و با کیفیتی که توارث نامحدود موجودات زنده معاصر را تضمین می کند داشته باشند، ولی احتمالاً می توانسته اند شرح حال غلظت خود را به روشی غیر دقیق ولی متوالی تر بازتولید کنند. سرانجام، احتمالاً آنها خود-پایدار و قادر به تاثیرگذاری قوی و متمرکز بر روی دورنمای غلظت ریز محیطی که در آن سکنی داشتند بوده اند. از این نظر می توان تصور کرد که آنها مقدمات سیستم وراثت را داشته اند.

ریچارد بیگلی، دوین فارمر و والتر فونتانا^{۱۸} شواهدی از مدلسازی کامپیوتری فراهم کرده اند که اظهار می دارد که سوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزور احتمالاً می توانسته اند مانند بذر عمل کنند، یعنی حتی در غلظت های بسیار کم بر محیط کشتی که دارای ویژگیهای مناسب است مسلط شوند و مانع تشکیل سایر سوخت و سازها شوند. اصولاً، حتی زیر مجموعه ای از اجزاء شبکه مجتمعاً خود کاتالیزور، می تواند کل شبکه را بازسازی کرده باشد. در موردی که فقط یک سوخت و ساز فاقد حجره بندی ساکن ریز محیط بود، جمعیتی از سوخت و سازهای دیگر وجود نداشت و بنابراین قابلیت رقابت و تکامل هم وجود نداشت. منظور این نیست که این سوخت و سازهای خود پایدار و منزوی قادر نبودند که تغییرات فزاینده ای را که می توانست بر تندرستی و ادامه بقاء شان تاثیر بگذارد، انباشته کنند. بیشتر احتمال دارد که آنها مداوماً خلق و نابود می شدند تا این که سرانجام شرایط به محفوظ شدن آنها درون نوعی مرز معین هندسی کمک کرد. این اتفاق ممکن است در نتیجه انگلی شدن حجره های پیش زیستی مانند میسل های^{۱۹} خود-کاتالیزور خود-تکثیر که توسط پاسکال باخمن و ژاک لنگ^{۲۰} توصیف شد رخ داده باشد، یا در نتیجه واکنش درون خود شبکه که منجر به ترکیب یک ساختار حجره بندی شده از نو گشت. اما، گذار از نمونه های اولیه حیات حجره بندی نشده به حجره بندی شده، ناچیز نبود و می توانست مشکلات جدیدی را به همراه آورد مثل حمل تکه های غذا در سطح حجره.

به محض این که نمونه های اولیه سلول های ابتدایی خود را می ساختند، غلظت هر یک از اجزای شبکه می توانست بیشتر افزایش یابد. همچنین، هر نمونه اولیه سلول فاقد ژن ممکن بود بتواند خودش را با فرآیند کم دقتی باز تولید کند، که به محض این که حجم آن از حد آستانه عبور می کرد، به دو بخش تقسیم می شد. به این ترتیب هر جهشی که درون حجره مادر رخ می داد، می توانست به حجره فرزند هم انتقال یابد. انتقال غیر برابر مواد شبکه به حجره های فرزند می توانست امکانی اضافی برای جهش های آنالوگ عرضه کند و به تولید مخزنی از جهش یابنده های آنالوگ کمک کند. هر حجره ممکن بود بتواند مانند

^{۱۸} Richard Bagely و Walter Fontana و Doyn Farmer

^{۱۹} Micelle. مجموعه ای از مولکولهای کاهنده کشش سطحی که حالت چسب سانی را کاهش می دهد

^{۲۰} Pascale Bachman & Jacques Lang

یک واحد گزینش مجزا عمل کند و دورنمای یگانه غلظت که توسط جذب کننده های درون هر شبکه خاص تولید شده بود، ممکن بود به فوتوتایپی (شکل ظاهری) ترجمه شود که بر بقا و کارایی تولید نمونه های اولیه سلول تاثیر بگذارد.

بنابراین برای اولین بار اطلاعات اصلی نمونه های اولیه ژنتیک می توانست مستقیماً به یک فوتوتایپ قابل گزینش پیوند بخورد. این کار اجازه می داد که سوخت و ساز به طور هم ایستا طبیعت ریز محیط محفظه دار خود را مشخص کند و به اشکال مختلف از زیست بوم حجره های ناهمگن انتخاب شود. ممکن است جوامع پیچیده نمونه موجودات فاقد ژن حجره بندی شده سرانجام در مکانی که نمونه موجودات از طرق متفاوت مانند: همکاری، رقابت، همزیستی و زندگی انگلی با یکدیگر تعامل داشتند، تشکیل شده باشد. ممکن است که حداقل یکی از این جوامع، بذری دودمانی تاریخی را که منجر به اولین شکل های سلولی حیات ژنتیک رمزار شد افشاند باشد و برای این کار، هم امکانات و هم محدودیت های همه اشکال طبیعی و مصنوعی حیات را برقرار کرده باشد.

گرچه احتمال دارد که سوخت و سازهای مجزا در نتیجه انباشته شدن جهش های آنالوگ تغییر یافته باشند، ولی برای این که یک فرآیند تکامل داروینی رخ دهد، باید جمعیتی از گونه های مختلف تولید شوند. فقط در آن صورت می توان سازگاری نسبی فوتوتایپ نسخه های دیگر سوخت و ساز موسس را با ساختار محیط خود مکرراً آزمایش و دوباره آزمایش کرد. احتمالاً، بعضی از گونه ها بهتر از بقیه خود را تطبیق می دهند و از این رو کارآمد تر از بقیه تولید مثل می کنند. این جهش یافته ها سرانجام بر ریز محیطی که در آن بسر می برند تسلط می یابند. ولی چگونه ممکن است در ابتدای کار مخزنی از نمونه های اولیه موجودات جهش یافته ایجاد شده باشد. ریچارد بیگلی، دوین فارمر و والتر فونتانا اظهار داشته اند که می توان با اضافه کردن یا حذف حلقه های متقابلاً تسریع کننده ای که سوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزور را می سازند، به این سوخت و ساز ها جهش وارد کرد.

مولکولهای سازنده سوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزور ممکن است به دو بخش تقسیم شوند، یکی مولکولهایی که بخشی از مجموعه مجتمعاً خود کاتالیزور را تشکیل می دهند، و دیگری مولکولهای پس زمینه که در واکنش های خود به خود غیر کاتالیزور تولید می شوند و جزو این مجموعه نیستند. اما، بعضی از مولکولهای پس زمینه توسط واکنش هایی ساخته می شوند که عناصری از مجموعه مجتمعاً خود کاتالیزور را درگیر می کند و به نظر می رسد که سایه ای حول آن تشکیل می دهد. نتیجتاً، عناصر سایه غلظت هایی بالاتر از بقیه پس زمینه دارند و غلظت آنها دقیقاً از غلظت مجموعه خود کاتالیزور پیروی می کند.

اختلال یا نوسان بی مقدمه در غلظت یکی از مولکولهای سایه، می تواند به طور مستقیم یا غیر مستقیم منجر به تسریع واکنش خود به خود پس زمینه درون سایه شود. اگر یکی از محصولات چنین واکنشی بتواند به شکل خود کاتالیزور تولید خود را افزایش دهد، نوسان به شدت تقویت می شود. علاوه بر این، اگر یکی از محصولات جدید در واکنشی شرکت کند که توسط عضوی از مجموعه مجتمعاً خود کاتالیزور تسریع می شود، یک حلقه واکنش شیمیایی جدید می تواند به وجود آید و با تسریع متقابل به سوخت و ساز متصل شود. به همین نحو، اگر یکی از محصولات جدید مانع فعالیت یکی از اجزاء شبکه شود، یک حلقه سوخت و ساز می تواند حذف شود. بنابراین مجموعه سایه زمینه مهمی را برای تولید مثل مولکولهایی فراهم می کند که می توانند جهش های خود به خود آنالوگ به سوخت و ساز وارد کنند. یک نوسان تنها می تواند تغییرات آبخاری پیچیده ای را در شبکه ها آغاز کند که در بعضی موارد برگشت پذیر نخواهند بود. علاوه بر این احتمال دارد که تثبیت نتایج چند شاخه نوسانات خود به خود، رفتار آینده سوخت و ساز را به این ترتیب اصلاح کند که بر احتمال رخ دادن یک نوسان جدید و احتمال ارائه تغییرات جدید توسط این نوسان تاثیر بگذارد. همچنین احتمال دارد که تغییرات دائمی در ترکیب و معماری سوخت و ساز، در روش تغییر آن توسط یک نوسان معین تاثیر بگذارد.

سازوکار بالقوه دیگری نیز برای وارد کردن جهش در سوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزور وجود دارد، و آن عبارت است از مختل کردن سوخت و ساز شبکه، از طریق وارد کردن اجزاء مهاجمی که از نظر شیمیایی به اجزاء سوخت و

ساز مادر مرتبط نیستند. به طور کلی، اجزاء مهاجم می توانند درست مثل نوسانات خود به خود مجموعه سایه، شبکه را جهش دهند. حذف یا مهاجرت عناصر مجموعه اصلی نتایج یکسانی را به دنبال خواهد داشت. همچنین می توان وضعیتی را در نظر گرفت که در آن وضعیت، امکان دارد سوخت و ساز به دلیل رخنه اجزاء شیمیایی همبسته مختل شود. برای مثال، ورود یک پپتید جهش یافته جدید، مانند پروتئین پریون عمل می کند و تغییری سازگار در شبکه مربوطه پپتید ها القاء می کند.

شبکه های یکسان یا خیلی شبیه هم، می توانند علاوه بر جهش های ساختاری به سوی جذب کننده های کوچک متعدد همگرا شوند و جهش های دینامیک را تحمل کنند. بنا براین، گروهی از سوخت و سازهای مربوط به نمونه- سلول های حجره بندی شده، با وجود داشتن سیم کشی یا توپولوژی یکسان یا مشابه، ممکن است قادر باشند درون مرزهای خود، دورنماهایی از غلظت های متعدد شیمیایی را به وجود آورند. اگر طرحهای دینامیک خاص، به قابلیت های متفاوت ترجمه می شدند تا نمونه- سلولهای اولیه و محتوای آنها را بازتولید کنند، میل داشتند که همه نمونه- سلول هایی را که تحت تاثیر جذب کننده های متفاوت قرار داشتند تکمیل کنند. به محض این که اکوسیستم پیچیده حجره های نمونه- موجودات فاقد ژن ایجاد شد، مخزن گونه های مختلف می توانند مجموعه ای از واکنش های پایدار همیارانه، همزیست یا انگلی بین نمونه- موجودات اولیه متفاوت را در بر گیرد.

همچنین، می توان ترکیب مادی شبکه را با جایگزین کردن جایگاه اتصال یا فعالیت کاتالیزور با نوع دیگری که با آن یکسان و یا مشابه است، ولی در فناوری شیمیایی متفاوتی شکل گرفته، تغییر داد. همچنین، دو جزء که هندسه نقاط اتصالشان متفاوت است ممکن است واکنش یکسانی را با استفاده از سازو کارهای متفاوت تسریع کنند. اما، پویایی این سازو کارها ممکن است متفاوت باشد، مثلاً ممکن است جایگزینی یک جزء با جزئی دیگر بر دینامیک یا قابلیت تکامل شبکه و بنابراین بر سازگاری کلی آن تاثیر بگذارد. از طرف دیگر، می توان وضعیتی را تصور کرد که در آن می توان سوخت و سازی را که منحصر از ریبوزیم ترکیب شده است، بدون تغییر فنوتایپ اساسی شبکه، با دی.ان.ای تک کلافی، پپتید ها یا سایر اجزاء جا به جا کرد.

بنابراین به نظر می رسد که حتی سوخت و سازهای انفرادی فاقد حجره بندی، قادر به کاوش نواحی کوچک "فضای همه سوخت و سازهای ممکن مجتمعاً خود کاتالیزور" و دینامیک های خود سازماده مربوط به آنها هستند. چون سوخت و ساز نمی تواند جهش یابنده های متفاوتی را از مخزن انتخاب کند، نمی تواند فرآیند حقیقی تکامل داروینی را تشکیل دهد، ولی باوجود این می تواند ساختار و دینامیک خود را در طول زمان به طور فزاینده اصلاح کند. اما، ناتوانی سوخت و سازهای تک افتاده برای ساختن جمعیتی از جهش یابنده ها، آنها را بی نهایت نسبت به تغییرات ریزمحیطی که در آن سکنی دارند حساس می سازد. بنابراین بعید است که هیچ یک از سوخت و سازهای حجره بندی نشده خاص بیش از چند ثانیه، چند دقیقه، چند ساعت، چند روز و شاید چند هفته دوام داشته بوده باشند. از طرف دیگر، سوخت و سازهای حجره بندی شده می توانستند جهش یابنده هایی را بسازند که بر حسب توانایی تولید مثل و ادامه بقا گزینش می شوند. این کار به آنها اجازه می داد که با فرآیندهای کلاسیک داروینی تکامل یابند و دودمان های اطلاعاتی با قابلیت وراثت نامحدود را بر پا کنند. بنابراین، موجودات فرضی شبه- زنده که در دشت های فاقد ژن جهان بدون ژن سکنی گزیده بودند، احتمالاً می توانستند درون دورنمای سازواری نمونه- موجودات فاقد ژن تکامل یابند. می توان تصور کرد که، سوخت و سازهای فاقد ژن نیز مانند موجودات ژنتیک رمزدار که فضای زنجیره های دی.ان.ا را کاوش می کنند، مجموعه ساختارهای ریاضی دیگری را که در باغ وحش فاقد ژن جای دارند، کاوش می کنند.

وقتی که داخل باغ وحش فاقد ژن می شویم، قفسه ها مملو از کیت های فاقد ژن نمونه- موجودات بالقوه فاقد ژن هستند. بیشتر این کیت ها نیز، مانند کیت های فضای ژن، به دست تاریخ لمس و باز نشده اند و خاک گرفته اند. اما کیت های هایپرمارکت باغ وحش فاقد ژن، فقط بخشی از کیت هایی هستند که در هایپرمارکت بزرگتر شبکه های مجتمعاً خود کاتالیزور جای دارند. این هایپرمارکت، شامل مجموعه کامل همه سوخت و سازهای ممکن مجتمعاً خود کاتالیزور است که اکثراً بی نظم و

پره‌رج و مرج هستند یا این که به سختی در دینامیک های ساده و تکراری ثابت مانده اند. طناب نجات های سیاه درون هایپرمارکت، شیری از کیت های فاقد ژن را نشان میدهد که قادرند نمونه های اولیه حیات را بسازند و *باغ وحش بدون ژن* را اشغال کنند. *دریای وسیع سپیدی* که آنها را جدا می کند شامل کیت هایی است که قادر به ساختن الگوهای دینامیک سازگار با نمونه های اولیه حیات نیستند. *باغ وحش فاقد ژن* خود به زیر فضاهای متعددی تقسیم شده است، چون ممکن است اجزاء سازنده کیت های آن از یک یا چند فناوری شیمیایی متفاوت ساخته شده باشد. برای مثال یکی از این زیر فضا ها "*باغ وحش فاقد ژن مخصوص مولکولهای پپتید*" است که شامل مجموعه کامل سوخت و سازهای پپتیدی است که قادر به ساخت چیزهای شبه جاندار هستند. دیگری "*باغ وحش فاقد ژن مخصوص مولکولهای آر.ان.ا*" است و همچنین یکی دیگر "*باغ وحش فاقد ژن مخصوص مولکولهای پپتید و آر.ان.ا*" می باشد. باغ وحش های دیگر نیز ممکن است شامل کیت هایی باشند که از فناوریهای شیمیایی کاملاً نا آشنا و غیر منتظره ساخته شده اند. چه کسی می توانست تصور کند که بعضی از این فضاهای ریاضی، اتصالات و کانال ها، یعنی درگاه هایی به دنیایی جدید دارند که سرانجام، توسط جاده ای پرپیچ و خم درون دسته ای از فضاهای ریاضی، به پهنه های وسیع ترکیب شونده فضای ژن که قابلیت بی اندازه ای برای پیچیدگی دارند منتهی می شود.

این سوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزور، برای پایدارکردن حالت غیر متعادل خود به جریان ماده و انرژی نیاز داشتند. ممکن است که در ابتدا ظرفیت اتلاف ماده و انرژی را به روش های متعددی به دست آورده باشند. واکنش های شیمیایی می توانند به دو دسته گرما زا^{۲۱} یا گرما دهنده و گرما گیر^{۲۲} تقسیم شوند. در سوخت و سازهای رمزدار معاصر، انرژی اضافی رها شده از واکنش های شیمیایی گرما زا می تواند توسط پیوندهای مولکولهای حامل انرژی ضبط شود. مهم ترین این مولکولها آدنوسین تری فسفات (ATP) نام دارد و انرژی را در پیوندهای فسفات خود ذخیره می کند. اگر برای انجام یک واکنش گرما گیر انرژی لازم باشد، پیوندهای فسفات ATP می تواند شکسته شود و انرژی آزاد کند. این گونه تزریق انرژی شیمیایی به سیستم، مشابه انرژی گرمایی ای است که الگوهای هندسی لانه زنبوری در سیستم ریلی- بنارد را تولید می کند. اما، این نوع سیستم های پیچیده حامل انرژی، در خلال زمانی طولانی تکامل یافته اند و بعید است که در دسترس نمونه های اولیه موجودات بوده باشند. نتیجتاً احتمال دارد که سوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزور متعلق به نمونه- موجودات فاقد ژن از انواع ساده تری از سیستم های ناقل انرژی استفاده کرده باشند، یا این که واکنش های گرما زا و گرما گیر را در نوعی همکاری متقابلاً سازگار با هم همراه کرده باشند. اما ساده ترین راه برای دورکردن چنین سیستم هایی از حالت تعادل، ادامه دادن به درون ریزی مولکولهایی است که به بازتولید اجزای منفرد شبکه کمک می کنند.

اکنون که توصیف خود از نیازهای حداقل حیات را کامل کرده ایم، به نظر منطقی می رسد که نتیجه بگیریم سوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزور حیره بندی شده و شاید حتی پیشینیان فاقد حیره بندی آنها دست کم شبه-جاندار بوده اند. گرچه اینها عضو مجموعه وسیعی از سیستم هایی بودند که منطقاً می توانند جاندار تعریف شوند، ولی مشخصاً به زیرمجموعه ای از موجودات زنده که آنها را شبه-زنده نامیده ایم تعلق داشتند. می توان تصور کرد که این موجودات شبه-جاندار سازمانی بین سیستم های غیرمتحرک تلف شونده، مانند سیستم ریلی- بنارد، و موجود زنده ژنتیک رمزدار- که شیمی آن تعالی می یابد- دارند. گرچه بعید است که یکی از این نمونه های اولیه موجودات فاقد ژن فرضی توانسته باشد اپرای "عروسی فیگارو" را نوشته باشد یا حتی ابتدایی ترین کارهایی را که توسط موجودات چند سلولی کنونی انجام می شود، انجام دهد، ولی نباید اجازه دهیم که انتظارات ناشی از نا آشنایی ما با موجودات پیچیده رمزدار ژنتیک معاصر، درک و تعریف ما را از نمونه- موجودات کهن که بر آنها تقدم داشتند تحت تاثیر قرار دهد. منطقی نیست که تقاضاهای یکسانی از موجوداتی داشته باشیم که نیاکانشان

^{۲۱} Exothermic
^{۲۲} Endothermic

شاید حدود ۳,۶ روز حیات داشته اند و موجوداتی دیگر که از حدود ۳,۶ میلیارد سال تجربه تکاملی برنامه ریزی شده اجزاء و عناصر تنظیم کننده خود سود می برند.

در این مرحله جالب است که کوشش کنیم مرزی برای اندازه پیچیدگی قابل حصول توسط نمونه- موجودات فرضی فاقد ژن ساکن فضای فاقد ژن، بکشیم. گرچه فقدان جزئیات مانع از این می شود که تخمین های مشخص کمی بزنیم، ولی می توانیم بعضی از محدودیت های وسیعی را که احتمالاً پیچیدگی آنها را محدود کرده است بررسی کنیم. شاید اساسی ترین این محدودیت ها ماهیت دورنمای ریاضی ای است که این موجودات اجازه کاوش آن را داشته اند. برعکس دورنمای ریاضی نامحدود قابل دسترسی برای موجودات رمزار ژنتیک، دورنماهای ریاضی در دسترس نمونه های اولیه موجودات، محدود بودند. در حالی که هر یک از اجزاء و عناصر تنظیم کننده سوخت و ساز هوشمند رمزار می تواند در تاریخ پردازش شود و طوری برنامه ریزی شود که مجموعه غذای ثابت ورودی بتواند توسط برنامه های ترکیبی رمزار به تعداد نامحدودی از مولکولهای دیگر ارسال شود، در سوخت و سازهای فاقد رمز، مرزهای دورنمای عناصر قابل دسترسی، به وضوح توسط طبیعت غذایی که در دسترس آنهاست مشخص و معین می شود. نتیجتاً، این اجزاء خام و برنامه ریزی نشده، فاقد هوش تکاملی اجزاء رمزار و وسایلی که توسط تاریخ برای هماهنگی آنها معین شده است، می باشند.

در نتیجه مهاجرت و مشارکت بعدی گونه های جدید در سوخت و ساز، گهگاه ممکن است تعداد اجزاء ممکن در این شبکه ها تغییر کند، ولی خود اجزاء، توسط تاریخ پردازش و برنامه ریزی نمی شوند. بنابراین، گرچه اجزاء جدیدی ممکن است به سوخت و ساز پیوندند یا از آن حذف شوند ولی، خود اجزاء از نظر تاریخی خام و بی تجربه و بنابراین ثابت باقی می مانند. این مانع، توانایی محاسباتی کسب شده توسط نمونه- موجودات فاقد ژن را شدیداً محدود می کند. علاوه بر این، بعید است که اضافه کردن یا حذف هر حلقه خاص از سوخت و ساز، اثری عمیق بر روی رفتاری که می تواند انتخاب کند، داشته باشد. اندازه حجره ای که سوخت و ساز را در خود جای داده، تعداد حلقه های تازه را که می تواند به سوخت و ساز افزوده شوند و تولید فوتاپ های جدید را در جهش های آنالوگ محدود می کند. انتظار می رود که بسیاری از موانع دیگر نیز پیچیدگی موجودات فاقد ژن را محدود کنند. از جمله این موانع یکی این واقعیت است که فقط به طرف یک یا چند جذب کننده غیرقابل انعطاف کوچک جذب می شوند، دیگر این که احتمالاً دقت تولید مثل آنها کم است، و دیگر این که هیچ سازو کاری برای تنظیم دینامیک خود در طول زمان ندارند. مقدار اطلاعات موجود در هر یک از اجزاء این سوخت و سازها نیز باید بسیار کم بوده باشد. بنابراین، موجودات فاقد ژن چگونه توانستند بر بحران اطلاعاتی ای که هستی شان را تهدید می کرد، غلبه کنند.

شاید قانع کننده ترین احتمالات این باشد که نمونه- موجودات حجره بندی شده فاقد ژن، به ماده دیجیتالی آلوده شدند، که بدو مانند پیش- ژن ها عمل می کردند. همان طور که قبلاً اظهار کرده ایم، این مولکولهای دیجیتالی در عین حال که مستقیماً اطلاعات را به رمز در نمی آورند، ولی احتمالاً قادر بودند بر دینامیک سوخت و سازهای فاقد رمز، یا بر طبیعت اجزاء جداگانه آنها تاثیر بگذارند. پیش- ژن ها مانند اجداد نمونه- ژن ها هستند که آنها نیز مانند اولین مولکولهایی که قادر به استفاده از ساختار قالبی دیجیتال برای رمزار کردن سمبولیک اطلاعات بیولوژیک بودند، در ذهن مجسم می شوند. این امر از به هم پیوستن اطلاعات به رمز در آمده زنجیره های دیجیتال و دستگاههای بیوشیمیایی ای که در ساخت قالبی پلیمرها تخصص داشتند، حاصل شد. گرچه توانایی رمزگذاری نمونه- ژن ها ابتدایی بود ولی می توانست زمینه ای را برای تکامل نهایی آنها به ژن های واقعی فراهم کند. برخلاف پیچیدگی محدود نمونه- ژن ها و نمونه- کد های همراه آنها، ژن ها از یک رمز ترکیب شونده پیچیده برای ساختن سوخت و ساز رمزار مطابق فرمان های مشخص تاریخی استفاده می کنند. گرچه نمونه- ژن ها، حداقل در ابتدا، توسط نظم درونی فاقد ژن سیستمی که در کار اسیرکردنش بودند محدود شده بودند، ولی ممکن بود سرانجام توانسته باشند ساختار خود مونتاژ و دینامیک خود سازمانده سوخت و سازهای فاقد رمز را بازنویسی کنند و در بعضی موارد دوباره روی آن بنویسند. علاوه بر این، با جادادن مجموعه های آزمایش و تست شده ژنها درون ژنوم، مجموعه ای از اجزای متقابلاً سازگار می توانست نگهداری شود.

تازمانی که ژنها آنقدر پیچیده و قدرتمند شدند که بتوانند دستورات و طرحهای منحصر به فرد خود را بر سیستم های خود- مونتاژ و خود- سازماندهی دیکته و آنها را مهور کنند، ممکن است پیش- ژنها و نمونه- ژن ها برای بدام اندازی، تنظیم، تله گذاری و دستکاری نظم طبیعی فاقد ژن سوخت و سازهای فاقد برنامه و فاقد رمز فعالیت کرده باشند. این موجودات بدو، به جای این که پیچیدگی تولید کنند، آن را محدود و پالایش می کردند؛ به آن فشار می آوردند و با تزریق مایه تلقیح دیجیتال آنرا تنظیم می کردند؛ ساختار شبکه را مشخص نمی کردند، ولی در عوض ویژگی های اجزانش را تغییر می دادند، درجه آزادی آن را محدود می کردند و نتیجه فرایندهای طبیعی خود سازماندهی آن را تنظیم می کردند؛ مانند انگل از عمارات بزرگ فاقد سازماندهی نمونه های اولیه جاندار آنالوگ بهره برداری می کردند و آنها را فرو می پاشاندند و مسیرهای قابل کاوش در فضاهای حالت خود را محدود می کردند. مثلاً، ممکن است پیش- ژن های دیجیتال فاقد رمز، درست مثل زنجیره های تنظیم کننده فاقد رمز دی.ان.ا ژنوم های کنونی، مانند دستگاههای محاسباتی آنالوگ که اطلاعات را یکپارچه می کنند عمل کرده باشند، و دینامیک شبکه را تحت تاثیر قرار داده باشند. همچنین ممکن است بر روی تاخوردگی و پایداری اجزاء شبکه، یا توانایی آنها برای تشکیل مجتمع های مالتیمر از اولیگومر^{۲۳} تاثیر گذاشته باشند.

ظهور نهایی ژن های واقعی و سوخت و ساز کاملاً رمزدار، حیات را درست وسط فضای نامحدود ریاضیات ترکیب شونده قرار داد. ژنها، با برقرار کردن یک کانال ارتباطی قابل اعتماد بین گذشته و حال و نتیجتاً ظرفیتی برای وراثت نامحدود، تونل زمانی فراهم کردند که اجازه می داد وجوهی از اطلاعات گذشته انتقال یابند و به شکل قابل اطمینانی به اطلاعات آینده پیوند بخورند. اکنون اجزای منفرد دستگاههای بیوشیمیایی می توانستند در تاریخ پردازش شوند و توسط تکامل از طریق انتخاب طبیعی داروینی برنامه ریزی شوند. وجوه اساسی ساختار و دینامیک سیستم می توانست به صورت سمبلیک درون مجموعه هایی از دستورالعمل های مجرد دیجیتال که به طور سیستماتیک از یک مرکز فرماندهی مرکزی ترجمه و اجرا می شدند، ضبط شود.

قبل از ترک کامل باغ وحش فاقد ژن و موجودات بالقوه فاقد ژن درون آن، به طور مختصر این سوال را مورد ملاحظه قرار خواهیم داد که اولین موجودات فاقد ژن حقیقتاً از کجا می توانند سرچشمه گرفته باشند. چون هیچ مدرک تجربی مستقیمی برای اثبات هیچ یک از احتمالات وجود ندارد، منطقی نیست که دقیقاً روی یک فناوری در مقابل فناوری دیگر تمرکز کنیم. اما کاری که می توانیم بکنیم این است که بعضی از کاندیداهایی را که می توانند بنیان مادی مورد قبول برای انواع فرایندهایی که خلاصه کردیم فراهم کرده باشند، مرور کنیم. بعد از ساختن فرضیه، باید عقب بنشینیم و منتظر باشیم که آزمایش های مناسب انجام شود تا نشان دهند که آیا هیچ یک از این فرضیات رگه ای از حقیقت دارند یا نه.

مبنای اتصال درسوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزور، تسریع متقابل است، و نقطه اتصال و نقطه فعال آنزیم می تواند توسط فناوریهای متعدد شیمیایی شامل آر.ان.ا، پپتیدها، پروتئین ها و مولکولهای تک کلافی دی.ان.ا تقلید شود. بنابراین، احتمال این که اولین سوخت و سازها از مخلوط پیچیده ای از فناوریهای متفاوت ساخته شده باشند منطقی به نظر می رسد. اما، احتمالات دیگر این است که، هر سوخت و ساز فقط از یک رده از مواد شیمیایی ساخته شده باشد، یا این که حیات منشائی دوگانه یا چندگانه داشته باشد، که هریک از آنها فناوری متفاوتی را به کار برده باشند. اگر چنین بوده باشد، در این صورت گیاهان و جانوران جهان فاقد ژن ممکن است شامل مخلوطی از نمونه- موجوداتی بوده باشند که بعضی از آنها منحصراً از آر.ان.ا یا از پپتیدها ساخته شده بودند و نمونه-موجودات دیگری که سوخت و سازشان از رده های بسیار متفاوتی از مولکولها ساخته شده بودند، یا در حقیقت از ترکیبی از فناوریهای متفاوت ساخته شده بود.

این نکته ارزش تاکید دارد که اگر اولین سوخت و سازها واقعا از فناوری آر.ان.ا یا دی.ان.ا تک کلافی استفاده می کردند، در این صورت قریب به یقین از این فناوریها به شیوه ای غیر ژنتیک استفاده می کرده اند. یعنی مانند ریبوزیم^{۲۴} یا

^{۲۳} Multimeric و Oligomeric کم. چند پار. (*۵)
^{۲۴} Ribozyme

دی.ان.ایزیم^{۲۰} ها عمل کرده اند نه مانند قالب هایی برای خود- تکثیری، رمزگذاری دیجیتال یا ترجمه اطلاعات ژنتیک. مطابق تعریف خلاصه ای که قبلاً از ژن ها ارائه دادیم، این مولکولهای آر.ان.ا و دی.ان.ا ی تک کلافی، بدون قابلیت رمزگذاری ابتدایی، نمی توانسته اند ژن یا حتی نمونه- ژن نامیده شوند. در عوض، همان طور که قبلاً بیان کردیم منطقی تر است که آنها را پیش-ژن بنامیم. این مسئله تصدیق می کند که ممکن است آنها نیاکان نمونه- ژنها و نیز خود ژن ها باشند، ولی خود آنها در مرحله ای نبوده اند که از فرایندهای نمایش سمبلیک خاص ژن ها استفاده کنند.

هنگام تلاش برای ساختن فرضیه ای منسجم برای تشریح منشأ موجودات زنده، مهم است که بیاد داشته باشیم که درحال بنا کردن قلعه های شنی بر روی مجموعه پاره پاره و غالباً ناقصی از تکه های غیر صریح مدارک تجربی و گمانه زنی های تنوریک هستیم. شاید اصلاً نباید گمانه زنی کنیم. اما، ارزش گمانه زنی های قابل آزمایش در این است که ممکن است زمینه ای برای یک برنامه کار آزمایشی فراهم کند. اکنون درنگ می کنیم تا این استدلال را مرور کنیم و بعد پیش برویم و شرح مختصری برای تعدادی از فرضیه های جایگزین تنظیم کنیم.

به استثناء ویروس های آر.ان.ا، هسته اطلاعات حیات کنونی در ژنها، اجزاء تنظیم کننده ژنتیک و مجموعه های ساخته شده تاریخی ژنها (ژنوم) که از دی.ان.ا ساخته شده اند، به رمز درآمده است. دی.ان.ا ی دوکلافی و اجزاء کمی که برای عمل به مثابه ماده ژنتیک به آنها نیاز دارد، قطعه بسیار پیچیده ای از دستگاه را تشکیل می دهند. نتیجتاً بعید است که دی.ان.ا ی دوکلافی، اولین ماده ژنتیک بوده باشد. این مسئله بیان می کند که اولین موجودات زنده از فناوری ژنتیک ساده تری استفاده می کردند، و نیز این مطلب را بیان می کند که در تاریخ، یک یا چند رویداد چیرگی ژنتیک رخ داده است. از این رو ممکن است در دوره های طولانی، حیات متناوباً از یک فناوری قالبی به فناوری دیگری تغییر جهت داده باشد. اما، سرانجام همه موجودات زنده واقعا به جایی رسیدند که از پایگاه داده دیجیتال دی.ان.ا برای بایگانی اطلاعات اساسی خود استفاده کنند.

ازطرف دیگر، اجزاء اصلی ساختمان موجودات معاصر از پروتئین ساخته شده اند. گرچه ممکن است که فناوری مادی حیات با وجود تغییرات احتمالی در روش نمایش اطلاعات ژنتیک، بدون تغییر ادامه یافته باشد، ولی ممکن است که رویدادهای "چیرگی ژنتیک" با رویدادهای مربوط به چیرگی مادی نیز توأم شده باشند. اگر این مسئله درست باشد در این صورت، معلوم نیست که اولین موجودات از پروتئین ها یا پپتیدها به عنوان اجزاء ساختمانی استفاده کرده باشند. بنابراین احتمال دارد که هم وجوه اطلاعاتی و هم مادی موجودات زنده دستخوش تغییرات فنی شده باشند. هر فرآیند چیرگی ژنتیک، فرض می کند که قبل از آن فناوری پیشین قالبی ابتدایی تری وجود داشته است. این موضوع این سوال را برمی انگیزد که چگونه اولین سیستم های ژنتیک خود- تکثیر قالبی به وجود آمدند. درواقع چگونه اولین برنامه ژنتیک برنامه ریزی شد؟ و چگونه این سیستم های وراثتی قادر بودند که فعل و انفعالات مشارکتی با پروتئین ها و پپتید ها تشکیل دهند و سرانجام به نقطه ای برسند که اطلاعات این مولکولها را به رمز دربیابورند؟

مطالب زیر معقول به نظر می رسند. ممکن نیست که اولین موجود جاندار از ژن استفاده کرده باشد، و احتمال دارد که منشأ حیات مقدم بر شیمی مبتنی بر قالب و رمز گذاری باشد. سوخت و سازهای ابتدایی فاقد رمز اولین موجودات، حقیقتاً ممکن است با خود- تکثیری خود به خود و خود- سازماندهی اجزائی که توانایی خود- تکثیری قالبی نداشتند، تولید شده باشند. شبه موجودات آنالوگ که قادر نبودند پلیمرهای اطلاعاتی را جزء به جزء کپی کنند، احتمالاً ظرفیت بسیار محدودی برای وراثت داشتند. علاوه براین، چون قادر به رمزگذاری دیجیتال اطلاعات اصلی خود نبودند، فاقد سازوکارهایی برای تصحیح خطا هم بودند. از این رو، پیچیدگی آنها و توانایی شان برای پایداری و انتقال اطلاعات خود در طول زمان شدیداً محدود بوده است. باوجود این، این شبه موجودات فرضی ممکن است به روشی ابتدایی و ضعیف، بسیاری از ویژگی هایی را که ما به موجودات زنده ربط می دهیم نمایش داده باشند.

احتمال دارد سوخت و سازهای مجتمعاً خود کاتالیزور اولین موجودات، از پپتید ها، آر.ان.ا، ترکیبی از آر.ان.ا و پپتید ها، یا از فن آوری های شیمیایی دیگر ساخته شده باشد، مانند پیرانوسیل آر.ان.ا (p-RNA) یا پپتید نوکلئیک اسید (PNA) یا پلیمرهای معدنی اطلاعاتی که بسیار با اسید نوکلئیک متفاوتند. اما، تصور می شود که یک نمونه- موجود فرضی فاقد ژن که مثلاً از آر.ان.ا، ساخته شده، اجزاء تنهای آر.ان.ا ی خود را به روشی غیر قالبی تکثیر می کند. مولکولهای آر.ان.ا باید قادر به نوعی واکنش انعقادی خود کاتالیزور غیرقالبی باشند که توسط دیوید لی و رضا قدیری شرح داده شد. بنابراین، یک فرآورده بزرگ آر.ان.ا می تواند با بهم بستن قسمت های کوچکتری که از آنها ترکیب شده است، ساخت خود را تسریع کند.

حال اجازه بدهید که فرضیه ای را که " تقدم پپتید ها " نام می گذاریم بررسی کنیم. این فرضیه اظهار می دارد که اولین نمونه- موجودات از شبکه های مجتمعاً خود کاتالیزور پپتید ساخته شده بودند. اگر این طور باشد، اولین موجودات ابتدایی مبنی بر- پپتید ممکن است سرانجام توسط : (۱) مولکولهای غیر خود تکثیر آر.ان.ا، (۲) مولکولهای آر.ان.ا که خود را توسط واکنش های انعقادی خود کاتالیزور تکثیر می کردند، (۳) مولکولهای خود-کاتالیزور خود- تکثیر آر.ان.ا که از سازو کار تکثیر قالبی استفاده می کردند، آلوده و انگلی شده باشند. ولی آیا مجموعه های تصادفی پپتید ها قادر بوده اند که اجزائی فراهم کنند که پیچیدگی کافی برای تولید یک سوخت و ساز خود- مونتاژ را داشته باشد؟ آیا مولکول های آر.ان.ا ی خود تکثیر مبتنی بر قالب می توانسته اند بدون یک سوخت و ساز از پیش موجود، از نو بوجود آیند، و اگر نمی توانسته اند، چگونه سوخت و سازهای پپتید به تشکیل اولین مولکول آر.ان.ا ی خود تکثیر مبتنی بر قالب کمک کرده اند؟ علاوه بر این، چگونه مشارکت مولکولهای آر.ان.ا می تواند امتیاز برگزیده ای به سوخت و سازهای پپتید اعطا کرده باشد.

جیمز فریس^{۲۶} و لسلای اورگل نشان داده اند که پپتیدهایی با طول حداکثر ۵۵ آمینواسید می توانند به طور غیر بیولوژیک روی سطوح معدنی ترکیب شوند. در پرتو این نتیجه، منطقی است که گمانه بزنیم که در شرایط بهینه تر، باید بتوانیم حتی پپتیدهای طویل تر هم بسازیم. ولی آیا پپتیدهایی به این بزرگی می توانند روی هم تا شوند و نوعی ساختار پایدار که برای تولید فعالیت های کاتالیزور لازمند بسازند؟ آلن دیویدسن و رابرت ساور^{۲۷} نشان داده اند که بسیاری از اوقات، در مجموعه های ترکیبی تصادفی مصنوعی، پپتیدهای تا خورده ای ظاهر می شوند که طولشان هشتاد تا صد آمینواسید است، و عمدتاً از سه آمینواسید متفاوت ساخته شده اند. این تجربه نشان می دهد که چگونه حتی یک الفبای آمینواسید بی نهایت محدود می تواند مخزن عظیمی از ساختارهای تا خورده را بسازد، و نشان می دهد که تعداد قابل توجهی از زنجیره های تصادفی باید به شکل ساختارهای منحصر به فرد تا بخورند. بنابراین، پلی پپتیدهای ساختمانی در میان زنجیره های تصادفی که پیچیدگی کمتری دارند به شدت رایج هستند و نشان می دهند که تا خوردگی سریع زنجیره های پپتید طبیعی نتیجه بهینه سازی تکاملی گسترده نیست، بلکه ویژگی ذاتی و نیرومند خود پپتیدهای آموزش ندیده است. این واقعیت که ساختمان های تا خورده می توانند با استفاده از الفبای موجزی از آمینواسیدها ساخته شوند، نشانگر این است که اصولاً مخازن ساختارهای پپتیدهای تا خورده می تواند به طور غیر بیولوژیک از مجموعه حداقلی از آمینواسیدهای موسس ساخته شده باشد. احتمال دارد که مجموعه های محدود متفاوتی از آمینواسیدها، تا خوردگی ها و ویژگی های فیزیکی- شیمیایی منحصر به فرد خود را تولید کنند. برای مثال، پپتیدهایی که بیشتر از ترکیبات تصادفی آمینواسیدهای گلوتامین، لیوسین و آرگنین ساخته می شوند، استثنائاً در حرارت های بالا پایدار هستند. علاوه بر آن، مری استراترز و باربارا ایمپرالی^{۲۸} نشان داده اند که پپتیدهای کمتر از ۳۰ آمینو اسید قادرند که در ساختارهای مجزا تا بخورند. کشف فعالیت لیگاز پپتید در پپتیدی که طولش فقط سی و سه آمینو اسید است توسط کی سورین^{۲۹} و رضا قدیری، نشان می دهد که این مجموعه ها که به طریق غیر بیولوژیک تولید شده اند ممکن است مخزن کافی از فعالیت های کاتالیزور جهت تولید مجموعه مجتمعاً خود کاتالیزور را فراهم آورده باشند.

James Ferris^{۲۶}Robert Sauer و Alan Davidson^{۲۷}Mary Struthers and Barbara Imperiali^{۲۸}Kay Severine^{۲۹}

قبلاً اظهار کرده ایم که آلودگی سوخت و ساز پپتیدهای خود- مونتاژ از پیش موجود، توسط مولکولهای آر.ان.ای که به طور غیربیولوژیک ساخته شده بودند و در آن مرحله نمی توانستند خود تکثیری قالبی داشته باشند، احتمالاً اولین گام به سوی خود تکثیری قالبی بوده است. این پیش-ژن های آر.ان.ا، گرچه در آغاز، اطلاعات سمبولیک را درون زنجیره های دیجیتال خود به رمز در نمی آوردند، ولی احتمالاً قادر بوده اند فشار بیاورند و دینامیک های خود سازمانده خود به خود مربوط به نمونه- موجودات فاقد ژن مبتنی- بر-پپتید را متوقف کنند. همچنین شاید توانسته باشند ویژگی های اجزاء شبکه را، مثلاً با محافظت از تاخوردگی های آنها، افزایش ثبات آنها، یا تنظیم فعالیت های آنها، اصلاح کنند. کشف ریبوزیمی که قادر به تسریع شکل گیری اتصالات پپتید می باشد، توسط بیلینگ ژانگ^{۳۰} و توماس کچ نشان می دهد که مولکول های آر.ان.ا ممکن است به ساخت مجدد پپتیدها از مونومرهای پیشین کمک کرده باشند. اما، ممکن است بعضی مواقع، مولکولهای آر.ان.ا به سادگی فعالیت های کاتالیزوری را به وجود آورده باشند که قبلاً درون شبکه پپتید حضور نداشتند و به این ترتیب بعضی از حفره های درون مخزن کاتالیزورها را پر کرده باشند. مجموعه پپتیدی که اندازه و پیچیدگی آمینواسیدهایش محدود باشد، می تواند از این طریق مخزن تاخوردگی ها و فعالیت های کاتالیزور آنها را که برای دستگاه آنالوگ قابل دسترسی است، تکمیل کند. می دانیم که مولکولهای آر.ان.ا را می توان به طریق غیر بیولوژیک، مانند پپتیدها، تا طول ۵۵ ریبونوکلوئید روی سطوح معدنی ترکیب کرد. ولی این مطلب فرض را بر این می گذارد که مونومرهای نوکلئوتید خودشان در آبگوشت پیش زیستی حضور داشته اند.

اما، از همه مهم تر این که، موجودات پپتیدی که آلودگی دیجیتال یافته بودند ممکن بود محیط پایداری برای تکامل خود- تکثیری قالبی و رمزگذاری فراهم کرده باشند. بنابراین ممکن است بستره نمونه- ژن ها و شاید نهایتاً خود ژن ها را تشکیل داده باشند. این نمونه- موجودات که از نظر اطلاعاتی پیچیده تر بودند، با سوخت و ساز کاملاً دیجیتال و تکثیر قالبی و کد ژنتیک ابتدایی، نهایتاً توانستند از برنامه های ژنتیک قدرتمند و مطلع تاریخی خود برای دوباره نویسی رفتار دینامیک ساده سیستم های شیمیایی خود- سازمانده استفاده کنند و دستگاه پیچیده ای به وجود آورند که قادر به تصحیح خطا باشد و ظرفیت وراثت نامحدود حیات معاصر را داشته باشد. سپس، این امکان به وجود آمد که اجزاء منفرد سوخت و سازها و منطقی که رفتار آنها را کنترل می کرد، به جای استفاده از اجزاء خامی که فاقد تجربه تاریخی بودند، در روند انتخاب طبیعی مداوما بهینه شوند و سرانجام در داخل اولین ژنوم سرهم شود. اگر این اتفاق افتاده باشد، در این صورت نقشه ابتدایی موجودات زنده و مقدمات وراثت لازم برای فرایندهای حیات، بدون وساطت ژن ها برقرار شده است. وراثت این حیات، گرچه ناقص و ابتدایی بود، ولی به هر حال وراثت بود. اما، مولکولهای آر.ان.ای که اولین موجودات بدون ژن را انگلی کردند، برای نمونه های اولیه حیات، معبری به درون پهن دشت های بی انتهای دیجیتال "فضای زنجیره های آر.ان.ا" و پس از آن به "فضای زنجیره های دی.ان.ا" و پیچیدگی و وراثت نامحدودی که آنها عرضه می کرد، فراهم کردند.

بعید است که اولین مولکولهای آر.ان.ای که در نمونه موجودات جای گرفتند، قادر بوده باشند خود را به شکل مکمل و یا خود- مکمل و به شکل قالبی تکثیر کنند. در حقیقت، همه شواهد آزمایشگاهی تا امروز نشان می دهد که تکمیل یک چرخه کامل تکثیر و شروع چرخه بعدی به صورت نامحدود، به گروهی از فعالیت های کاتالیزور سازمان یافته و بنابراین به حضور سوخت و سازهای از قبل موجود نیاز دارد. همان طور که مانفرد آیگن و پیتر شوستر اظهار کرده اند، هر فرضیه ای که شیمی ماقبل شیمی قالبی را از احتمال حیات ابتدایی محروم کند و منحصرأ بر مبنای جفت شدگی مولکولهای آر.ان.ای خود- تکثیر قالبی قرار گرفته باشد، سرانجام باید در مورد این که اولین بار چگونه مولکولهای آر.ان.ای خود- تکثیر قالبی به وجود آمدند، توضیحاتی را ارائه دهد. بنابراین گرچه جفت شدگی فوق چرخه ای مولکولهای آر.ان.ا ممکن است در تولید ساختمان های پیچیده اطلاعاتی در مراحل بعدی آغاز حیات مهم بوده باشد، ولی این ساختمان ها به دلیل پیچیدگی ظاهری شان بعید است که درست از همان آغاز حیات مهم بوده باشند. علاوه بر این مشخص شده است که فوق چرخه ها در معرض محدودیت ها و

بلاهای گوناگونی هستند، مانند اتصال کوتاه، فروپاشی و حساسیت به زنجیره های انگلی آر.ان.ا، که ممکن است تکثیر سایر مولکولهای فوق چرخه را جلو بیاورد.

سناریوی دیگری نیز به همان اندازه مورد قبول است که "تقدم آر.ان.ا" نام دارد و بیان می کند که نمونه های اولیه موجودات از شبکه های مجتمعاً خود کاتالیزور آر.ان.ا ساخته شدند که در آن هیچ مولکول تنهای آر.ان.ا قادر نبود خود را به شکل قالبی تکثیر کند. تصور می شود که سوخت و سازهای آر.ان.ا توسط اجزاء پپتید خود- تکثیر خود-کاتالیزور آلوده شده باشند. ممکن است برخی از این اجزاء پپتید مانند محافظین آر.ان.ا عمل کرده و به تاخوردن مولکولهای آر.ان.ا کمک کرده باشند، و به این ترتیب به آنها اجازه داده باشند که ساختمان ثانوی و ثالث خود را به وجود آورند. درغیاب پروتئین ها، هم مولکولهای ساده و هم پیچیده آر.ان.ا غالباً بد تami خورند یا این که اصلاً تا نمی خورند. همچنین امکان دارد که مولکولهای پپتید، با فراهم کردن فعالیت های کاتالیزوری که در مخزن ریبوزیم های کاتالیزور حضور نداشتند، ولی برای برقراری یک چرخه کامل تکثیر لازم بودند، به تکامل فرآیند خود-تکثیری قالبی کمک کرده باشند. آنها همچنین ممکن است با پایدار کردن اشکال تک کلافی مولکولهای آر.ان.ا و بنابراین کمک به کلاف مکمل یا خود-مکمل جدیداً ساخته شده، برای جدا شدن از قالب خود، به مکانیک چرخه تکثیر مساعدت کرده باشند. همچنین شرایطی را می توان تصور کرد که در آن، شبه-موجودی که کاملاً از آر.ان.ا ساخته شده، قادر باشد با موجود دیگری که منحصر از پپتیدها ساخته شده است درآمیزد. درپی چنین رویدادی، دو موجود اصولاً مجزا می توانند از نظر همزیستی درهم تابیده باقی مانده باشند.

اینک توصیف خود از منشأ حیات و وراثت را کامل کرده ایم. و زمانی که فراموشی آنالوگ دنیای فاقد ژن را ترک می کنیم، یعنی دنیایی از شبه- موجودات و شیمی ماقبل- قالب، که به سختی لیاقت تاریخچه و وراثت را داشت، برای لحظه ای درنگ می کنیم، تا پوچی و بیهودگی ظاهری این چرخه های مکرر آفرینش و انهدام را تماشا کنیم؛ یعنی نظاره حیاتی که از اصلی ترین دستگاه خود محروم است، و نمی تواند توسط پیشینه اش هدایت شود و به راحتی توسط زمان حال نقش می خورد. جهانی که در آن، چرخ دنده های تکامل به سختی قادر بودند چرخهای وجود را به گردش در آورند، و اطلاعات در آن مانند بارانی که به زمین فرو می رود، ناپدید می شدند. ولی درعین حال دنیایی آماده برای این که با انفجار و نوزایی اطلاعاتی شکافته شود. دنیایی که توسط اشباح گذشته کهن ما اشغال شده بود؛ یعنی نیاکان احتمالی بی شکلی که مدتهاست فراموش کرده ایم. زمانی که قائم روی این خاک سفت می ایستیم، فریادهای آنها بلند تر و منسجم تر به گوش می رسد. ببر بی قرار در قفسه گام برمی دارد، و زرافه های غیر ممکن با نوارهای پهن سیاه و موهای کرک شده براق، به آرامی در دشت های این آتلانتیس^{۳۱} جدید می چرند، درحالی که جیغ میمون ها، پرندگان و هواپیماها، فضای سابقا خاموش را پر می کنند.

^{۳۱} جزیره ای که می گویند سابقاً در مغرب جبل الطارق وجود داشته و در اثر زلزله بدربیا فرورفته است.

توضیحات فصل دوازدهم

۱- غاز کانادایی Canada goose

غازی است با پشت قهوه ای رنگ و سینه ای کمرنگ با سر و گردنی سیاه و گونه های سفید. زیر گونه های آن در اندازه متفاوتند یعنی بین ۱,۴ کیلو تا ۸ کیلو که مربوط می شود به غاز کانادایی غول پیکر که عرض بالایش تا ۲ متر می رسد.

۲- آپتامر Aptamer

آپتامر ها مولکول های اولیگو نوکلئیک اسید یا پپتید هستند که به مولکول هدف ویژه ای متصل می شوند. آنها معمولاً ساخته می شوند با انتخاب از مخزن تصادفی از زنجیره های بزرگ، ولی آپتامر های طبیعی همچنین در ریبوسویچ ها یافت می شوند. آپتامر ها می توانند هم برای تحقیقات اولیه مورد استفاده قرار گیرند و هم برای اهداف کلینیکی مانند داروهای ماکرو مولکولی. آپتامر ها می توانند با ریبوزیم ترکیب شوند تا سلول خود را در حضور مولکول هدف بشکافند. این مولکول های ترکیبی کاربردهای تحقیقاتی، صنعتی و کلینیکی دیگر نیز دارند.

۳- ارتقاء دهنده Promoter

در شیمی به معنای ماده ای است که به یک کاتالیزور جامد افزوده می شود تا کارایی آن را در یک واکنش شیمیایی بهبود بخشد. این ماده به خودی خود هیچ اثر کاتالیزوری ندارد. بعضی از ارتقاء دهنده ها با اجزاء فعال کاتالیزورها برهم کنش می کنند و به این ترتیب تأثیرات شیمیایی آنها را بر روی ماده کاتالیز شده اصلاح می کنند.

۴- سازواری - سازواری Fitness

در بحث انتخاب طبیعی، مفهوم سازواری از اهمیت ویژه ای برخوردار است. همانگونه که در عبارت معروف «بقای اصلح» ذکر شده، افرادی که آمادگی و سازواری بیشتری دارند بالقوه توان بالاتری برای ادامه حیات خواهند داشت. با این حال همانند تعریف انتخاب طبیعی، سازواری می تواند تفاوت برداشت وسیعی داشته باشد به طوری که ریچارد داوکینز در کتاب های اخیر خود از بکار بردن این واژه به کلی پرهیز کرده است. (او در کتاب فنوتیپ گسترش یافته، فصلی را به بحث پیرامون مواردی که این واژه برای تشریح آن موارد بکار رفته اختصاص داده است). در نظریه مدرن تکامل، سازواری بر اساس طول حیات موجود زنده تعریف نمی شود بلکه با توفیق آن ارگانیسم در تولید مثل سنجیده

می‌گردد. اگر ارگانیزمی به مدت نیمی از عمر دیگر اعضای گونه خود زندگی کند ولی در همان زمان دوبرابر دیگران فرزندی که توان رسیدن به بزرگسالی را داشته باشند تولید کند، ژن‌های وی در جمعیت بالغ نسل بعدی شایع‌تر خواهند شد. اگر چه انتخاب طبیعی روی افراد اثر می‌کند، نقش شانس سبب می‌شود که سازواری تأثیری بصورت میانگین روی افراد جمعیت داشته باشد. سازواری یک ژنوتیپ، مربوط به میانگین اثری است که آن ژنوتیپ روی کلیه افرادی که آن ژنوتیپ را دارند می‌گذارد. ژنوتیپی که سازواری بسیار پایینی دارد سبب می‌شود که افرادی که حامل آن صفت هستند تعداد فرزندان کمتری داشته باشند یا به طور کلی فاقد فرزند باشند. مثال آن اختلالات ژنتیکی در انسان همچون فیبروز سیستیک است. از آن روی که سازواری یک صفت، اثری میانگین است، ممکن است که یک جهش (موتاسیون) مفید در یک فرد، در صورتی که آن ارگانیزم به هر دلیل دیگری به بزرگسالی نرسد، از بین برود. سازواری همچنین بستگی شدیدی به محیط زندگی دارد. کم خونی داسی شکل ممکن است در جمعیت انسانی در حالت عادی یک ناسازواری محسوب شود ولی چون صفت داسی شکل، تا حدی شخص را در مقابل ابتلا به مالاریا مصون می‌کند، در جمعیت‌های انسانی با آلودگی بالای مالاریا، این صفت یک سازواری محسوب می‌گردد.

۵- اولیگومر

اولیگومر، چندپار، پلیمری است که تعداد منومرهای آن در یک زنجیر کم باشد و بنابراین وزن مولکولی کمی دارد. به عبارت دقیق تر به ترکیباتی اولیگومر گفته می‌شود که جرم مولکولی آنها بیش از ۵۰۰ و کمتر از ۵۰۰۰ باشد.

آینده حیات

اینک باز هم فریادها بلند ترمی شوند و زندانی های کج و معوج ریاضی در جستجوی رستگاری هستند. و تو برای من مانند ایلعادر^۱ هستی. ما در این صحرا رها شدیم تا با سرابی فریفته شویم. و مسحور این صدا شده ایم، صدایی محزون و سنگین چون ناقوس. اما ملوانان پرتغالی با دیدن فلز زشت بی ارزش در دستان ما به ما می خندند. شاید بتوان گفت این هم نوع عجیبی از عدالت است. و من به خاطر می آورم که که در حال تماشای ضربات چکش بر روی تارهای مرتعش، زیر پیاثو به آرامی دراز کشیده بودم. چنگی که از در رد نمی شد و بعد به خواب رفتن روی کاناپه.

گستره بال تو را حدود ۵ تا ۷ پا برآورد می کنم. اما اعتراف می کنم که فقط دارم حدس می زنم. بالهای تو که مثل تکه ای کرباس کشیده شده شبیه طوطی یا پنگونن است. اگر فقط یک لحظه وقت می گذاشتیم تشخیص می دادیم که موضوع اصلی همین بوده. نخل های بی انتها که بر سر زناتی که انبه می آوردند سایه می انداختند. نخل لرزان کاملاً نسبت به فقدان ما بی تفاوت است. و درخت تیموتی همیشه صبور، تو الان کجایی؟ آیا پل هرگز ساخته شد؟ و از دختر کرجی بان چه خبر؟ از دهبایان بالاخره ظاهر شدند، ولی بسیار دیر بود. ما در جزیره زندانی شده بودیم.

عصاره دودمان های از هم گسیخته مانند کلماتی به نظر می رسند که نمی توان به زبان آورد. شاید ما جایی برای این منطق عجیب نداشته باشیم. و چقدر مطمئن بودیم که چیزها هیچوقت تغییر نخواهند کرد. گل استکانی های داخل بیشه، نگاه زودگذر آهو. ولی ما هرگز به اندازه حشرات یا مانند یک لولای کوچک ناچیز نخواهیم شد. یادت باشد که میوه های بزرگ نباید روی شاخه های نازک درختان بلند رشد کنند. این طور که می گویند تو آرام و باعظمت بودی و سیه چرده. رنگت ممکن است خاکستری بوده باشد و درمقابل دشمنیت، یعنی خوک وحشی، کاملاً بدون دفاع بوده باشی. روستایی های غیر بومی ناباورانه نگاه می کردند و شادمان بودند. چون سفر طولانی بود و آنها نیاز زیادی به خوراکی داشتند. پلیکان های بد ترکیب با منقارهای نارنجی شان دنبال ماهی نقره ای می گردند، که متقاعد شده اند گهگاهی می تواند پرواز کند. و ما دست در دست قدم می زنیم، اقیانوس و دریایی که نمک می افشانند، همراه با خاطره راه رفتن پابرهنه روی سنگهای داغ و تافته سنگفرش، ردیف لامپ های رنگی، بستنی چوبی و بادام زمینی های پوست کنده کنار ساحل. عنتر آفریقایی^۲ که از مقابل لنز دوربین فرار کرد و بوی آفتاب روی صندلی های ماشین. بازی با حیوانات پلاستیکی که یک جوری پشت نرده های سبز نگهداشته شده اند و میلک شیک های وانیلی که با نی های کاغذی سفید و قرمز می نوشیدیم.

ماشین مسابقه قرمز براق و درخشان است. و اکنون ما با راههای پارک روستایی مصادف می شویم. کروکی ماشین را پایین کشیده ایم و به طور طبیعی به زمین متصلیم. هرتکانی، حتی حرکت اسب های کنار بزرگراه، تشدید می شود. و ما زیر طاق ها مشغول گفتگو هستیم. من هنوز گفتگویمان در مورد قفس ها را به یاد دارم. و صندوقچه، هنوز در حالی که محموله مختلطش را به صدای نی صوفی بیرون می ریزد، دارد خالی می شود. شَمَن^۳ ها به خواسته خود رسیده اند و خلا، یعنی جایی

^۱ Lazarus مردی بود که عیسی مسیح زنده کرد، گدای مریضی که در یکی از تمثیل های عهد جدید از او نام برده شده.

^۲ Cape baboon. (*۱).

^۳ جادوگر قبیله Shaman

که تصور می کردیم همه چیز در آن باشد، مانند چرخ کاترین^۴ در تاریکی می چرخد. تند تر و تند تر می رویم. تابلوهای راهنما مدت هاست که ناپدید شده اند. باز هم تند تر، و وقتی که به عقب نگاه می کنیم فضای ژن را جایی دورتر در فاصله زیاد می بینیم. و عروسک های چرخان و فنرهای غول آسا مانند سکه های طلای شسته دزدان دریایی، روی ساحل، برای جلب توجه ما با یکدیگر رقابت می کنند. نور خورشید می درخشد و طولی نمی کشد که خود را در چشم اندازی جدید و نا آشنا می یابیم. برفراز جاده یخ زده ای که از میان روستاهای آلپ به طور هراس انگیزی مارپیچ وار دور می زند، کوه های بلورین به آسمان سرکشیده اند. و طرحهای پرپیچ و شکنی سفر ما را به تونل های بی انتهایی که هیچوقت نمی توانیم از آنها فرار کنیم هدایت می کنند. می دانید که، خاطرات ما از معادن طلا زیاد دور نیستند. این خاطرات مانند ضربه تبری که به صورت وارد آید، در هر لحظه لمسمان می کنند. ولی من هنوز مشغول بازی در حوضچه های سنگی هستم. و در رویایم می بینم که مردم دهکده را ترک می کنند. و ردهای رنگی خود را با کتان عوض می کنند. و زبان های گم شده آرام به آهنگ سست نیاکان خود می رقصند و درون تیرگی محو می شوند.

پیش به سوی دریای مغاک ها. موجودات دارند بی قرار می شوند. و ما دیگر بار زمانی طولانی سقوط می کنیم. این بار مقصد ما مکانی است آنقدر ترسناک، که حضور ما مطلقاً در اینجا منع شده است. جایی که باید در سکوت از اطلاعات چشم پوشی کرد. مکانی عاری از قهرمانان. در این نقشه جهان نما کشورها را تشخیص نمی دهیم، برای این که این قاره ها هیچ کرانی ندارند. خداحافظی های مان را کرده ایم، و مانند کاشفین قرن هجده که به خطه های جدید و ناشناخته برخورد می کردند، با دلهره به این مکان تاریک نزدیک می شویم. تیغه سکان ما خط زیبایی در این دریای ممنوع می اندازد. و حتی زمانی که شهرهای سنگی را ترک می کنیم، چشم های مطلقاً بسته ما قادر نیستند که منظره جانور عجیب را از ذهن بیرون کند. چون این فلک پر از چیزهای ناشناخته است. در حقیقت، ما نمی توانیم آنها را لمس کنیم. ولی به هر حال به سوی آن پیش می رویم، یعنی افق دنیای جدید شما.

اکنون وارد دریای اسرار شده ایم و آگاهیم که نژاد ما توسط چیزی بسیار توانمند تراز جاذبه کشیده می شود. ماده به خودی خود، فضا را دچار انحنای می کند، که به نظر می رسد این انحنا تا بی نهایت گسترش می یابد. به آرامی روی این سطح فرود می آییم و می فهمیم که چسبنده است و بویی از خود ساطع می کند که یاد آور شیرین بیان است. کنجکاو می ماند به حدی است که وادارمان می کند این سطح را با پای پیاده ببیماییم. و زمانی که ابعادمان تغییر می کند، و می فهمیم که بر روی آرواره حشره در حال حرکت بوده ایم، دهشت واقعی به ما یورش می آورد. ولی این زیبای خفته هرگز نباید از خواب بیدار شود. چون به داستان پری ها تعلق دارد که نمی تواند نوشته شود و هیچوقت هم تحقق نخواهد یافت. درواقع ما تولد تو را به چالش می طلبیم. تونل هایی که در عمق زمین فرو می روند، اکنون برداشتی کلی از سایر موجودات ارائه می دهند. و مانند بازدید کنندگان برج، زنی را با ۷ بازو، و نیز کویسمچرونچئون^۵ را مشاهده می کنیم. با انزجار سرم را بر می گردانم، کاش اینجا نمی بودم. فاکایاگ و پومپریون^۶ زیبا و با وقار. ولی ما نمی توانیم به تو کمک کنیم. تو باید در زندان خودت باقی بمانی. و چیزهای دیگری هم هستند، خیلی چیزها. به سختی فضایی برای جای دادن آنها وجود دارد.

عروسک ها زنده هستند و اکنون دارند جعبه هایشان را ترک می کنند. پلنگ بدون خال و کرگدن ۵ شاخ. ما دست دردست یکدیگر راه می رویم. هنگام سقوط جانورها از آسمانهای متلاطم، قفس ها را باز می کنیم. اردک وحشی بالهای پنبه ای اش را به هم می زند و تقریباً به طور نامحسوسی معلق می ماند. و پانچ و جودی^۷ بی نتیجه با علی ورجه، که ظاهراً از این که به بازیش نگرفته اند کاملاً عصبانی است، در هم می آمیزند. و همین طور که سوسک ها روی دامنه تپه صف بسته و قوانین

^۴ چرخ فلک - نوعی چرخ شکنجه در قرون وسطی

^۵ Quismachrunchion

^۶ Fagayag and pomerion

^۷ Punch and Judy دو شخصیت از قصه های جن و پری، آقای پانچ و زنش جودی

نبردِ مرگبارِ خود را تعریف و سپس دوره می کنند، بیرق هایشان را به اهتزاز در می آورند. صف آراییی سوسک های دیوانه برای کژدمی که از قید جسم آزاد است، مهم نیست^۸. در حقیقت شکلی شبیه این را سراغ نداریم.

و تو همه این ها را با آغوش باز پذیرا می شوی. کاوبوی به سرخپوست سلام می کند. ما با هم، سوار بر زین فردا، اتر را می بوسیم. ولی ما جایی برای این نیرنگ جادویی، برای این حیل ها و تردستی ها نداریم. من هیچ علاقه ای ندارم که به درون میکروسکوپ تو بیافتم. تو می توانی قطعات دستگاه های بیگانه خود را نگاه داری. و من احساس می کنم که تو داری ما را با آهنرباهایی پنهان به مکانی می کشی که ما همه خوب می شناسیم ولی هرگز نخواهیم دید. و اکنون تو اعضای بدن من هستی، وزماتی که باز می گردیم، صدا های اطرافمان غریب و نامفهوم است. ولی من می ترسم که نتوانم این زبان را تشخیص دهم. و زماتی که بالهای غول آسا تهدید آمیز به هم می خورند، آسمان می غرد. صیادی که " آینده " نام دارد.

وراثت نامحدود موتوری است که فرایندهای طبیعی حیات را قادر به کاوش شبکه های پیچیده به هم پیوسته و چند بعدی ریاضی ای می سازد که طرحهای حیات را آشکار می کنند. نیروهای هدایت کننده عبارتند از تکامل از طریق انتخاب طبیعی، رویدادهای تاریخی و محدودیت های عمیقاً ریشه داری که مرزهای احتمالات را معین می کنند. هریک از فضاها و ویژگی، محدودیت و نقشه اتصالات داخلی خاص خود را دارد. وراثت اولیه محدود دنیای فاقد ژن، مانند شنل شعبده بازی بود که کلید گشودن دروازه این سطوح ریاضی لایتناهی را تحویل داد. هر فضای مجزا، آبستن کرم چاله هایی است که به فضاهای متعدد ریاضی دیگر منتهی می شوند و آنها را به هم پیوند می زنند. این تونل های نامرئی ریاضی، به موجودات زنده اجازه می دهد قلمروهای جدیدی از احتمالات را کاوش کنند و راههای جدیدی را برای احتراز از موانعی که دنیای مادی بی وقفه در مقابل زندگی اختراع می کند، جستجو کنند.

تاریخ حاکی از این است که همه اشکال شناخته شده حیات سطح حداقلی از پیچیدگی را دارند، و گرچه هیچ محرک درونی برای انجام این کار وجود ندارد، ولی بعضی از دودمان ها میل دارند که پیچیدگی خود را از حداقل نیازهای ضروری برای وراثت نامحدود فراتر ببرند. از طرف دیگر، بعضی از مخلوقات، مانند باکتری، سطح نسبتاً ثابتی از پیچیدگی را برای بیش از سه میلیارد سال حفظ کرده اند. اما، نباید فقدان پیچیدگی ریختی را با پیچیدگی اطلاعاتی اجزاء برنامه ریزی شده تاریخی رمزدار و مجزا و عناصر محاسباتی تنظیم کننده فاقد رمز ژنوم این موجودات، اشتباه بگیریم. درحالی که بعضی از موجودات زنده، بدون افزودن پیچیدگی اولیه آناتومیک خود پایدار مانده اند، چرا بقیه موجودات پیچیدگی اطلاعاتی خود را به نحوی چشمگیر افزوده اند ؟

مشخصه زندگی عدم قطعیت است. زندگی یعنی توانایی پیش بینی و عقلانی کردن آرزوهای آینده نامعلومی که به موجودات زنده اجازه می دهد ساختارهای اطلاعاتی خود را در طول نسل های متوالی تداوم بخشند. از این منظر، موجودات زنده دستگاه هایی هستند برای نمایش اطلاعات محیطی که در آن عمل می کنند. درحقیقت آنها نوعی ماشین زمان ناقص هستند که گرچه از بازسازی و بازدید رویدادهای خاص ناتوانند، ولی با این حال می توانند به عمق گذشته بروند و بعضی از چهره های آن را بازایابی کنند.

ممکن است چنین به نظر برسد که هر زیستگاه خاص به مناطقی تقسیم شده که باندهای فرکانس متفاوتی برای جریان اطلاعات دارند. در باندهای فرکانس پایین، ظواهر محیط آهسته تغییر می کنند و اطلاعاتی که در واحد زمان در فضا جریان می یابد، قابل چشم پوشی است. اما، در باندهای با فرکانس بالا، جریان اطلاعات هم پیچیده تر است و هم غیرعادی. آمدن و رفتن عصر یخبندان مثالی از تغییر فرکانس بی نهایت کوچک است. باند فرکانس کم تا متوسط، می تواند شامل تغییرات فصلی و توانایی پاسخ به آنها باشد : نمونه آن، مهاجرت پرندگان و خواب زمستانی خاریشت هاست. از طرف دیگر، باند فرکانس بالاتر ممکن است مواردی مانند نوسان در قابلیت دسترسی به مواد غذایی، مواد سمی محیطی و انگل ها، دماهای افراطی، و PH و چرخه روز/شب را در برگیرد. فرکانس باز هم بالاتری ممکن است توانایی جلوگیری از افتادن سیب از درخت باشد، یا گرفتن

^۸ داستانی از کتابی دنباله دار از مارک شلدون به نام Gottlehring Goblet

پشه (اگر قورباغه باشید)، فرار از آواره های یک شیر گرسنه (اگر گوزن باشید)، معلق ماندن در هوا در شب (اگر یک خفاش باشید)، یا امتحان آشنایی با خیابان های لندن باشد (اگر یک راننده تاکسی باشید).

جریان اطلاعات درون هر محیط خاص توسط موجودات ساکن در آن و عوامل فیزیکی- شیمیایی به وجود می آید. هر چه موجودی پیچیده تر باشد، فرکانس جریان تولید اطلاعات در آن بیشتر است. چالشِ رو در روی موجودات زنده این است که از فرصت های جدیدی که در محیط های کاوش نشده یا باندهای فرکانس متفاوت درون همان ریزمحیط ظاهر می شوند بهره برداری کنند، و تغییرات ذاتی باند فرکانسی را که اشغال کرده اند دنبال کنند، یعنی تغییراتی که مستقیماً بر قابلیت بقا آنها تأثیر می گذارد. این موضوع نیز به نوبه خود مستلزم تولید مجموعه ای تودرتو و سلسه مراتبی از روش های کسب اطلاعات، نمایش و تداوم آنهاست که هر یک از آنها به تغییراتی که در سطح مناسب رخ می دهد حساس هستند و خود را با آن تنظیم می کنند.

اصل وراثت به موجودات زنده اجازه می دهد که با ساختن پایگاه داده ای از اطلاعات تاریخی به دست آمده، از تجربه اجدادشان سود ببرند. آنها می توانند بعداً از این پایگاه داده برای ساخت دستگاه های محاسباتی بیولوژیک استفاده کنند که این دستگاه ها می توانند پیشدستی کنند و پاسخ های مناسبی برای انواع تغییراتی که احتمال دارد درون فضای زندگی یا "طاقچه اطلاعاتی" مسکونی آنها رخ بدهد، را فراهم کنند. این اصل همچنین تبارهایی از مخلوقات را قادر می سازد که تغییرات جدیدی را که با آن مواجه می شوند به رمز در آورند، و جنبه هایی از این اطلاعات را برای روزآمد کردن تصویر خود از دنیای خارج به کار برند. به این طریق، موجودات زنده وجوهی از محیط را که به بقا دامن آنها مربوط است منعکس می کنند. بنابراین اصولاً باید بتوان جنبه هایی از محیطی را که موجود زنده با آزمایش ساختارهای اطلاعاتی آن، در آن تکامل یافته است، استنتاج کرد. اگر بین نمونه های متفاوت موجودات زنده، برسر فضا و منابع محدود رقابت وجود داشته باشد، آنهایی که نمادسازی ژنتیک شان اجازه ساختن تصویر دقیق تری از جهان خارج می دهد، بیشتر از آنهایی که تصویر ناشیانه تری دارند احتمال دارد که زنده بمانند.

دردنیای منظم و خود کار و عاری از تغییرات، موجودات زنده فقط با نمایش ابتدایی بافت علی محیط خود قادر به ادامه بقا خواهند بود. علاوه بر این، نیاز به سازوکاری برای به روز درآوردن تصویر خود از دنیای خارج نخواهند داشت، چون جریان اطلاعاتی وجود نخواهد داشت که بخواهند آن را ردیابی کنند. ولی دردنیای واقعی، چشم انداز محیطی که مخلوقات در آن ساکنند، در اثر جریان اطلاعاتی که سطح آنها را تراش می دهد، به طور ثابت در حال پیچش، کشش و خمش است. هرچه جریان اطلاعاتی که در معرض آن قرار می گیرند بیشتر باشد، تغییر شکل چشم انداز شدیدتر می شود و ادامه زندگی در آن دشوارتر می شود. اما تصویر مناسب، به موجود زنده اجازه می دهد طبیعت کلی این تغییر شکل ها را پیش بینی کند، و تغییرات بایسته را دنبال کند و به طور مناسبی به آن پاسخ دهد.

می توان فرض کرد که باندهای فرکانس متفاوت جریان اطلاعات، طاقچه های محیط را به زیرطاقچه های متعددی تقسیم می کنند. گونه های متفاوت، با اشغال باندهای فرکانس متفاوت که از نظر فضایی برهم پوشانی دارند، قادرند بدون این که مجبور باشند مستقیماً با یکدیگر برسر فضا و منابع قابل دسترسی رقابت کنند، محیط عمومی یکسانی را اشغال کنند. این موقعیت تقریباً شبیه روشی است که کنترل کننده های ترافیک هوایی، با اختصاص مسیرهای پرواز در ارتفاع های متفاوت به هواپیماهای متفاوت، به آنها اجازه می دهند که همزمان روی ناحیه مشترکی از فضا پرواز کنند، بدون این که برخوردی صورت گیرد. درحالی که هواپیماهایی با فناوری پایین با موفقیت در ارتفاع پایین پرواز می کنند، به طرحهای مهندسی هوانوردی و سازوکارهای پیچیده تری برای به کار انداختن دستگاهها در ارتفاعات بالاتر نیاز است. اولین موجود فاقد ژن، که ظرفیت بی نهایت محدودی برای وراثت داشته، طاقچه هایی را اشغال کرده است که حداقل اطلاعات در آنها جریان داشته. هر رویداد تصادفی که به فرد اجازه می داد تصویرش را پیچیده تر کند، باید ظرفیت آن را برای کاوش محیط هایی که از نظر اطلاعاتی پیچیده تر

بودند، می افزود. اما زندگی فقط با تکامل نمادسازی دیجیتال ژنتیک و وراثت نامحدود آن، می توانست تا ابد در مقابل جریان مداوم و غیر یکنواخت اطلاعات ادامه پیدا کند.

ممکن است فکر کنیم که طاقچه ها از پایین به بالا توسط طاقچه های دیگری پر شده اند و فرکانس های کم، پایین ترین جا را اشغال کرده اند. وقتی که همه فضای قابل دسترسی درون شیارهای مربوط به فرکانس پایین با اجداد ساده موجودات تک سلولی معاصر پر شده باشد، هر تغییری که منجر به ساخت دستگاه نمایش دهنده ای بشود که قادر به ردیابی فرکانس های بالاتر و یا تغییرات کیفی متفاوت باشد، به موجوداتی که جهش می یابند امتیاز رقابت خواهد بخشید. جهش یابنده ها، به جای این که خود را به کاوش طاقچه های شلوغ فرکانس های پایین و حیات زنده در خط کم سرعت محدود کنند، می توانند از منابع جدید و فرصت های استفاده نشده ای که در سراسر دشت های خالی طاقچه های فرکانس های بالا پراکنده اند بهره برداری کنند. پیچیدگی حداقلی که برای پایداری موجودات تک سلولی مانند باکتری لازم است، ممکن است با پیچیدگی عمیق موجودات چند سلولی در تناقض باشد و ظاهراً این واقعیت را منعکس می کند که موجودات فقط به اندازه ای که نیاز داشته اند پیچیده شده اند. عدم تقارن اطلاعاتی بین یک پلانکتون^{۱۰} و یک خارپشت و درحقیقت بین همه موجودات تک سلولی ساده و موجودات چند سلولی پیچیده تر، را می توان منطقاً به همین روش توجیه کرد.

نتیجتاً، احتمال دارد باکتری سطح نسبتاً ثابتی از پیچیدگی آناتومی را برای مدت حدود ۳,۶ میلیارد سال حفظ کرده باشد، فقط به دلیل این که این نوع دستگاه ها کاملاً در طاقچه هایی که در آن سکنی دارند به قدر کافی بی عیب عمل می کنند. چون اگر چیزی، چه از نظر منطق کلی و طراحی آن و چه از نظر منابعی که برای عمل دائمی آن در دسترس هستند، موفق است، دلیلی ندارد که پیچیده تر شود. گرچه باید بدانیم که با وجود این واقعیت که باکتری ها تک سلولی باقی مانده اند، و فاقد پیچیدگی ساختاری سلول های یوکاریوت هستند و نتیجتاً در معرض همه محدودیت های این سبک زندگی هستند، ولی برنامه ها، ژنوم، و اجزاء پروتئین این مخلوقات به مقدار قابل توجهی در تاریخ پردازش شده است. هر جزء پروتئین یک باکتری امروزی بسیار دقیق بهینه و طراحی شده است و از اجدادش پیچیده تر است. باکتری ها همچنین قادرند از فواصل کوتاه بین نسل های خود و نیز جمعیت عظیم شان سود ببرند، که این دو اجازه می دهند ژن آنها تغییرات را کارآمد تر از موجودات چند سلولی دنبال کنند، که این موجودات معمولاً جمعیت کمی دارند و در موارد استثنایی دوره های بین نسل شان بیشتر از صد سال است. اما، فواصل کوتاه بین نسلها در موجودات تک سلولی مانند باکتری، محدودیتی به آنها اعمال می کند که مانع از دست یابی آنها به دستگاه آناتومی پیچیده ای می شود که توسط فرآیندهای متفاوت رشد در چند سلولی ها ساخته می شوند.

علاوه بر این، باکتری، راهبردهای ژنتیک دیگری را جهت پی گیری تغییرات تکامل بخشیده است. این راهبردها عبارتند از: تولید تعداد محدودی موجود فوق جهش یافته که تنوع ژنتیکی به وجود می آورند که نرخ بسیار بیشتر از نرخ کل جمعیت است، و نیز ساز و کارهایی برای انتقال افقی ماده ژنتیک بین یک باکتری نامرتبط و یک باکتری دیگر. همچنین به نظر می رسد که برخی از باکتری ها برنامه های کمک رسان (SOS) را تکمیل کرده باشند، که ساز و کارهایی را برای بقا به رمز در می آورد که اجازه می دهد نرخ جهش ژن های خود را افزایش دهند. باکتری ها این عمل را با جلوگیری از عمل اجزاء مشخصی از دستگاه تعمیر دی.ان.ا.ی خود انجام می دهند. وقتی که باکتری ها خود را در موقعیت های تنش زا مشاهده می کنند، برنامه های کمک رسان آنها فعال می شوند که به آنها اجازه می دهند دوباره خودشان را، از طریق افزایش نرخ جهش ژنوم خود بازسازی کنند. این کار احتمال تولید جهشی را افزایش می دهد که قادر است آنها را از فلاکت نجات دهد. باکتری در پاسخ به شرایط محیطی، برای اصلاح زنجیره دی.ان.ا.ی خود، از سازوکارهای بیوشیمیایی استفاده می کند، و این امر باکتری را قادر می سازد که فرآیندهای معمولاً تصادفی را که ژن ها را به جهش وامی دارد، دستکاری کند.

پس، روشن است که باکتری ها قادرند به خاطر سادگی ساختمانی خود، با استفاده از راهبردهای گوناگونی که ژن های محدود آنها را، دوباره می آریند و برنامه ریزی می کنند، تاوان پس بدهند. آنها قادرند با کاربرد خلاقانه وسایل محدود ژنتیک

^{۱۰} Plankton. (*۲)

خود، در خط سرعت تکامل به زندگی ادامه دهند. اما برخی از باکتری ها سطح ابتدایی پیچیدگی ژنتیک خود را حفظ نکرده اند، و در عوض اندازه ژنوم خود را کوچک کرده اند. برای مثال، کیت ژن انگل داخلی میکوپلاسما جنیتالیوم شامل ۴۷۰ ژن است، در مقابل کیت مهم تر هموفیلوس آنفلوانزا که جمعا ۱۷۰۳ ژن دارد. ولی به نظر می رسد که این باکتری های حداقل، فقط نوعی از پیچیدگی ژنتیک را با نوعی از پیچیدگی (انگلی) جابه جا کرده اند. این راهبرد انگلی مستلزم مهار کردن و بهره برداری از پایگاه داده قدرتمند ژنتیک و فراژنتیک موجودی دیگر است. به این ترتیب میکوپلاسما جنیتالیوم، بدون این که مجبور باشد هیچ یک از اطلاعات این پایگاه داده بی نهایت بزرگ را درون ژنوم کوچک خود حمل کند، به بسیاری از مزایای حیات پیچیده چند سلولی دسترسی پیدا می کند.

این واقعیت که بیش از سه میلیارد سال طول کشید تا موجوداتی که محدود به کاوش دشت های ریاضی اشکال تک سلولی حیات بودند، راه ورود به فضای ریاضی مختص موجودات متفاوت چند سلولی را کشف کنند، نشان می دهد که این گذار به هیچ عنوان کار ناچیزی نبوده است. اما به محض این که کلیدی کشف شد که قفل فضای ریاضی "همه موجودات متفاوت محتمل چند سلولی" را باز کرد، فقط ششصد میلیون سال دیگر طول کشید تا بازدیدهای تاریخی، موجوداتی را احیاء کنند که قابلیت داشته باشند از ماترک ژنتیک موروثی خود دست بکشند و دوباره خود را به طور مصنوعی از اصول اولیه طراحی کنند. کشف چنین موجودات پیچیده ای به هیچوجه بدیهی نبود. درحقیقت امکان داشت کلید این پوسته ریاضی خاص هیچوقت یافت نشود. احتمال یافتن چنین کلیدی هم به نوع و هم به فرکانس پراکندگی آنها در گستره های "فضای همه موجودات تک سلولی ممکن" بستگی دارد. با وجود این، کشف "فضای همه موجودات متفاوت محتمل چند سلولی" و پوسته ریاضی آن که "فضای همه سازوکارهای ممکن رشد" می نامیم، حیات را قادر ساخت که گروهی از فناوری های نوآورانه را در اندازه های مختلف کشف کند. این نوآوری ها شامل گوش، چشم، شاخک، دست، پا، برگ، پال، دندان، پر، شاخ، باله، آبشش، کلیه، کبد، ریه، قلب و مغز می شد. این صندوق گنج که شامل ساختارها و عملکردها بود، حیات را قادر ساخت تا دنیای اشکال پیچیده را کاوش کند، و اجازه داد که مظاهر گوناگون حیات، به دنبال تغییر ماهیت و فرکانسی باشند که تا آن موقع غیر ممکن بود.

پنج گذار تکاملی که راه اکتشاف تاریخی اشکال گوناگون و پیچیده حیات آشنای کنونی را پی بندی و صاف کردند عبارتند از: (۱) گذار از دنیای فاقد ژن فاقد رمز آنالوگ با وراثت محدود به جهانی دارای ژن که جمعیت هایی از موجودات تک سلولی خود- تکثیر اجدادی در آن ساکن شده بودند، ساختمان اطلاعاتی رمزدار داشتند و از فناوری دیجیتال ژنتیک دی.ان.ا استفاده می کردند که به آنها ظرفیت توارث نامحدود می بخشید، (۲) تکامل سه سلول متفاوت باکتری، یوکاریوت و آرکانیا از نیای تک سلولی جهانی که نیای همه حیات موجود است. یوکاریوت ها سلول های پیچیده ای هستند که ماده ژنتیک آنها در یک هسته مجزا قرار گرفته است و تمام جانوران و گیاهان امروزی از آن ساخته شده اند و آرکانیا که تقریباً چیزی است مابین باکتری و یوکاریوت و معمولاً در محیط های بسیار داغ مسکن می گزیند. این ها سه قلمرو شجره نامه ای متفاوت از حیات را مشخص می کنند که موجودات روی زمین از آنها برخاسته اند؛ (۳) تکامل موجودات چند سلولی (متازوا)^{۱۱} و گیاهان، که عبارت است از کشف برنامه های تکاملی برای نمونه سازی سلول ها در فضای سه بعدی و ساز و کارهایی برای تنظیم زمان و محل بروز ژن ها به شکل متفاوت؛ (۴) تکامل مغز (و ظرفیت یادگیری، رفتار پیچیده، نمایش، هشیاری و در مورد انسان آگاهی)؛ و (۵) تکامل فرهنگ، که پیچیده ترین مظاهرش شامل مهار کردن آتش، توسعه زبان، کشاورزی، علامت های نوشتاری، جوامع، هنر و علم است، ولی ضمناً همه نمونه های ساده تر مربوط به کسب اطلاعات فراژنی، ذخیره و انتقال را که توسط گونه های کمی استفاده می شود، در بر می گیرد.

^{۱۱} Metazoa. پُر یاختکان

اولین گذار از دنیای آنالوگ فاقد ژن فاقد رمزی که وراثت ابتدایی داشت به دنیای دیجیتال رمزداری که وراثت نامحدود داشت، و نیای جهانی تک سلولی ای را در خود جای داده بود که نیای شجره نامه ای باکتری، یوکاریوت و آرکانیا بود و شاید هم تعداد دیگری از جانوران به بن بست رسیده ای که اطلاعات کمی را به تبارهای حیات امروزی اهدا کردند، خود نیازمند رشته ای طویل از رویدادهای تصادفی پیچیده است. اما، ترتیب و روش رخ دادن این گذارهای عمده و ساز و کارهای پشتیبان آنها، به هیچ وجه روشن نیست. این مسئله، علاوه بر چیزهای دیگر، به این خاطر است که هنوز نمی توان درخت شجره نامه ما را آن سوی انواع مخلوقاتی که توسط باکتری، یوکاریوت و آرکانیای امروزی نمایش داده می شوند ردیابی کرد. شاید وقتی که زنجیره های کامل ژنوم همه یا شاید بیشتر موجودات تک سلولی معین شود، بتوان بعضی از رویدادهای قدیمی تر را که از نظر تاریخی معنا دارند، استنتاج و بازسازی کرد. ولی شک داریم که هرگز بتوان شرح دقیق وقایع حیات را، آن سوی نقطه ای که دی.ان.ا اولین بار به عنوان ماده ساختمانی ژنتیک استاندارد بکار گرفته شد، ردیابی کرد. خلاصه، علیرغم این عدم قطعیت ها، ارزش دارد که بعضی از مهم ترین تغییرات اطلاعاتی این گذارهای اصلی تکاملی مربوط به اولین گذار بزرگ را بررسی کنیم.

یکی از اولین گذارهای مهمی که اولین گذار بزرگ را مشخص کرد، احتمالاً نیازمند کشف یک فضای ریاضی بود که آن را *فضای همه متابولیسم های احتمالی حجره بندی شده فاقد ژن* " می نامیم. همان طور که قبلاً یاد آور شدیم، زمانی که حجره بندی کشف شد، هر یک از امتیازات ویژه یک سوخت و ساز معین فاقد ژن، می توانست از میان سوخت و سازهای دیگری که فاقد ژن بودند مشخصه شوند. ضمناً، اجزاء سوخت و سازها می توانستند متراکم تر شوند. علاوه بر این، زمانی که سازمان فضای واکنش شیمیایی توسط حجره محصور می شد و از دنیای خارج تفکیک می شد، می توانست طوری تنظیم شود تا برای واکنش های شیمیایی درون خود مطلوب تر گردد.

گذارهای مهم دیگر، احتمالاً نیازمند تغییرات فنی در اجزاء کاتالیزوری بود که سوخت و سازها را می ساختند. ما احتمال این را که اولین سوخت و سازها، یا از اجزاء پپتید، یا از آر.ان.ا یا ترکیبی از هر دو ساخته شده باشند، قبلاً بررسی کرده ایم. درحقیقت هر نوع سوخت و ساز احتمالی می تواند مستقلاً وجود داشته، یا با یک یا چند نوع سوخت و ساز متفاوت، درون ریز محیط های یکسان همزیستی داشته باشد. ولی همچنین می توان سناریوهای شیمیایی محتمل دیگری را نیز تصور کرد که در آنها فناوری های آر.ان.ا و پپتیدها متممی بر جامعه قبلاً رشد کرده سوخت و سازهای شبه-زنده، که از اجزاء شیمیایی متفاوتی برای نمایش اطلاعات ژنتیک اولیه خود استفاده می کردند، اضافه کرده باشند. هر اندازه هم که طبیعت، روش و ترتیب به کار گرفته شدن فناوریهای متفاوت شیمیایی توسط مخلوقات جاندار اولیه دقیق بوده باشد، واضح است که هر رویداد چیرگی یا رویداد نوآورانه نیاز به تغییر مکان از یک نوع فضای ریاضی به فضای دیگری داشته است.

شاید ژرف ترین گذار، مستلزم کشف کرم چاله ای بود که از دشت های ریاضی آنالوگ جهان فاقد ژن به گستره های دیجیتال دنیای نمونه-ژن و ویژگی های اولیه ژنتیک آن منتهی می شد. بدون شک این گذار مهم، به صورت پله ای اتفاق افتاد و می توان سیستم های ژنتیک اولیه ای را تصور کرد که در آنها فقط یک جزء تنها از شبکه به شکل دیجیتال به رمز در آمده درحالی که اکثریت آنها آنالوگ و فاقد رمز باقی مانده اند. باوجود این، کشف اصول ابتدایی ژنتیک اولیه بر پایه توسعه سیستم های پیچیده تر ژنتیک قرار داشت که قادر به ادامه توارث نامحدود بودند. منشأ این سوخت و سازهای پروتئین که بخشی از آنها رمزدار شده بود، منوط است به بازشناسی شیمیایی معینی که می تواند بین اسیدنوکلئیک ها و آمینو اسید ها رخ دهد. پس می توان تصور کرد که نمونه-ژن ها مولکولهای آر.ان.ا ای بودند که یا به طور اتوماتیک خود را تکثیر کردند یا با دقت های متفاوتی توسط مولکولهای رمزدار یا فاقد رمز درون سوخت و سازها تکثیر شدند، و توانستند ساخت زنجیره های کمتر پیچیده آمینواسیدها را مطابق اطلاعاتی که درون زنجیره های باز ریبونوکلئوتید به رمز در آمده است آموزش دهند.

اما تکامل اصول رمزکننده ژنتیک نمی توانست بدون تکامل همزمان یک اصل رمزگشایی که با آن متناظر باشد، رخ دهد. به نظر منطقی می رسد که گمانه بزنیم که، کد ژنتیک تقریباً جهانی که توسط همه اشکال حیات معاصر استفاده می شود، به

خاطر پیچیدگی ذاتی خود، بعد از نمونه- کدهای ابتدایی ساده تر که با آن متفاوتند، به وجود آمده است. اشاره شده است که نمونه های اولیه کدهای ژنتیک فقط ۲ باز آر.ان.ا یعنی (U و A) را به کار می بردند که هشت کدون سه تایی ممکن را تشکیل می دهند یعنی (AAA، UUU، AAU، AUU، UAA، UUA، UAU و AUA). یک سیستم رمزگذاری ساده از این نوع می توانست حداکثر ۷ آمینو اسید متفاوت و یک علامت توقف را مشخص کند. این حقیقت که بسیاری از تاخوردگی های پروتئین ها می تواند با استفاده از مجموعه های بسیار محدود آمینو اسید ها تولید شود، نشان می دهد که این فرضیه محتمل و قابل قبول است و نیز نشان می دهد که سیستم های بسیار ابتدایی ژنتیک ممکن است که دقیقاً پروتئین هایی را با استفاده از پیچیدگی نسبتاً کم زنجیره آمینو اسید به رمز در آورده باشند. تصور می شود که این سیستم های ژنتیک مبنی بر آر.ان.ا سرانجام به ترتیب با وارد کردن بازهای ریبونوکلوئید G و C، که توسط مولکولهای آر.ان.ا ی معاصر به کار برده می شوند پیچیدگی خود را افزوده باشند. استفاده از فقط یک باز اضافی ممکن است ظرفیت کافی برای به رمز در آوردن بیست آمینو اسید طبیعی به کار رفته در پروتئین های امروزی را فراهم آورده باشد.

بعد است که نمونه- ژن ها همگی درون یک ژنوم گرد آمده باشند و احتمال دارد که به شکل مولکول های مستقل حیات داشته اند. اما، احتمالاً نیای جهانی تک سلولی، یک نمونه- ژنوم اولیه داشته که حاوی بخش های مستقل نمونه-ژنوم اولیه آر.ان.ا و یا دی.ان.ا بوده که شامل تعداد کمی ژن به هم چسبیده بوده اند، ولی با این حال از ژنوم موجودات تک سلولی امروزی کوچکتر بوده و کمتر از آنها سازمان داشته اند. از این رو، این گذار عمده مستلزم کشف کرم چاله ای بود که به فضای نمونه- ژنوم های اولیه آر.ان.ا منتهی می شد و از آنجا به فضای ژنوم آر.ان.ا و بعد به فضای ژنوم دی.ان.ا. با دسته بندی ژن ها در ژنوم، ترکیبات موفق ژن ها می توانند به هم متصل و در طول زمان حفظ شوند.

یکی از مهم ترین و معمایی ترین تغییراتی که از اولین گذار بزرگ پشتیبانی کرد، نیازمند رویداد فرضی چیرگی ژنتیک بود که به نمونه- ژن های ساخته شده از مولکولهای تک کلافی آر.ان.ا اجازه می داد فناوری ها را جا به جا کنند و از دی.ان.ا ی دوکلافی ساخته شوند. روشن نیست که آیا این رویداد و گذار مهم همراه آن که نیازمند تمایز بین ماده ژنتیک و مولکولهای پیغامبری بود که اطلاعات ژن ها را به دستگاه ساخت پروتئین ها ارسال می کنند، قبل از کشف نمونه- ژنوم های آر.ان.ا و ژنوم، یا بعد از آن رخ داده است. باوجود این، زمانی که حیات دروازه ای را کشف کرد که از تیرگی دنیای آر.ان.ا به جهان فضای ژن دی.ان.ا که قبلاً ناشناخته بود، و به ساختار ریاضی ژن های دوکلافی دی.ان.ا و کد ژنتیک جهانی آن منتهی می شد، صحنه برای افزایش کوانتومی پیچیدگی اطلاعات آماده شد که می خواست امکان سایر گذارهای بزرگ را فراهم کند. تاکنون هیچ مدل واضحی برای چگونگی انجام این رویداد چیرگی ژنتیک از آر.ان.ا به دی.ان.ا، وجود ندارد. اما محتمل است که در خلال این دوره، حیات از فضای انتقالی ژن آر.ان.ا/دی.ان.ا عبور کرده باشد که در آن بعضی از نمونه- ژن ها با فناوری دی.ان.ا به روز درآمده بوده اند، درحالی که بقیه کماکان از فناوری اطلاعاتی نامرغوب و از رده خارج آر.ان.ا ساخته می شدند. تکامل ژنهای ساخته شده از دی.ان.ا و ژنوم های دوکلافی دی.ان.ا، تکثیر ژنتیک بسیار پیشرفته و سازوکارهای تصحیح خطا و ویرایشی را پایه گذاری کرد که نقش حیاتی در ایمن سازی بنیان فرآیندهای اطلاعاتی پیچیده تر مانند، رشد، آموزش و ساز و کارهای فرا- ژنتیک فرهنگ بازی می کردند. دستگاه های ژنتیک مبنی بر دی.ان.ا که فناوری پیشرفته تری داشتند سرانجام اجازه می دادند که تکثیر و بروز اطلاعات ژنتیک به سطوحی از صحت و پیچیدگی دست پیدا کنند که سابقاً غیر قابل دسترس بود. در این راه، آنها چهره حیات را برای همیشه تغییر می دادند.

نیای جهانی تک سلولی که مادر همه سلول های امروزی بود، زمانی که به طرف دومین گذار اصلی عبور می کرد، سفیر اصلی حیات بود. گرچه این نیای، در نتیجه گذارهای عمده ای که در خلال اولین گذار بزرگ متحمل شد، نسبت به پیشینیانش به طور چشمگیری از نظر فناوری پیشرفته تر بود، اما به هرحال از نظر فناوری و اطلاعاتی نامرغوب تر از قلمرو پادشاهی حیات مربوط به باکتری، یوکاریوت و آرکانیا بود که نهایتاً آنها را به وجود می آورد. اگر اتفاقات کمی متفاوت می بود، این نیای جهانی ممکن بود دچار انقراض شود، که در آن صورت احتمال داشت فرمهای دیگری از نمونه- حیات که بی تردید تا آن زمان

ایستادگی کرده بود، مشعل حیات را به روشی کاملاً منحصر به فرد و غیر قابل پیش بینی به سوی آینده حمل کند. اگر این اتفاق افتاده بود بسیار بعید بود که حیات، در حین گشت و گذار پر پیچ و خم در سطوح مختلف ریاضی به گستره های فضایی همه انسان های ممکن هدایت شده باشد. درحقیقت حتی یک بی اعتدالی خفیف ممکن بود تراز رویدادها را تغییر دهد، و شاید قلمروی چهارمی از حیات را تولید کند، یا این که دودمان سلولهای پیچیده یوکاریوت را که همه حیوانات و گیاهان از آن انشقاق یافته اند حذف کند.

پس کدام یک از گذارهای اصلی حیات از دومین گذار تکاملی بزرگ پشتیبانی کردند و چگونه سه شکل اساسی متفاوت که حیات امروزی در آن بسته بندی شده است از نیای تک سلولی جهانی پدیدار شد؟ برعکس آرکانیا و باکتری، که کوچکند و استخوانبندی و سازماندهی درونی ساده ای دارند، یوکاریوت استخوانبندی و سازمان پیچیده ای دارد. نشانه سلول یوکاریوت روش بسته بندی ماده ژنتیک درون مجموعه ای از کروموزوم های فشرده و بسیار ساخت یافته ای است که در یک فضای متمرکز مجزا، به نام هسته قرار گرفته اند. این تشکیلات با سازماندهی ابتدایی باکتری و آرکانیا در تناقض است، چون بایگانی های ژنتیک آنها فقط حاوی یک کروموزوم تنهای حلقوی بی ساختار و فاقد فضای هسته مجزا است و فضای هسته با بقیه سلول تماس مستقیم دارد. وانگهی، علاوه بر این که سلول یوکاریوت به طور قابل توجهی بزرگتر از سلول های باکتری و آرکانیا است - حجم یک سلول یوکاریوت نوعاً ۱۰،۰۰۰ برابر بزرگتر از حجم میانگین سلول باکتری یا آرکانیا است - سیتوپلاسم سلول یوکاریوت بسیار پیچیده تر است. برعکس باکتری و آرکانیا، سیتوپلاسم یوکاریوت به مجموعه ای تو در تو از غشاء، فضاهای زیر سلولی و اندامک ها تقسیم بندی شده است که شامل اجزاء زیر است: (۱) ساختمان شبکه ای اندوپلاسمی^{۱۲} (که نقش اساسی در تولید و صدور پروتئین تازه ترکیب شده بازی می کند)، (۲) میتوکندری (که انرژی را به شکل ATP جهت سلول تهیه می کند)، (۳) پرکسیسوم^{۱۳} (که اعمال متنوع سوخت و سازی را انجام می دهد)، (۴) دستگاه گلژی^{۱۴} (که طوری عمل می کند که پروتئین های تازه ترکیب شده را از نظر شیمیایی تغییر دهد، مثلاً با چسباندن قند به آنها) و در مورد جلبک ها و گیاهان، (۵) پلاستید (که مکان فوتوسنتز هستند).

سلول های یوکاریوت علاوه بر پیچیدگی ریختی، با رفتار پیچیده قابل توجهی مشخص می شوند که در باکتری و آرکانیا دیده نمی شود. یک مثال بسیار مهم آن، وجود پروتئین هایی است که نرخ و زمان بندی تقسیم سلولی را کنترل می کنند و نتیجتاً می توانند یک چرخه سلولی را تعریف کنند. چرخه سلول به ۴ مرحله تقسیم می شود که شامل: یک مرحله راکد، یک دوره ترکیب دی.ان.ا، یک دوره میانی و مرحله دیگری می باشد که در آن ماده ژنتیک تازه ترکیب شده از اجدادش جدا می شود و سلول به دو قسمت تقسیم می شود. سیتوپلاسم سلول های یوکاریوت همچنین شامل یک سیتوسکلتون^{۱۵} است که در سراسر سلول منشعب می شود و داریستی را فراهم می کند که با کمک موتورهای مولکولی به سازمان یافتن سلول کمک میکند، و اجازه می دهد که سلول شکل خود را تغییر دهد و محتوای خود را جا به جا کند. ظهور عناصر استخوان بندی درون سلول های یوکاریوت هم تحرک و هم تغییر مکان های بزرگ غشاء سلولی را تکامل می بخشد که این کار به سلول ها اجازه می دهد موادی از دنیای خارج را احاطه کنند (اندوسیتوز_ درون یاختگی) و محصولاتی را که خودشان ساخته اند پنهان کنند (اکسوسیتوز- برون یاختگی).

حضور میکروفسیل های مشابه باکتری مدرن، و باقی مانده های فسیلی مفروض میکروارگانیسم های حصیر بافت عجیبی که استروماتولیت نامیده شده اند در صخره هایی با عمر ۳،۵ میلیارد سال، حاکی از این است که نیای مشترک جهانی فقط ۰،۹ میلیارد سال پس از پیدایش سنگ، جای پای خود را روی زمین محکم کرده است. اولین سلول های یوکاریوت فسیلی در تاریخچه زمین شناسی فقط در حدود ۲ میلیارد سال پیش ظاهر شدند. بنابراین به نظر می رسد که حدود یک و نیم میلیارد

^{۱۲} Endoplasmic reticulum

^{۱۳} peroxisom

^{۱۴} (۳*). Golgi

^{۱۵} Cytoskeleton. اسکلت سلولی. (۴*)

سال طول کشیده باشد تا دومین دوره انتقالی تکامل به پایان برسد. سادگی نسبی باکتری و آرکانیا حاکی از این است که احتمالاً نیای مستقیم یوکاریوت هستند. اما، نسبت های خویشاوندی بین سه قلمروی حیات، که از بررسی دقیق ژنتیک مولکولی ناشی شده، اظهار می دارد که تاریخچه شجره نامه حیات تک سلولی ابتدایی ممکن است به آن سادگی که در ابتدا تصور می شد نباشد. در ۲۳ ژانویه ۱۹۹۶ زنجیره ژنوم موجودی آرکانین به نام متانووکوکوس جاتاشی به طور کامل منتشر شد. تکمیل این زنجیره اجازه داد که مقایسه مستقیمی بین ژنوم نمایندگانی از هر یک از سه قلمرو اصلی حیات صورت گیرد. با در دست داشتن ژنوم باکتری هموفیلوس آفلوانزا و یوکاریوتی به نام ساخارومیسز سرویسیا^{۱۶} (خمیر ترش نانواپی) مخزن کامل ژن این سه قلمرو می توانست مقایسه شود. گرچه زنجیره ژن های عملیاتی آرکانیا (شامل ژن هایی که دست اندرکار سوخت و ساز، تقسیم ژنی و تولید انرژی هستند)، شباهت هایی به همتایان باکتری شان دارد و معنی آن این است که باکتری و آرکانیا شجره نامه مشترکی دارند که به یوکاریوت گسترش نمی یابد، ولی وقتی که سیستم های اطلاعاتی (مانند سیستم هایی که درگیر کار نسخه برداری، ترجمه و تکثیر دی.ان.ا هستند) مقایسه شدند، به نظر رسید که آرکانیا ژنهای مشترکی با یوکاریوت دارد که به هیچ وجه در باکتری وجود ندارد. این یافته متناقض ثابت می کند که، گرچه آرکانیا از نظر آناتومی شبیه باکتری است، ولی در سطح اطلاعات مولکولی اصلی بسیار شبیه یوکاریوت است. این مسئله بیان می کند که نیای مشترک آرکانیا و یوکاریوت، از نظر زمانی بعد از نیای مشترکی که هرکدام از آنها با باکتری دارد، قرارگرفته است.

تحلیل های متوالی انجام گرفته بر روی مکمل های کوچک ژنهای خارج هسته ای یافت شده در میتوکندری سلول های یوکاریوت شواهدی را برای یک فرضیه درون همزیستی^{۱۷} مربوط به خاستگاه یوکاریوت فراهم می کند. ژن های میتوکندری در واقع به وضوح به ژنهای باکتری وابسته است، و نشان می دهد که در نقطه ای در تاریخ، یک باکتری همزیستی بدوی با یک نمونه- سلول یوکاریوت احاطه شد و نتیجتاً درون میزبان پیش-میتوکندریایی خود ساکن شد. تصور می شود که در طول زمان بعضی از ژن های باکتری به ژنوم نمونه- یوکاریوت میزبان انتقال یافته باشند، در حالی که بقیه محو شده اند. از این رو ژنوم بسیار کوچک میتوکندری با حدود ۵ ژن یا بیشتر که درون همه سلول های یوکاریوت باقی مانده است می تواند به عنوان یک ژنوم شدیداً فشرده و اصلاح شده باکتریایی مشاهده شود؛ یعنی لاشه اطلاعاتی ژنوم باکتریایی که زمانی کاملاً کارکرد داشت. اما، همان طور که ویلیام مارتین و میکلوش مولر^{۱۸} بیان کرده اند، ممکن است که سلول های یوکاریوت به جای این که از یک نیای میزبان نمونه- یوکاریوت به وجود آمده باشند، در نتیجه همزیستی بین یک همزی باکتریایی و یک میزبان آرکانیایی به وجود آمده باشند.

اما، اجداد شجره نامه ای که براساس گروههای منتخبی از زنجیره های دی.ان.ا و مولکول های پروتئین بازسازی شده اند، بسته به این که کدام یک از ژن ها و پروتئین ها برای ساختن گاهشمار مولکولی گزینش می شوند و گونه های خاص و رویدادهای زمین شناسی که برای مدرج کردن این گاهشمار به کار می روند، تمایل دارند که شجره خانوادگی مجزا و متفاوتی به بار بیاورند. ناتمامیت بانک اطلاعاتی زنجیره ها کمی به این موضوع نمی کند. اما، زمانی که تعداد بیشتری زنجیره ژنوم باکتری، آرکانیا و یوکاریوت در دسترس قرار گیرند، دقت و اعتبار رابطه خویشاوندی بین سه قلمروی حیات به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. این واقعیت که اکثریت غالب گونه های زنده تک سلولی هستند، و اکثر آنها هنوز مشخص و توصیف نشده اند، بیان می کند که تنوعات گوناگون تک سلولی های میکروسکوپی ممکن است قلمرو جدیدی از حیات را بالا آورده باشند که، همراه با زنجیره اطلاعات استنتاج شده از زنجیره ژنوم های دیگر، ممکن است به مستحکم تر کردن ریشه درخت حیات در حقایق تاریخی کمک کند.

^{۱۶} *Saccharomyces cerevisiae*^{۱۷} Endosymbiotic. موجودی که درون بدن یا سلول موجود دیگری زندگی می کند. (*۵)^{۱۸} William Martin, Miclos Muller

انتقال از فضای ریاضی حاوی نیای تک سلولی جهانی به فضای ریاضی همه یوکاریوت های ممکن، جاده را برای کشف کرم چاله ای صاف کرد که به فضای ریاضی همه مخلوقات متفاوت چند سلولی ممکن منتهی شد و آغاز سومین انتقال بزرگ را مشخص کرد. ترکیبات متعدد ساختاری حیاتی سلول های یوکاریوت که زمینه را برای پیچیدگی سلولی فراهم می کرد، و این پیچیدگی، تکامل چند سلولی های گوناگون و تجهیزات همراه آنها، مانند اشکال پیچیده گیاه و حیوان شامل دایناسور، سوسک، پروانه و درخت راش را میسر می ساخت، علاوه بر چیزهای دیگر، موارد زیر را در بر داشت: تکامل هسته، دستگاه گلزی، ساختمان مشبک اندوپلاسمی^{۱۹}، میکروتوبول^{۲۰} (ناپچه) ها و کروموزوم های جدید که در ساختارهای متناوبی به نام نوکلئوزوم^{۲۱} سازماندهی شده اند. نوکلئوزوم ها قطعاتی هستند مرکب از ۲۰۰ جفت باز متصل و بسته بندی شده دی.ان.ای کروموزومی که توسط یک غلاف اکتامر^{۲۲} شامل دو نسخه از ۴ پروتئین هیستون^{۲۳} متفاوت سازمان یافته اند.

این نوآوری های ریزساختار مهم، توسط گروهی از نوآوری های نانو-ساختار تکمیل شدند که شامل کشف برنامه های کارکردی جدید و مولکولهایی بود که برنامه های از پیش موجود را به روش های نوین تنظیم می کردند. نمونه های مهم اینها عبارتند از: تکامل برنامه های درونی خود نابود کننده (آپوتوتیک)، تکامل خانواده های جدیدی از ژن ها، مانند تنظیم کننده های هومئوتیک^{۲۴} نسخه بردار که نقش اساسی در ایجاد اشکال سه بعدی ایفا می کنند، تکامل برنامه های تنظیم کننده پیچیده در رونوشت های متوالی ام.ان.ا که بر پایداری آنها تاثیر می گذارد، و در بعضی موارد قوانینی را که توسط آن به رمز در می آیند اصلاح می کند؛ و تکامل سازوکارهای مولکولی برای اصلاح فعالیت ژن ها و ساختار پروتئین به شکلی بازگشت پذیر. این سازوکارهای مولکولی شامل فرآیندهای نقش پذیری^{۲۵} ژنی می شود که با زدن نقش متیلاسیون^{۲۶} روی رسوب های سیتوسین منتخب، یا استیلاسیون پروتئین های هیستون، درون اجزاء مدولار نوکلئوزوم که ساختارهای سطح بالاتری به نام کرماتین^{۲۷} را می سازند، ژن می تواند "خاموش شود".

احتمال داشت که سرمنشأ رشد، علاوه بر نوآوری هایی که نیازمند نواحی رمزشونده ژن ها هستند، به تکامل و تجدید سازمان اجزاء قطعه قطعه ژنتیک فاقد رمزی وابسته باشند که بسیار هوشمندند و کاملاً برنامه ریزی شده اند. برای مثال، مدول فاقد رمز و تنظیم کننده ژن اندو ۱۶ که مربوط به خارپوست دریایی به نام استرانگیلوسنتروتوس پورپوراتوس^{۲۸} است، مانند تجهیزات یک میکروپروسور آنالوگ مینیاتوری عمل می کند که نسبت به حضور بیت های اطلاعاتی مربوط به حداکثر سی پروتئین متفاوت حساس است. هریک از این پروتئین ها به نقاط کنترل معینی متصل می شوند و طرح کلی اتصال کامل می شود تا ON/OFF مناسب، یا نوسان بروز ژن را به وجود آورد. طبیعت مدولار این نوع واحدهای تنظیم کننده فاقد رمز به آنها اجازه می دهد که به راحتی کپی شوند و گاهگاهی جهش یابند، ترمیم و جا به جا شوند و از این طریق بر فعالیت ژنهای سابقا گنگ تاثیر بگذارند. به این ترتیب، برای ژنی که تا اندازه ای از نظر محاسباتی ساده و خام بود، یکباره تجهیزاتی می توانست فراهم شود تا آن را به نشانه های محیطی فراوان که قبلاً از آنها بی خبر بود حساس نماید. سپس این اطلاعات می توانست توسط میکروپروسور ژنتیک یکپارچه شود و با تاثیر بر زمان و فعالیت برنامه های از پیش موجود، کمک کند تا سرنوشت تکامل سلول های مجزا را محاسبه کنیم. نمونه های دیگر عناصر غیررمزدار تنظیم کننده عبارتند از مراحل کنترل که بر روش

^{۱۹} endoplasmic reticulum. (۶*)

^{۲۰} Microtubule. (۷*)

^{۲۱} Nucleosome. (۸*)

^{۲۲} Octamer. (۹*)

^{۲۳} Histone. (۱۰*)

^{۲۴} Homeotic. (۱۱*)

^{۲۵} Genomic imprinting. (۱۲*)

^{۲۶} Methylation فلزدار کردن. (۱۳*)

^{۲۷} Chromatin. (۱۴*)

^{۲۸} Strongilocentrotus purpuratus

بههم تابیدن متفاوت اجزاء مدولار بعضی از ژن ها اثر می گذارند و به این ترتیب گروهی از مولکولهای متفاوت ام.آر.ان.ا و محصولات پروتئین مربوط به آنها را می سازندی کنند.

تکامل هسته اجازه داد تا عمل نسخه برداری و ترجمه ژن از یکدیگر جدا شوند و برای تکامل برنامه های پیچیده جهت بیان های متفاوت ژن پایه ای فراهم کرد. تکامل هسته همچنین با اجازه دادن به تمرکز مولکول های ام.آر.ان.ا ی منتخب در نواحی مجزای سیتوپلاسم، اجازه داد تا تقارن سلول ها شکسته شوند. از طرف دیگر، تکامل اندامک های اصلاح پروتئین ها مانند دستگاه گلژی، اجازه داد که بعد جدیدی از پیچیدگی فنی به ساختار و دینامیک پروتئین افزوده شود. این کار مستلزم کشف کرم چاله ای بود که فضای ریاضی همه پروتئین های ممکن را به فضای ریاضی همه گلیکوپروتئین های ممکن پیوند بزند. اضافه کردن مولکول های قند به پروتئین تازه ترکیب شده می تواند، علاوه بر کارهای دیگر، کارکرد، پایداری و توانایی آنها را برای این که به درستی و در زمان بندی های واقعی بیولوژیک تا بخورند، تغییر دهد.

تکامل سازوکارهای مشبک اندوپلاسمی برای منظم کردن پروتئینها، به پروتئین های تازه ترکیب شده اجازه داد تا به آدرس مشخصی درون سلول هدایت شوند و از این رو سازوکار دقیقی را برای طراحی میکروسکوپی اجزای پروتئین در سطح زیر سلولی فراهم کرد. همچنین راهی را برای پنهان سازی پروتئین ها فراهم کرد، که می توانست، علاوه بر بسیاری کارها، اساس تمایل مورفوژنتیک (شکل دهی)^{۲۹} را تشکیل دهد. این سازوکارها مختصات شیمیایی ای تعریف می کنند که به برخی سلول های درحال رشد آدرسی فضایی تخصیص می دهند و به این ترتیب اجازه می دهند که ژنوم آنها به شکلی متفاوت برنامه ریزی شود.

ساختارهای سیتواسکلتال^{۳۰} سلول های یوکاریوت و توانایی آنها برای مهاجرت در خلال فرآیند طراحی تکاملی به وجود میکروتوبول ها متکی است. میکروتوبول ها همچنین بسیاری از اعمال حیاتی را که برای ایجاد پیچیدگی مخلوقات چند سلولی ضروری است برعهده دارند. این اعمال شامل کمک به فرآیند قطبی سازی آر.ان.ا ی پیغامبر درون تخمک سلول است که، همان طور که قبلاً دیده ایم، رشد طبیعی غیر متقارن برخی ارگانیزم ها را پایه گذاری می کند. نقش داشتن میکروتوبول ها در تولید ناهمگنی های شیمیایی به صورت گرادیان های مورفوژنتیک، باعث می شود که میدانهای از دستورالعمل های شیمیایی بر پا شوند، و ژنومهای بی تجربه و ساده یاخته های رشد یابنده را که به این میدانها می رسند برنامه ریزی کنند.

تکامل کروموزوم ها که درون نوکلئوزوم بسیار متشکل هستند و ساختمان های سطح بالای کروماتین که این کروموزوم ها به همراه دارند، اجازه داد تا حجم های بزرگتر دی.ان.ا درحجم کوچکتری از فضا بسته بندی شوند. همچنین ساز و کاری را برای حفاظت دی.ان.ا از آسیب شیمیایی فراهم کرد و سازوکارهای قدرتمند و پیچیده قواعد نسخه برداری را توسعه داد که اجازه می داد سلول های یوکاریوت مخزن عظیمی از طرح های کاملاً منظم را برای بروز ژن های متفاوت به وجود بیاورند. تکامل چرخه سلول اجازه داد که سلول های متفاوت رشد کنند و تقسیم سلولی نامتقارن داشته باشند. همچنین فرصتی فراهم آورد تا رویدادهای تکثیر دی.ان.ا به دقت در نقاط بازرسی بازبینی شوند و بنابراین خطاهای آسیب دیدگی و تکثیر با کفایت اصلاح شود.

سومین گذار بزرگ که منجر به تکامل موجودات چند سلولی ای شده است که از مواد غیر یکسانی ساخته شده اند که برای ساختن معماری های پیچیده سه بعدی در فضا طراحی شده اند، خود برمبنای چندین گذار اصلی تعریف شده و به آنها وابسته بود. این گذارها شامل : تکامل سازوکارهایی برای تشکیل مجموعه های متقارن سلولهای به هم پیوسته، تکامل سازوکارهایی برای شکستن این تقارن و ایجاد عدم تقارنی که فرایندهای رشد را استارت می زند و در برخی موارد این فرایندها را پایدار می کند، تکامل سازوکارهایی برای ایجاد گرادیان های شیمیایی بین- سلولی که اطلاعات مربوط به رشد را به رمز در می آورند، و تکامل ساز و کار مستحکمی که به سلول های مشخص اجازه می دهد اطلاعات موضعی گرادیان های شیمیایی سه

^{۲۹} ریخت زا^{۳۰} Cytoskeletal استخوانبندی یاخته ای.

بعدی را بخوانند، تفسیرکنند و به الگوهای متفاوتی از بیان ژن ترجمه کنند. این الگوها به نوبه خود، در سطح میکروسکوپی به سلول هایی با معماری متفاوت و توابع مشخص کننده واحدهای اصلی مدولار، ترجمه می شوند و موجودات چند سلولی از آنها ساخته می شوند، و در سطح ماکروسکوپی به شکل سه بعدی خود و توابعی از مراتب بالاتر ترجمه می شوند.

هر یک از گذارهای مهم، مانند همه نوآوری های تکاملی، هم از طریق کشف ژن های تازه و هم با کمک الگوهای جدید بیان ژن پشتیبانی می شد. محصولات پروتئینی این ملحقات جدید جعبه ابزار اصلی ژنی تک سلولی یوکاریوت، می توانستند ویژگی های خود-مونتازی و خود سازماندهی پروتئین های از پیش موجود، و شبکه ها و مجتمع هایی را که در آنها شرکت داشتند، تنظیم و اصلاح کنند. همچنین این محصولات قادر بودند ساختارهای جدیدی را فراهم کنند که ویژگی های ذاتی خود-مونتازی آنها قابل سازماندهی بود، و می توانستند طراحی و اصلاح شوند و به این ترتیب فرایندها و کارکردهای جدیدی به وجود آورند. همچنین پیدا شدن کاربرد جدید برای ژنهای قدیمی، در موقعیت های جدید و بازه زمانی بروز ژن، به طور عمده ای در برنامه ها و نقشه های مولکولی که پیچیدگی قابل رشد را تضمین می کردند، مشارکت کرد. تکمیل ۹۷ میلیون جفت باز ژنوم کرم کاتورابدیتیس الگانس^{۳۱} در ۱۱ دسامبر ۱۹۹۸ - که اولین ژنوم حیوانی است که کاملاً زنجیره یابی شده است- به ما کمک می کند تا دانش مربوط به روش تغییر و رشد ژنوم هایی که خود را با چالش های حیات چند سلولی وفق داده اند، در اختیار دیگران بگذاریم.

احتمالاً اولین قدم در تکامل پیچیدگی رشد یابنده، تکامل غیر متمایز یا کمی متمایز چند سلولی ها است. این فرآیند نیاز به تکامل سازوکاری داشت که اجازه می داد سلول های فرزندی که در جریان تقسیم سلولی تولید می شدند، بهم چسبیده بمانند. اگر گروهی از سلول های به هم پیوسته امتیازی نسبت به همراهان منزوی خود داشتند، در این صورت تکامل، تداوم وضعیت چند سلولی را به آنها مرحمت می کرد. برای درک روش و سهولت رخ دادن چنین فرآیندی می توان آمیب خاکی دیکتوستیلیوم^{۳۲} را مشاهده کرد. وقتی که ذخیره غذا کم می شود آمیب های تنها متحد می شوند و یک گلوله چند سلولی تشکیل می دهند. سپس این گلوله به چراگاههای سبزتر مهاجرت می کند، و در آنجا پس از ساختن ساقه ای که هاگ ها را آزاد می کند، از هم پاشیده می شود. بین وانگ و آدام کوسپا^{۳۳} نشان داده اند که این مجموعه کامل رویدادها با وساطت یک پروتئین تنها به نام PKA انجام می شود. این نشان می دهد که چگونه تکامل یک پروتئین تنهای جدید ممکن است برای ظهور چند سلولی ها کافی بوده باشد. ولی رشد چیزی بیش از چند سلولی بودن است. رشد، به ساز و کاری برای شکستن تقارن دسته ای از سلول ها نیاز دارد، تا سلول ها بتوانند به طور متفاوت برنامه ریزی شوند و غیر هم شکل ساخته شوند.

تقارن سلول می تواند هنگام تقسیم آن به دو سلول فرزند، یا در نتیجه دخالت عوامل بیرونی مربوط به فعل و انفعالات سلولهای فرزند با یکدیگر و با دنیای خارج و یا عوامل درونی که از خود سلول سرچشمه گرفته اند شکسته شود. نتیجه نهایی یک تقسیم سلولی نامتقارن، دوسلول فرزند است که پتانسیل رشد متفاوتی دارند و ممکن است سرنوشت های متفاوتی داشته باشند. برای مثال، در خلال توسعه سیستم عصبی خارجی مگس، یک اندام حسی اختصاصی پیشرو به نام سلول (SOP) دستخوش دو نوبت تقسیم سلولی نامتقارن می شود تا ۴ سلول موی زیر حسی بسازد، در یک نوبت دو سلول مو و کاسه چشم بیرونی ساخته می شوند و در نوبت دیگر دو سلول درونی نورون و غلاف. اما، در یک مگس جهش یافته که فاقد پروتئینی به نام نامب^{۳۴} است SOP به صورت متقارن تقسیم می شود. از این رو ظاهراً مقدار نامب درسلول های SOP متعلق به فرزند سرنوشت آنها را معین می کند.

نتیجتاً، ممکن است که تکامل پیچیده سازی قابل رشد، با گذار عمده ای شروع شده باشد که مستلزم کشف کرم چاله ای بود که از فضای ریاضی تقسیمات سلولی متقارن به فضای تقسیمات سلولی نامتقارن منتهی می شد. ولی بعید است

^{۳۱} Caenorhabditis Elegans

^{۳۲} Dictyostelium

^{۳۳} Bin Wang & Adam Kuspa

^{۳۴} Numb

که این کار مستقیماً رخ داده باشد. در حقیقت لوپس ولپرت^{۳۵} استدلال کرده است که سازوکارهای بیرونی ساده تری که در محیط اطراف ایجاد می شدند بر ساز و کارهای درونی موجد عدم تقارن تقدم داشتند. برای مثال، تماس یک سلول با یک سطح ممکن بود تغییری موضعی در غشاء سلول القا کند که بر تقارن تقسیم سلولی تاثیر بگذارد. ولی چگونه چنین چیزی می توانست رخ دهد؟ وقتی که میکروتوبول ها ساخته می شوند در جهات کاملاً تصادفی پلیمریزه می شوند. ولی این نوع رفتار اکتشافی خود سازماده قابلیت این را دارد که در تله بیافتد و به حالت غیر متقارن پراکنده شود. از این رو وقتی غشاء سلول با سطحی تماس برقرار می کند تغییراتی که به طور موضعی در آن القا می شوند می توانند دقیقاً علامتی تولید کنند که در اثر آن پلیمریزاسیون نامتقارن رخ دهد. بعد از تثبیت، توزیع نامتقارن میکروتوبول ها مبنایی برای تعریف محور در سلولهایی که قبلاً متقارن بوده اند فراهم می آورد.

انواع متعددی از سازوکارهای درونی وجود دارند که می توانند تقارن تقسیم سلولی را بشکنند. همه این سازوکارها نیاز به فرآیندی دارند که پروتئین های کلیدی تنظیم کننده مانند "نامب" را به طور غیر متقارن پخش کند، و این پروتئین ها یا به عنوان عوامل نسخه برداری عمل می کنند- که بروز ژنهای کلیدی را جرح و تعدیل می کند- یا به عنوان عاملی که بر فعل و انفعالات بین سلول های فرزندان تاثیر می گذارد. این عدم تقارن به طور ثابتی به چرخه سلول وابسته است، و زمانی که سلول در حال تقسیم نیست، پراکندگی پروتئین ها معمولاً متقارن است.

عدم تقارن می تواند از طریق فرآیندهایی که به طور گزینشی پروتئین اصلی تنظیم کننده را انتقال می دهند یا تنزل رتبه می دهند و این کار را با تمرکز غیر متقارن بر آر.ان.ا پیغامبری که پروتئین را به رمز در می آورد انجام می دهند- و یا با ترکیبی از هر دو عمل، حاصل شود. سلول های مدرن یوکاریوت برای متمرکز کردن عوامل تعیین کننده درونی تقسیم سلولی غیر متقارن، مجموعه پیچیده ای از دستگاه های پروتئین ها را به کار می برند. برای نمونه، تمرکز غیر متقارن بعضی از پروتئین ها و ام.آر.ان.ا وابسته است به اجزاء میکروفیلامان (میله ریز) یا میکروتوبولار (نایچه) سیتوسکلتون. این مسئله نشان می دهد که این پروتئین ها ممکن است متصل باشند و با مولکول باربری حمل شوند که مانند یک تراموای برقی در طول میکروفیلامان یا میکروتوبول ها حرکت می کند. در مورد مولکولهای آر.ان.ا پیغامبری که به طور غیر متقارن پراکنده شده اند، مانند بیکوید (Bicoid)، قسمتی از زنجیره، خود را برای حمل علامت گذاری می کند تا بتواند به سرعت درون سلول متمرکز شود. اما، روش های ساده تر برای القاء پراکندگی غیر متقارن پروتئین ها ممکن است نیازمند کاهش موضعی ابعاد سیستم باشند، برای مثال، می توان از مهارهایی برای گیر انداختن پروتئین ها در سطوحی از غلاف ها استفاده کرد تا پراکندگی آنها به جای سه بعد به دو بعد محدود شود.

گرچه برخی از مخلوقات چند سلولی، مانند کرم ها، با تکیه فراوان بر دوره های متوالی برنامه های کنترل شده درونی مربوط به تقسیم نامتقارن سلولی، در مورد رشد کلان خود تصمیم می گیرند، ولی بقیه چند سلولی ها، مثلاً مهره داران و حشرات به این طریق عمل نمی کنند. در عوض، زمانی که تقارن اولیه سلول مادر شکسته می شود، علائم فرعی که در گزادیان های شیمیایی سه بعدی پیچیده احاطه کننده آنها به رمز در آمده اند، به عنوان موتورهای اصلی ای عمل می کنند که رشد آنها را طراحی می کنند. مکان دقیق یک سلول درون این گزادیان ها، هم روش برنامه ریزی و هم سرنوشت آن را مشخص می کند. هر سلول، اطلاعات موضعی گزادیان را می خواند و با فعال کردن آرایه ای از فاکتورهای نسخه برداری یا جلوگیری از آن، این اطلاعات را به طرح متفاوتی از بروز ژن ترجمه می کند. از این رو، گزادیان غلظت یک سیگنال تنه های ریخت زا (مورفوژن)^{۳۶}، بسته به این که از آستانه غلظت واکنش عبور شده باشد یا نه، می تواند ورقه هایی از سلول ها را به مناطقی از حالت های دیجیتال ON/OFF، تقسیم کند. اگر بیش از یک مورفوژن در گزادیان اطلاعات مشارکت کند، در این صورت ممکن است رمز مورفوژنتیک ترکیبی باشد، که در این صورت ممکن است، واکنش یک سلول معین به غلظت های نسبی هر دو مورفوژن

^{۳۵} Lewis Wolpert
^{۳۶} Morphogen. (۱۵*)

وابسته باشد. اما، همه این فرایندهای کنترل شده ژنی مورفوژنتیک، نهایتاً هم بر ویژگی های اساسی خود- مونتاژی اجزاء پروتئین متکی هستند و هم بر ویژگی های خود- سازماندهی ساختارهای بلند مرتبه تری که این اجزاء به طور مستقیم یا غیر مستقیم ایجاد می کنند.

همان طور که قبلاً شرح داده ایم، گیاهان و جانوران مختلف چند سلولی که از زمان آغاز موجودات چند سلولی اجدادی سطح زمین را زینت بخشیده اند و احتمالاً حیات همه چند سلولی های متفاوت از آنها برخاسته است، بر اساس ویژگی های اساسی مشترک مربوط به ریخت به سه قلمرو وسیع به نام های : حیوان، گیاه و قارچ^{۳۷} خوشه بندی شده اند. هر یک از این قلمروها می توانند به ترتیب، بر اساس ترکیبات آناتومی مشترک به گروههایی تقسیم شوند که تبار (فیلا)^{۳۸} می نامیم. برای مثال تبار کورداتا^{۳۹} یا طنابدار که شامل مهره داران می شود گونه هایی از جانوران را در بر می گیرد که نخاع دارند. از طرف دیگر تبار بی مهرگان آرتروپودا (بندپایان)^{۴۰} که شامل حشرات، عنکبوت ها، خرچنگ ها و تریلوبیت های منقرض شده می شود، گونه هایی از جانوران را در بر می گیرد که بدن بندبند و اندام های متصل (بند بند) دارند و فاقد نخاع هستند. اما مبنای ژنتیک این ریخت های متفاوت چیست و چگونه طرح های اساسی بدنی که بتواند همه شاخه های موجود یا منقرض شده را تعریف کند متولد شده است؟ آیا نوآوری در زمینه ریخت و شکل، مانند تکامل اندام یا اسکلت یک سنجاقک مستلزم به کارگیری مجموعه ای از فرایندها و اجزاء ژنتیک غیر هم پوشان و مجزا است؟ چگونه اطلاعات تاریخی رمزدار مربوط به طراحی به اندام در حال رشد ارائه و تحویل داده می شود، و علاوه بر آن، آیا مجموعه ای از سلول های غیر متفاوت، یک مار پیتون را از یک بابون متمایز می کنند ؟

یکی از خارق العاده ترین یافته های ژنتیک نوین این است که تقریباً همه حیوانات خانواده قدیمی مشترکی دارند که از حدود سی و یک تا سی و نه ژن مشترک تشکیل شده و ژن هوموتیک یا ژن هاکس^{۴۱} نام گرفته است، و این ژن در ساختن اشکال بدن اهمیت حیاتی دارد. پس فرآیند یکپارچه ای وجود دارد که متضمن پیشرفت هریک از حیوانات روی زمین است و ظاهراً همان مجموعه بنیادی از ژن ها می تواند به طور مکرر استفاده شود و اشکال متنوع فراوانی تولید کند. ژن های هاکس قادرند که زنجیره های خطی دی.ان.ا را به معماری سه بعدی موجودات پیچیده زنده ترجمه کنند و به حیات اجازه داده اند که گستره های ریاضی "فضای ریخت" را کاوش کنند.

ژنهای هاکس در نواحی مجزای بدن در طول محوری که از سر تا دم (خلفی_قدامی) کشیده شده است بارز می شوند و عوامل نسخه برداری را با نقش محفوظی از اتصال دی.ان.ا به رمز در می آورند که هوموباکس^{۴۲} نام دارد، و بروز مجموعه بزرگ و گوناگونی از ژن های دست اندر کار رشد را کنترل می کند. برای مثال، تخمین زده می شود که ژن هاکس مگس، به نام اولترا بیتوراکس^{۴۳}، بروز تقریباً ۸۵ تا ۱۷۰ ژن را، که هر یک حاوی یک جایگاه اتصال هوموباکس می باشد تنظیم کند. بعضی از این ژن ها، خود عوامل نسخه برداری هستند و گروهی از رویدادهای پایین دستی را براه می اندازند و اثر ژن های هاکس را تشدید می کنند. ژن هایی که توسط پروتئین های هاکس کنترل می شوند فرایندهای سلولی ای را که مشخص کننده ریخت زایی است^{۴۴} آغاز می کنند. به نظر می رسد که بسیاری از این ژنها بر نرخ تکثیر سلولی، آغاز مرگ برنامه ریزی شده سلول و فرایندهای ایجاد کننده گرادیان ریخت- را تاثیر گذار باشند. مطالعه ژن های هاکس نشان داده است که معمای تولید اشکال پیچیده کمی شبیه معمای کشتی ای است که درون بطری جای گرفته، به این معنی که، گرچه محصول نهایی کاملاً

^{۳۷} Fungi

^{۳۸} Phyla سلسله، دودمان، نژاد. (۱۶*)

^{۳۹} Chordata انواع جانوران شاخه کورداتا در یکی از مراحل رشد خود دارای تیره پشت بوده اند.

^{۴۰} Arthropoda

^{۴۱} Hox

^{۴۲} Homeobox

^{۴۳} Ultrabithorax

^{۴۴} Morphogenesis

غیرممکن به نظر می‌رسد، ولی در واقع می‌تواند با اجرای اصول نسبتاً ساده مهندسی تحصیل شود. برای نمونه، به نظر می‌رسد که تمام حشرات از هزارپا گرفته تا پروانه و از سوسک گرفته تا مگس، همه از یک طرح بدن آبا و اجدادی تکامل یافته‌اند که از مجموعه یکسانی از ژن‌های هاکس ساخته شده است. بنابراین اگر موجودات متفاوتی مانند مگس و کفشدوزک مجموعه یکسانی از ژن‌های هاکس دارند، چطور اشکال چنین متفاوتی دارند؟

بهسازی نقشه‌های بدن اجدادی سی و پنج تبار امروزی و یا بیشتر، در جریان تکامل، می‌تواند به طرق متعددی حاصل شده باشد. تعداد ژن‌های هاکس یک نوع معین می‌تواند با تکثیر ژن افزایش یافته باشد، یا با حذف‌گزینی کاسته شده باشد؛ احتمال دارد که انواع جدید ژن هاکس از طریق تکثیر ژن هاکس به همراه تفاوت در عملکرد، در مدارهای رشد وارد شده باشند؛ ممکن است موقعیت فضایی، زمان بندی یا سطح بروز ژن هاکس به گونه‌ای متفاوت اصلاح شده باشد؛ و ممکن است منطق و روش تأثیر پروتئین‌های هاکس بر هدف‌های خود تعدیل شده باشد. در واقع به نظر می‌رسد که همه این سازوکارها به این شکل و یا آن شکل به کار برده شده باشند.

برای مثال، اهمیت تغییر در سطح و موقعیت بروز ژن هاکس در تکامل، در مطالعاتی که در آن ژن هاکس بارز شده، یا موقعیت‌های جدید فضایی یافته است، ثابت شده است. رابرت پولاک و چارلز بیبریچ^{۴۵} نشان داده‌اند که تغییراتی که به صورت مصنوعی در موقعیت‌های فضایی و اندازه بروز ژن هاکس بی ۸ و هاکس سی ۸، در موش القا شده، می‌تواند به دلیل شباهتی که به نیاکان دارد، ساعت تکامل را به عقب برگرداند و ساختمان استخوان بندی امروزی را به اشکال تکامل یافته قدیمی‌تر که میلیون‌ها سال است در مهره‌داران دیده نشده، تغییر شکل بدهد. این مسئله نشان می‌دهد که چگونه سطح و موقعیت فضایی بروز ژن هاکس قادر است کد ترکیب شونده پیچیده‌ای را که می‌تواند سرنوشت‌های متفاوت و متعددی در جریان رشد داشته باشد، تولید کند. همچنین نشان می‌دهد که چگونه تکامل، حداقل در بعضی موارد، معماری‌های نوینی را با قرار دادن لایه‌های اضافی کنترلی در برنامه‌های ریخت‌زای کهن ایجاد کرده است: یعنی به جای طراحی دوباره عملکردهای جدید با استفاده از اصول اولیه، به شکلی اقتصادی، چیزی را که قبلاً وجود داشته میزان کرده و یا به آن اضافه کرده است.

در مورد حشرات دیده‌ایم که، ظاهراً جانوران جدید می‌توانند بدون نیاز به تکامل یک جعبه ابزار ژن هاکس جدید، خلق شوند. زیرا، ژن هاکس مستقیماً دستوری برای تشکیل ساختمان‌های آناتومی مانند پنجه، بال، پا، یا شاخک صادر نمی‌کند، بلکه به جای این کار، فعالیت برنامه‌های ژنتیکی را که در کار ساخت آنها درگیرند، اصلاح می‌کند. به نظر می‌رسد که قابلیت ایجاد این ضمام در ناحیه معینی از فضای هر سلول حضور دارد. نتیجتاً، می‌توان تصور کرد که ژن‌های هاکس نتیجه خاصی (برای مثال، رشد یک پا) را از مخزنی از نتیجه‌های ممکن که مثلاً شامل رشد شاخک نیز هست، انتخاب می‌کنند. این ژن‌ها ظاهراً جعبه ابزار جهانی تنظیم‌کننده ژن اصلی "طراح" هستند که می‌توانند، در تلفیق با دسته‌ای از مدارهای مجری و ژن‌های ناظر فرعی، به کار روند و برنامه‌های مربوط به رشد را به روش‌های متفاوت تغییر مسیر دهند و هدایت کنند، و بدین ترتیب بافت‌هایی با طرح‌های متفاوت تولید کنند.

به نظر می‌رسد که گونه‌های متفاوت حشرات درون تبار آرتروپودا، در اصل از تکامل برهم‌کنش‌های جدید تنظیم‌کننده بین پروتئین‌های هاکس و خوشه‌ای از برنامه‌های ریخت‌زا که این پروتئین‌ها تنظیم می‌کنند، ایجاد شده باشد. اما درمورد تنوع شکل‌ها بین تبارها چه می‌توان گفت. آیا اعضای مهره‌دار شاخه کورداتا^{۴۶} مانند زرافه‌ها، شامپانزه‌ها و انسان‌ها با مجموعه ژن هاکسی مشابه با اعضای تبار آرتروپودا (بندداران) که شامل حشرات، خرچنگ‌ها و عنکبوت‌ها هستند، ساخته شده‌اند، یا تکامل مهره‌داران به وساطت مجموعه ژن هاکس جدید و تخصص یافته‌ای نیاز دارد؟

این حقیقت که ظاهراً خوشه ژن‌های هاکس حاضر در آرتروپودا، به دفعات درون عناصر متفاوت تبار کورداتا کپی شده نشان می‌دهد که نوآوری‌های مهم در طرح بدن، نیاز به تکامل ژن‌های جدید هاکس دارد. اما این نیز جالب است که به

^{۴۵} Charles Biebrich و Robert Pollak
^{۴۶} Chordata

نظر می رسد تنوع ریختی درون مهره داران نیز مانند حشرات، واقعاً توسط مجموعه ژن هاکس یکسانی ایجاد شده است. پس می توان نتیجه گرفت که تفاوت های عمده در طرح بدن، مانند تفاوت های مابین آرتروپودا و کورداتا اصولاً با افزایش تعداد ژن های هاکس حاصل می شود، در حالی که تغییرات نسبتاً کوچک در زمینه آناتومی، مانند تفاوت های آناتومی دیده شده میان انسان مدرن، انسان نئاندرتال، فیل، گربه آفریقایی و سگ آفریقایی، ممکن است از طریق برنامه نویسی مجدد مدارهای تنظیم کننده ضمايم معینی از ژن های هاکس حاصل شوند. به نظر می رسد که توانایی مجموعه های نسبتاً مجزایی از ژن های هاکس که به شکل متفاوتی تنظیم شده اند برای ایجاد شکل های بی شباهتی مانند کرگدن و کانگورو ناشی از موضوعات زیر باشد: سطوح متعدد مدارهای کنترلی که به طور سلسله مراتبی سازمان یافته اند و ژن های هاکس در آن نقش هماهنگ کننده مرکزی را بازی می کنند، روش ترکیب شونده مدارهای مختلف تنظیم کننده ژن های هاکس که می توانند آرایش های متفاوتی از فضا- زمان نقشه بدن را بروز دهند، و هم این حقیقت که ظاهراً همه سیستم های تنظیم کننده هاکس سازمانی مدولار (بخش بخش) دارند، به طوری که یک زیر سیستم ژن هاکس می تواند بدون تاثیر بر دیگران، به طور انتخابی تعدیل یا آرایش شود.

ولی همه چیز به این آسانی نیست. گونه های مهره داران در واقع در محلفات ژن هاکس خود کاملاً متفاوتند. برای نمونه، موش سی و نه ژن هاکس دارد، در حالی که ماهی پفکی فوگو فقط سی و یک ژن هاکس دارد. بنابر این به نظر می رسد که مهره داران برای ساختن شکل های نوظهور، از یک کیت ژن هاکس جهانی استفاده نمی کنند و همچنین، برخی گونه ها ممکن است با اضافه کردن ژنهای مجزای هاکس به ژنوم خود و یا حذف برخی از آنها، ریخت نهایی خاصی به دست آورده باشند.^{۴۷}

در حدود ۵۳۰ میلیون سال پیش یا بیشتر، در انفجار بزرگ تکامل حیوانات که به نام انفجار کامبرین شناخته شده است، در دوران زمین شناسی پرشتابی که فقط شش تا ده میلیون سال دوام داشت و سرشار از شوریدگی خلاقانه بود، حقیقتاً همه تبارهای اصلی حیوانات (من جمله موجود ریز کرم مانند و به نام پیکایا و موجود دیگری به نام یونانوزون لیویدوم^{۴۸}، یعنی اولین کورداتایی که ممکن است نیای اولیه ما بوده باشد) به وجود آمدند. علاوه بر این، ممکن نیست که تبارهای اصلی حیوانات فقط به تغییرات در تعداد ژن های هاکس وابسته بوده باشند. درحقیقت ویلیام جفری و بیلی جی سوالا^{۴۹} نشان داده اند که یک ژن تنها به نام مانکس^{۵۰}، که عامل نسخه برداری ای را به رمز در می آورد که شامل حوزه هومنوباکس نیست، می تواند مسنول راه انداختن آبخاری از ژنها باشد که طرحهای بدن شبیه کورداتا و مشخصه های لاروی نیام دار، شامل یک دم و نخاع ابتدایی را تولید می کند. مانکس یک ژن تنه است، که ظاهراً به خانواده عوامل نسخه برداری هاکس ارتباطی ندارد، بنابراین ممکن است در تکامل تبار کورداتا نقش حیاتی بازی کرده باشد.

بسیاری از ژن های دیگر نیز در سطوح گوناگون دست اندر کار طراحی قابل توسعه سیستم هایی هستند که به طور سلسله مراتبی سازمان یافته اند. برای نمونه، به نظر می رسد که ژن "چی" و "گرهی"، دست اندرکار تعیین عدم تقارن چپ/ راست باشند، در حالی که خانواده تی باکس که از آغازگران نسخه برداری هستند، علاوه بر کارهای دیگر، در ریخت زایی قلب و اندام ها دست دارند. از طرف دیگر، به نظر می رسد که ژنی به نام "نابینا" که عامل نسخه برداری غیر هومیوتیک^{۵۱} است، می تواند از طریق تشخیص اجزاء تنظیم کننده در مجموعه ژن هایی که در کار ساخت چشم دخیل هستند، یکی از کنترل کننده های اصلی تکمیل چشم باشد. جورج هالدر، پاتریک کالرتس و والتر گرینگ^{۵۲} نشان داده اند که اگر ژن "نابینا" در بخش هایی از مگس که معمولاً نمی توانند فعال باشد به طور مصنوعی بروز یابد، تا ۱۴ چشم اضافی می توانند در نواحی مورد نظر، مثلاً روی بالها، پا یا بافت های دیگر رشد کنند. مجدداً یک کشتی در بطری جای می گیرد. منظور این است که یک ژن تنه ای

^{۴۷} Cambrian Explosion

^{۴۸} Yunnanozoon lividum

^{۴۹} Billy J. Swalla و William Jeffery

^{۵۰} Manx

^{۵۱} Homeotic

^{۵۲} Walter Gehring و Patrick Callaerts و George Halder

نابینا قادر است که بافتی را که به طور معمول قرار است یک بال یا شاخک بسازد بگیرد و آن را به یک ساختار بسیار پیچیده و منطقاً غیرمحمتمل مانند چشم تبدیل کند. ولی به نظر می رسد که حتی ژنی با توانایی " نابینا" در سلسله مراتب پایین قرار گرفته است و بنابراین تحت کنترل نهایی ژن اسباب بازی ای است که ظاهراً قادر مطلق است، و شامل قلمروی هومئوباکس و نتیجتاً عضوی از خانواده عوامل نسخه برداری ژن هاکس است. کاملاً احتمال دارد که عکس این اتفاق بیافتد و ژن هاکس در قله سلسله مراتب فرآیندهای کنترلی چند لایه ای قرار گیرد که بر ساخت طرح بدن جانور تاثیر می گذارند.

اما، با وجود توانایی خارق العاده این نوع ژنهای اصلی کنترل کننده رشد، بعید است که تکامل، با وساطت پرش های پله ای ژن هاکس در فضای ریخت ها، به روال عادی پیش رفته باشد. بیشتر به این دلیل که تغییر در ژن کنترل کننده اصلی، می توانست آنقدر اثرات پایین دستی ایجاد کند که اجازه ندهد طرح بدن دست آمده طرح موفقی برای زندگی باشد. با این وجود، هنوز این مورد باقی است که به نظر می رسد حدوداً همه سی و پنج طرح مربوط به آناتومی اصلی حیوانات امروزی در دوران خیره کننده ای از زمین شناسی که فقط ۶ میلیون سال به طول انجامید شکل گرفته اند. نتیجتاً ممکن است موضوع این باشد که در سپیده دم شکل گیری حیوانات، زمانی که حیات راهی را کشف کرد که به زیر ناحیه فضای ژن هاکس در فضای ژن منتهی می شد، تکامل توانست نسبتاً آزادانه شکل های متفاوت بدن را تجربه کند. اما، به محض این که به دنبال کشت و کشتار سیستماتیک (ده یک کشی^{۵۳}) توسط رویدادهای تصادفی تاریخی و انتخاب طبیعی، مجموعه ای از سی و پنج طرح بدن از خزانه بازیگوش خلاقیت انتخاب شد، و حیات در را پشت سر این طرحها بست، محدودیت های اصلی آغاز شد و از احتمال طراحی دوباره یا دگرگونی اساسی در منطق بنیانی بدن ممانعت به عمل آمد.

در حقیقت از آغاز انفجار کامبرین به بعد هیچ تبار جدیدی پدیدار نشده است. همه نوآوری هایی که بعداً تکامل یافتند در عین این که درون چهارچوب محدودیت های عمیقاً ریشه دار گذشته کار کرده اند، همان طرح های قدیمی را فقط تنظیم و میزان کرده اند. در نتیجه، به احتمال بسیار زیاد، اکتشاف های طبیعی تکامل فقط در حجم کوچکی از فضای همه طرحهای ممکن بدن که علی الاصول می توانسته روی زمین به وجود آید، غوطه خورده و آنها را کاوش کرده اند. و این سخن به این معنی نیست که نمی توان از طریق کاوش و کشف مصنوعی " فضای ژن هاکس " مربوطه، اشکال بسیار جدیدی را از هایپرمارکت همه طرحهای بدن ممکن، بازیابی نمود. اما به هیچ عنوان معلوم نیست که این فضای ریاضی شامل چه تعداد شکل قابل تحقق متفاوت است، یا در حقیقت معلوم نیست که تاریخچه تعدادی از طرحهای بدن را در انفجار کامبرین آزمایش کرد. علاوه بر این ما می توانیم بار دیگر ماهیت تصادفی وجود نوع انسان را مشاهده کنیم؛ چرا که اگر طرحهای بدن تبار کورداتا که اولین نمایندگانش پیکایا و یونانوزون لیویدوم بودند، به دلایل مختلف و به گونه ای تصادفی ده یک کشی می شدند، به احتمال قوی هیچ حیات انسانی در روی زمین موجود نمی بود و به طریق اولی هیچ معبد، نقاشی، کشتی بخار و کامپیوتری هم وجود نمی داشت.

سوزان راتر فورد و سوسن لیندکوئیست^{۵۴} در ۱۹۹۸ نشان دادند که بسیاری از جهش های ژن که برای برنامه های طراحی قابل توسعه حیاتی اند، به طور فنوتایپی خاموش هستند. ثابت شد که پروتئین مربوط به ضربه حرارتی به نام Hsp90 این مشکل را با ذخیره تاثیرات اساسی پروتئین های جهش یابنده حل می کند. بنابراین Hsp90 اجازه می دهد تا خوشه هایی از جهش های متعدد متفاوت در ژن ها، بدون وارد کردن هیچ نوع تغییر واضح فنوتایپی در آن، انباشته شوند. اما بعد از این که جهش ها مثلاً توسط حرارت های زیاد انباشته شدند، حتی اگر تابع Hsp90 به حال اول خود بازگردد، فنوتایپ های این خوشه جهش یابنده خاموش می توانند بارز شوند و حفظ شوند. این کار راه های فراری را به وجود می آورد که وسیله قدرتمندی را برای تکمیل تغییرات سریع و هماهنگ و قابل توسعه، در پاسخ به اضطرابهای محیطی پایه گذاری می کنند، و راهی برای پیچیده سازی است، نه طراحی بنیادی فرآیندهای رشد از نو، که در شرایطی غیر از این ممکن بود ثابت درجای خود بایستند.

^{۵۳} Decimate. طبق قرعه از هر ده نفر یکی را کشتن. یکدهی کشتن. کشت و کشتار کردن
^{۵۴} Suzanne Rutherford & Susan Lindquist

چهارمین گذار بزرگ تکاملی در تاریخ حیات، تکامل مغز بود. ساختن این عمارت پیچیده، مانند ریخت زایی بقیه حیوانات، به تکامل و فعالیت های هماهنگ زیرمجموعه ای منحصر به فرد از ژن های تنظیم کننده اصلی وابسته بود، که به دستورالعمل های درونی و بیرونی لازم برای طراحی ساختارهای بخش قدامی مغز، میان مغز و پسین مغز (که سازنده مغز هستند) کمک می کردند. فیلیپ کراسلی، سالوادر مارتینز و گیل مارتین^{۵۵} اثبات کرده اند که به سادگی می توان با بارز کردن مصنوعی یک ژن تنها به نام Fgf8، در بخش هایی از بافت که معمولاً ساختارهای بخش قدامی مغز را به وجود می آورد ساختارهای میان مغز نا به جا را ایجاد کرد. به نظر می رسد که مجموعه ژن های مشابهی، طراحی مغز را هم در حشرات و هم در مهره داران سامان می دهند، که نشان می دهد احتمالاً یک برنامه محافظت شده جهانی برای تثبیت طرح بنیادی همه انواع مغزهای شناخته شده وجود داشته است.

تکامل ریخت مغز و نوروں های سازنده آن و سلول های گلیم^{۵۶} همراه شد با تکامل همزمان مجموعه ای اجدادی از مولکول های شیمیایی فرارسان عصبی^{۵۷}، که اطلاعات را بین نوروں ها توسط کدی مبتنی بر فرکانس و شاید هم زمانمند مخابره می کردند. تنظیم دقیق مدارات نوروںی مغز متکی بر تجربه است. برای مثال، در هنگام تکامل قشر مخ، کاهش فعالیتی که در نتیجه انعقاد چشم در اوایل تکامل ایجاد می شود، تغییری دائمی در ریز معماری و پیوستگی قشر مخ به وجود می آورد. از این رو ساختار آناتومی میکروسکوپی بالغ مغز منحصرأ درون ژن ها سیم بندی نشده است، بلکه منعطف و وابسته به فعالیت درون مدارهای نوروںی غیر بالغ، در جریان رشد است.

با تکامل مغز، ظرفیت پردازش پیچیده اطلاعات، یادگیری انفرادی، رفتار پیچیده و ماهرانه، شناخت، و در مورد انسان، آگاهی پدید آمد. تکامل ظرفیت یادگیری، اجازه داد که بانکهای اطلاعاتی مربوط به ساختارهای دنیای خارج در طی عمر یک فرد گردآوری شوند. این بانک های اطلاعاتی اجازه می دادند که پاسخ های رفتاری به موقعیت های تصادفی، به جای تکیه بر تجربه تاریخی به رمزدآمده ژنتیک نیاکان خود، بر پایه تجارب گذشته همان فرد اصلاح شوند. بنابراین شدت به هم پیوستگی نوروں ها درون مغز، منبعی اضافی را برای اطلاعات اندوخته تجربی فراهم آورد، که می توانست برای تکمیل بانکهای اطلاعات ژنتیک رمزدار، درون زنجیره های دی.ان.ا. ی ژن مورد استفاده قرار گیرد. اما، برخلاف بایگانی های ژنتیک، اطلاعات به دست آمده در جریان یادگیری، بدواً نمی توانند بین نسل ها منتقل شوند.

مثالی از این گونه اطلاعات عبارت است از یادگیری از راه تداعی (معانی)، که به ارگانیسم ها اجازه می دهد نشانه های محیطی مانند بو و رنگ را به پیامدهای خاص، مانند وجود غذا یا ناخوشی مربوط کنند. گرچه اطلاعاتی که به این طریق به دست می آید مستقیماً به ژن ها وابسته نیست، ولی در بعضی موارد می تواند توسط ژن ها تحمیل شود، که در این حالت تداعی بین برخی رویدادها و نشانه ها راحت تر از بقیه برقرار می شود. تکامل مغز همچنین موقعیت های خوب جدیدی برای انگل ها ایجاد کرد، که قادر بودند رفتار سایر ارگانیسم ها را دستکاری کنند و به همکاری بپذیرند. برای نمونه، انگل مالاریا، پلاسمودیوم فالسیپاروم، قادر است که رفتار پشه میزبان آنوفل را طوری اصلاح کند که بیشتر پرتله بزند و قربانی های خود را بیشتر نیش بزنند. گرچه این کار کاملاً برای پلاسمودیوم فالسیپاروم مفید است، چون شانس آلودگی میزبان های جدید را افزایش می دهد، ولی برای پشه زیان آور است، چون معمولاً بعد از فروکردن نیش، در اثر ضربه مگس کش می میرد.

همچنین مغز یک وسیله محاسباتی عمومی ساخت که می توانست به عنوان مبنایی برای رشد سیستم های حسی پیشرفته ای که در گیر بینایی، بویایی، شنوایی، چشایی و لامسه و سیستم های پردازشی سطح بالاتر آنها هستند، مثلاً تشخیص طرح ها استفاده شود. مغز، همچنین پایه ای محاسباتی برای تکامل سیستم های حرکتی پیشرفته، رفتار هماهنگ گروهی از

^{۵۵} Philip Crossley و Salvador Martinez و Gail Martin

^{۵۶} Neuroglia و Glia بافت پشتیبان دستگاه عصبی مرکزی در مهره داران

^{۵۷} Neurotransmitter ماده ای که موجب انتقال انگیزه ها و پیام ها در اعصاب می شود

اجزاء حرکتی متفاوت و انواع سیستم های ادراکی که مثلاً میمون یا سنجاب را قادر می سازد تا از فواصل زیاد، بدون این که به زمین بیافتند، از یک درخت به درخت دیگر بپرند، فراهم کرد.

همچنین، تکامل مغز و فرآیندهای یادگیری جاده را برای کشف کلیدی که به فضای ریاضی متفاوتی به نام هشیاری، یا در مورد انسان، به آگاهی منتهی شد، صاف کرد. این مسئله مستلزم کشف فضای همه تصاویر ذهنی ممکن بود، که آگاهی ناحیه کوچک ولی شدیداً اصلاح شده ای از آن را اشغال می کرد. ظرفیت تصاویر ذهنی، ایجاد مدل های ذهنی از سناریوهای این جهانی را امکان پذیر ساخت. این مسئله اجازه داد که پیامد فعالیت های مختلف احتمالی، قبل از تعهد سپردن به آلترناتیو خاصی توسط شبیه سازی ذهنی امتحان شوند. به این ترتیب، احتمال یک پیامد نامساعد بسیار کاهش می یافت. برخلاف فضای ژن، که فقط به آهستگی و به طور متوالی می تواند سیاحت شود، فضای فکر که توسط مغز انسان آگاه تولید شده چنین محدودیتی ندارد. حجم های عظیمی از این فضای اطلاعات آن می تواند سیاحت شوند و راه حل های مناسب به راحتی و بدون محدودیت از دورترین زوایا بازیابی شوند. به این ترتیب، تکامل مغز اجازه داد که موجودات زنده تغییراتی با بسامد بالا را دنبال کنند، که بی نهایت بیشتر و پیچیده تر از همه چیزهایی است که نیاکان بدون مغز او هرگز می توانستند به دست بیاورند. همچنین برای اولین بار، این امکان توسط سازوکارهای فرا-ژنی فراهم شد که برای مشکلات محیطی، مانند تنظیم حرارت، راه حل های قابل انطباق به دست آید. مثلاً، به جای تکامل خز ضخیم، انسان توانست لباس را اختراع کند و رام کردن آتش را فرا بگیرد.

پنجمین انتقال بزرگ نیازمند تکامل سازو کاری بود که بتواند اطلاعات فرا-ژنی به دست آمده در جریان یادگیری فردی را با استفاده از فرآیندی فرا-ژنی که انتقال اطلاعات بین افراد را میسر می کند، یعنی فرهنگ، انتقال دهد. تکامل ساز و کارهای فرهنگی اکتساب، نمایش و انتقال اطلاعات، فرآیندهای حیات را در خط سرعت اطلاعاتی شتاب بخشید و خیزی کوانتومی در اندازه، طبیعت و حد بانک های اطلاعاتی قابل دسترس برداشت، که در آن، راه حل های مسائل محیطی می توانستند به طور سیستماتیک به رمز درآیند و جستجو شوند.

در موارد پیشرفته تری از انتقال اطلاعات فرهنگی، اطلاعات می توانند علاوه بر انتقال از یک مغز به مغز دیگر، به صورت تجسم های غیر بیولوژیک مانند ابزارهای ساخته شده، نقاشی ها، نشانه های سمبلیک ابتدایی، و سیستم نوشتاری تکامل یافته، بارگیری شوند. در انسان، که اولین بار حدود ۴ تا ۵ میلیون سال پیش در آفریقا پدیدار شد و به طور خود کار انسان از نظر آناتومی نوین یعنی هوموساپینس را در حدود ۱۵۰ هزار سال پیش به وجود آورد، این فعالیت ها به حد غائی خود رسیدند. این کار با ساختن ابزار سنگی در حدود ۲٫۵ میلیون سال پیش شروع شد و در نقطه شروع زبانهای ناطق در بیش از ۴۰ هزار سال قبل و نشانه گذاری سمبلیک در حدود ۱۳ هزار سال قبل به اوج خود رسید. این، نوآوری های عمدتاً فرهنگی بودند که حدود ۱۱ هزار سال پیش کمک کردند، تا در جنوب غربی آسیا در ناحیه هلال حاصلخیز^{۵۸} (بین النهرین) که از جنوب شرقی ترکیه تا غرب ایران کشیده شده بود، پایه های آغاز کشاورزی گذاشته شود. اسناد باستان شناسی نشان می دهند که فقط حداکثر چند قرن لازم بود تا دهکده های شکارچی-گردآورنده را که گیاهان وحشی را درو می کردند، به دهکده های کشاورزی تبدیل کند که نباتات کاملاً اهلی می کاشتند و درو می کردند و حیوانات اهلی را نگاه می داشتند.

توسعه و گسترش بعدی سیستم کشاورزی این مردم را قادر ساخت تا سرانجام، با اقتصاد رقبای شکارچی-گردآورنده خود رقابت کنند و بر آنها پیشی بگیرند و زمینه استقرار جمعیت های بزرگ غیر مهاجر و پرسکنة انسان را فراهم آورد. متعاقب آن، ایجاد اجتماع های طبقاتی پیچیده، که فعالیت های مربوط به تولید غذا در آن، به بعضی از اعضای آن اجتماع محدود می شد، سایرین را آزاد گذاشت تا سرباز، کاتب، ماموردولت، تاجر، هنرمند، فلزکار، و صنعتگر حرفه ای شوند. این مسئله در جای خود، در حدود ۱۰ هزار سال پیش جاده را برای ظهور تمدن های بزرگ تاریخ بشر، یعنی اولین شهرها، و جوامع نوین صنعتی صاف کرد.

^{۵۸} Fertile Crescent (۱۷*)

اما انسان تنها گونه ای نیست که سازوکارهای فرهنگی مربوط به کسب، نمایش و تداوم اطلاعات را به تکامل رسانده است. استفاده از ابزار، مدتهای طولانی عیار فرهنگ انسان بوده است، چون ساخت ابزار نیازمند این است که شکل جدیدی بر شیء که در اصل ممکن است متفاوت به نظر برسد و هدف متفاوتی داشته باشد، تحمیل شود. این کار نیاز به وجود نوعی تجسم ذهنی از محصول نهایی در مغز سازنده دارد. ثابت شده است که نوعی از کلاغ های کالدونیای جدید به نام کورووس مومدولویدس^{۵۹} دونوع ابزار متفاوت قلاب مانند برای گرفتن قربانی های بی مهره خود می سازند و آنها را به کار می برند. بنابراین، این نمونه ای عالی از استفاده از ابزار، و نتیجتاً وجود فرهنگ ابتدایی در حیوانات است. این ابزارها با ابزارهایی که اولین بار در فرهنگ انسان اولیه ای که استخوان و سنگ به کار می برد، ظاهر شدند، شکل مشترکی دارند و نشان می دهند که ساخت ابزار توسط کلاغ ها کارایی فنی قابل توجهی را به دست آورده است.

معلوم شده است که در گینه، شامپانزه ها از چوبهای قلابدار دراز برای رسیدن به شاخه های درخت انجیر استفاده می کنند، و بدون آن قادر به این کار نیستند. آنها همچنین ابزارهای مخصوصی را برای کارهای دیگر می سازند که اندازه، وزن، ماده سازنده، سختی و طول های متنوع دارند. همچنین شواهدی وجود دارد که نشان می دهد تکامل نهنگ عنبر^{۶۰} می تواند تحت تاثیر خصلت هایی قرار گیرد که توسط فرهنگ انتقال یافته اند و نیازمند رفتارهای اکتسابی ای است که از مادر ها به اولاد می رسد. ضمناً، آواز پرندگانی مانند طوطی و هامینگ برد (مرغ مگس خوار) که هم در جذب جفت و هم در دفاع از اقلیم خود اعمال مهمی انجام می دهند، نمونه دیگری است از اطلاعاتی که در حیوانات از طریق فرهنگ انتقال می یابند.

اینک به پایان سفر خود نزدیک می شویم. و با تکمیل کاوش خود در تاریخ و ساختار موجودات زنده، به زودی، بررسی مختصری از آینده حیات را آغاز خواهیم کرد. اما، قبل از انجام چنین کاری، لحظه ای تامل خواهیم کرد تا بعضی از اصول را که در سر راه ما سبز شده اند بررسی کنیم. از همه مهم تر این است که، تا کنون باید روشن شده باشد که می توان اطلاعات موجودات زنده را طوری در ذهن مجسم کرد، که انگار در مجموعه های متعددی از فضاهای به هم پیوسته ریاضی پراکنده شده اند و هر کدام ویژگی ها و محدودیت های خاص خود را دارند. سرانجام، اگر به جای این که فقط مشخصه های ژنتیک ارگانیسم را بیان کنیم، بخواهیم آن را توصیف کنیم، باید اطلاعات موجود در هر یک از این سطوح را مورد توجه قرار دهیم. این سطوح عبارتند از کسب، نمایش و انتقال اطلاعات مربوط به ژنتیک، رشد، و آموزش و فرهنگ. سطوح بالاتر، سطوح پایین تر را به شکل سلسله مراتبی وتو در تو در داخل خود جای داده اند، به طوری که سطوح پایین تر سطوح بالاتر را در تنگنا قرار می دهند. اما می توان حدس زد که مقدار محدودیت در سطوح متوالی را می توان میزان کرد، برای این که گرچه ممکن است فکر انسان نهایتاً توسط ژنهای سازنده مغز محدود شود، وگرچه فرهنگ مفهومی کلی است که عمیقاً در تاریخ ژنتیک ریشه دارد، ولی بعید است که این مفاهیم به اندازه فنوتایپ هایی مانند رنگ چشم، که مستقیماً توسط ژن ها کنترل می شوند، قوی باشند.

بهترین کار این است که مخلوقات زنده را به مانند کیت های اطلاعاتی درون یک باغ وحش اطلاعات در نظر بگیریم. به جای صحبت در مورد فاصله های موجود بین زنجیره های دی.ان.ا ی موجودات متفاوت، بهتر است که برحسب فواصل اطلاعاتی فکر کنیم. گرچه برخی از واحدهای اطلاعات به وضوح اساسی تر از بقیه هستند، اما برای ساخت نسخه دقیقی از یک موجود زنده، به اطلاعات در همه سطوح مربوطه نیاز داریم. مثلاً اگر می خواستیم که یک "دودو"ی تاریخی دقیق را بازسازی کنیم، توضیحات یک کیت ژن کافی نبود. این مسئله از این واقعیت برمی خیزد که اطلاعات ژنتیک، خود لایه های پیچیده متعددی دارد و نیز این واقعیت که جوهری از اطلاعات یک "دودو" احتمال دارد که در فضاهای اطلاعاتی متعددی منجمله رشد، یادگیری و فرهنگ پراکنده شده باشند.

^{۵۹} Corvus momeduloides
^{۶۰} Sperrm Whale

از این گذشته، اگر ندانیم که در جریان نقش پذیری اپی ژنتیک^{۱۱} موروثی مانند متیلاسیون دی.ان.ا و استیلایسیون پروتئین هیستون، کدام ژن ها عملکردشان خاموش شده است، اطلاعات زنجیره دی.ان.ا ژنوم به چه درد می خورد؟ این فرآیندهای اپی ژنتیک به زنجیره های یکسان دی.ان.ا اجازه می دهند که کارکردهای کاملاً متفاوتی داشته باشند. بنابراین چیزی که ما نیاز داریم شرح کامل اطلاعات ژنتیک نیست، بلکه همچنین همه اطلاعات مربوط به اپی ژنتیک است. درحقیقت اثر اطلاعاتی اپی موتاسیون^{۱۲} بر روی یک موجود فقط می تواند به اندازه یک جهش در باز نوکلئوتید باشد. مثلاً، سلول های سرطانی غالباً الگوهای متیلاسیون دی.ان.ا را تغییر داده اند و مشخص است که ژن های منقش، نقش مهمی در تکامل بسیاری از حیوانات و گیاهان داشته اند.

علاوه بر این، ژنها تنها منبع اطلاعات درون موجود زنده نیستند که به ارث برده می شوند. به نظر می رسد که قارچ و خمیرمایه، سیستم های وراثتی مبنی بر پروتئین (مانند پرویون) را در اندازه بسیار محدودی به کار می برند. فرآیند تکامل همچنین لایه های اطلاعاتی بسیاری دارد که درون زنجیره دی.ان.ا عرضه نمی شود. برای مثال، عدم تقارن تخمک که فرآیند تکامل را در بسیاری از موجودات زنده استتار می زند و علامت فولیکولی که مادرانتقال می دهد، لزوماً نمی تواند از یک ژنوم مستقل محاسبه شود. رشد ساختارهای کامل، همچنین از بافت محیطی که در آن ساخته می شوند تاثیر می پذیرد. همان طور که قبلاً دیده ایم، معماری مدارهای کورتکس (قشر خارجی مغز)، به طور حیاتی به الگوهای مناسب فعال سازی (برانگیختگی) نورونها در خلال تکامل وابسته است. همچنین، تغییرات دمایی می تواند اثرات عمیق در فرآیندهای تکامل داشته باشد. علاوه بر این، برخی ساختارهای سلولی مانند میتوکندری مستقیماً از مادر به ارث رسیده اند و بنابراین نمی توانند از یک زنجیره ژنوم مستقل استنتاج شوند. پیوستگی فیزیکی ساختارهای غشاء سلول مادر و فرزندان نیز منبع دیگری از اطلاعات را تشکیل می دهد، که نمی تواند نمایش مستقیم ژنتیک داشته باشد. همچنین، اطلاعات ذخیره شده در مغز و سیستم عصبی پیرامون آن فاقد نمایش ژنتیک هستند، همان طور که اطلاعات فرا-ژنتیک مربوط به فرهنگ نیز که از یک فرد به فرد دیگر منتقل می شوند فاقد این نمایش هستند و اطلاعات آنها در دستگاه نمایش غیر بیولوژیک ذخیره می شود.

بنابراین، اطلاعات و پراکندگی غیر متقارن آنها بین موجودات زنده مختلف، مفهومی است که هنگام مطالعه موجودات زنده برای اتحاد آنها به کار گرفته می شود. چون گونه های مختلف موجودات اطلاعات خود را با حسادت محافظت می کنند و از اطلاعات گونه های دیگر جدا می کنند، ممکن است به نظر برسد که "باشگاه های اطلاعات" خصوصی تشکیل می دهند. از این رو حیات، خود می تواند به عنوان الگویی ریاضی در یک فضای چند بعدی و بدون زیرلایه دیده شود. نتیجتاً ممکن است فرآیندهای اپی ژنتیک، تکامل، یادگیری و فرهنگ به عنوان ابعاد بالاتر فضای ژن، یا فوق فضای ژن مشاهده شود. فرآیند تاریخی تکامل از طریق انتخاب طبیعی مستلزم کشف گروهی از فضاهای راه حل های ریاضی در ابعاد بالاتر است، که توپولوژی، قوانین جستجو، محدودیت ها، آسانی سیاحت و پراکندگی جواب هر یک از این فضاها خاص خود آنهاست. ممکن است تصور شود که مشکل منطقی ای که توسط محیط ارائه می شود، به مجموعه ای از فضاها منشعب می شود که کیفیت متفاوتی دارند و شامل راه حل هایی هستند که برای یک ارگانیسم معین قابل دسترسی است. اگر راه حل مسئله ای در یک فضای اطلاعاتی یافت نشود، می توان راه حل آن را در فضای دیگری جستجو کرد. اگر راه حل های منطقی در بیش از یک فضا وجود داشته باشند، سطح فضایی که راه حل باید در آن فراهم شود، می تواند با در نظر گرفتن بهینه سازی های متفاوت معین شود.

هر فضای راه حل، بهای خود را برحسب قیودی که تحمیل می کند، راحتی جستجوی فضا، هزینه نگهداری تصویر، استحکام راه حل و اعتبار آن تحصیل می کند. راه حل مهیا شده در سطح ژنتیک، گرچه به آهستگی به دست می آید، ولی بر پایه تجارب آزموده و امتحان شده تاریخی قرار دارد و بنابراین قابل اتکاء است. همچنین این راه حل به لطف سازوکارهای متعددی که از اطلاعات محافظت می کنند و قبلاً شرح دادیم، نسبتاً با ثبات است. این سازوکارها عبارتند از: ترمیم دی.ان.ا و آنزیم های

^{۱۱} پس زایشی، تشکیل نطفه از نو - Epigenetic (*۱۸)
^{۱۲} Epimutation. (*۱۸)

اصلاح کننده، پروتئین های نقاط بازرسی، نقشه کد ژنتیک، افزونگی^{۶۳}، استحکام راه های بیوشیمیایی، و حضور مراقب های مولکولی مانند Hsp90 که می تواند اثر فنوتایپ بعضی از پروتئین های جهش یابنده را از طریق کمک به تاخوردن آنها پنهان کند. اما در نتیجه ماهیت سیم بندی اطلاعات به نمایش در آمده ژنتیک، استفاده از راه حل های مبتنی بر دی.ان.ا محدودیت های ژرفی را به یک ارگانیسم تحمیل می کند.

از طرف دیگر، راه حلی که در سطح فرهنگ فراهم می شود، می تواند به سرعت استفاده شود و ممکن است نگهداری از آن گران تمام شود (چون مغز به نحو حیرت آوری گلوکوز مصرف می کند) و اگر این راه حل در تاریخ آزمایش و تست نشده باشد ممکن است متحمل خطاهای نمونه برداری شود. علاوه بر این، بانکهای اطلاعات فراژنتیک ممکن است کمتر از بایگانی های ژنتیک پایدار باشند، چنان که مثلاً یک کامپیوتر ممکن است از کار بیافتد و کتاب هم ممکن است آتش بگیرد یا گم شود. اما، برخلاف اطلاعات ذخیره شده در سطح ژن، اطلاعات فرهنگی کمتر احتمال دارد که محدودیت های برگشت ناپذیر وارد سیستم کنند. در حقیقت یکی از بزرگترین فواید اطلاعات فرهنگی این است که می تواند به آسانی دوباره برنامه ریزی شود و بنابراین نتایج آن بازگشت پذیر هستند. علاوه بر این، این روش که طرح جامع یک برنامه به طور ژنتیک ترسیم شود و اجازه داده شود که جزئیات آن به کمک تجربه پر شوند، به ارگانیسم ها اجازه رفتار تغییر پذیر می دهد و آنها را قادر به تطبیق سریع و بسیار کارآمد با موقعیت های جدید می سازد.

علاوه بر این برداشت عمومی که معتقد است موجودات زنده ساختارهای اطلاعاتی هستند، برخی از مفاهیم اصلی دیگری که ما با آن روبرویم این واقعیت را بیان می کند که وجود موجودات زنده عمیقاً از نظر تاریخی تصادفی است و همچنین نشان می دهد که می توان بین وجوه مادی و صوری موجودات زنده تمایز قائل شد. تاریخ را نیز می توان مانند جانوری مشاهده کرد که همچنان که بی تفاوت درون فضاها ریاضی به هم پیوسته ای پیچ و تاب می خورد که حیطه کامل همه موجودات ممکن و روابط و رویدادهایی را که آنها را به یکدیگر پیوند می زند، مشخص می کند، ماده و مایه برگشت ناپذیری به نام زمان را مصرف می کند.

تاریخ موجودات زنده، مانند طراحان مد که نمونه های معدودی از کلکسیونهای خود را در راهروهای سالن های مد پاریس به نمایش می گذارند، یک ویرترین محض از امکانات حیات بوده است. اگر فقط یکی از رویدادها به طور جزئی تغییر می کرد، همه چیز می توانست کاملاً متفاوت باشد. در واقع اگر لوح ها جابه جا شده بودند، ممکن بود اجداد ما منقرض شوند و انسان نئاندرتال باقی بماند و بر زمین تسلط یابد. از طرف دیگر اگر نقشه بدن^{۶۴} کورداتا در انفجار کامبرین کشف نشده بود، به هیچ وجه انسان نمی توانست تکامل یابد، و اگر یکی از اجداد اولیه نمونه- موجودات به طور اتفاقی به جای موجود دیگری از بین رفته بود، ممکن بود حیات مدرن هنوز مبتنی بر آر.ان.ا باشد، یا از پلیمر اطلاعاتی کاملاً متفاوتی استفاده کند. درحقیقت حیات هرگز نمی توانست شروع شود. علاوه بر این به نظر می رسد که، هنگام مواجهه با لغت طبیعت، به درستی می توان لغت تاریخ را جایگزین آن کرد.

اما در مورد آینده چه می توان گفت؟ در آینده موجودات زنده با استفاده از اصول اولیه طراحی خواهند شد، درست شبیه اتوموبیل ها. اختراع کامپیوترهای دیجیتال قدرتمند، و شاید هم سرانجام، تجهیزات محاسبات موازی یا کوانتومی غول آسا، همراه با سازو کارهای پیشرفته برای خواندن و مهندسی زنجیره های دی.ان.ا، اجازه دهد که جنبه های منطقی صوری و مادی تاریخی حیات با بیشترین جزئیات فهمیده شوند (و به شکل فزاینده ای به این روند ادامه دهد). دی.ان.ا و فرآیندهای تصادفی تاریخی و طبیعی که با طراحی مسیر حیات در طی بیش از میلیاردها سال، تکامل حیات را شکل داده اند، سرانجام با راهبردهای مصنوعی و عمیقاً غیر تاریخی ای که می توانند موجودات زنده را بسازند، مقهور، تکمیل و یا جایگزین خواهند شد.

^{۶۳} Redundancy (۱۹*)
^{۶۴} Bauplan یا (۲۰*).

در اینجا اهمیت دارد که سعی کنیم الگویی را برای آینده حیات ترسیم کنیم که شاید بتواند چهارچوبی جهت سازماندهی و طراحی نوآوری های فنی آینده فراهم کند. هدف این نیست که نسخه تجویز کنیم بلکه می خواهیم به سادگی بیان کنیم که وضع چگونه می تواند باشد. برنامه ای با ۶ هدف مورد نظر من است که به طور آزمایشی آن را پیشنهاد می کنم و به این قرار است :

(۱) مستند سازی کامل جنبه های ظاهری و مادی همه اشکال موجود حیات ؛ (۲) طراحی روش های آزمایشی و الگوریتم هایی برای استنتاج ساختارهای مولکولی و ریخت شناسی اشکال منقرض حیات و شاید نمونه های اولیه حیات ؛ (۳) مهندسی اشکال حیات موجود ؛ (۴) بازسازی و مهندسی اشکال منقرض حیات ؛ (۵) طراحی حیات جدید از اولین اصول با استفاده از پروتئین های طبیعی تاریخی، مواد ساختمانی دی.ان.ا و آر.ان.ا و سیستم های پلیمر طبیعی که اطلاعات و منطق ژنتیک را رمز گذاری می کنند ؛ (۶) طراحی حیات جدید از اولین اصول با استفاده از مواد ساختمانی مصنوعی و غیر تاریخی و سیستم های شیمیایی مصنوعی رمزگذارنده اطلاعات و منطق ژنتیک.

مستند سازی کامل همه اشکال موجود حیات، مستلزم گردآوری اطلاعات متعدد متفاوتی است که شامل بسیاری چیزهاست منجمله : (a) تعیین زنجیره کامل ژنومیک همه موجودات زنده شناخته شده و پروتئوم^{۶۵} همراه آن (زنجیره های بارز پروتئین) (b) استخراج پیوندهایی که در جریان تکامل بین همه انواع موجودات زنده و نیز بین پروتئین های متفاوتی که آنها را می سازند ایجاد شده ؛ (c) شناسایی مجموعه های اصلی ژنهای ضروری که در موجودات مختلف مشترک هستند ؛ (d) گردآوری ذخیره ای از همه رده های ژن ها و تاخوردگی پروتئین که توسط همه انواع موجودات استفاده می شود ؛ (e) توضیح و تفسیر همه توابع مربوط به کلیه ژن های شناخته شده و تشخیص افزونگی هر یک از توابع ؛ (f) تشخیص الگوهای بروز ژن هر بافت خاص در فضا و زمان، در خلال تکامل و در گستره نمونه ای از شرایط محیطی، چه در سلامتی و چه در بیماری ؛ (g) شناسایی و توضیح سلسله مراتب های تنظیم کننده ای که همه مسیرهای بیوشیمیایی و فرایندهای شناخته شده را کنترل می کنند ؛ (h) به دست آوردن مجموعه ای کامل از داده های اپی ژنتیک که وضعیت متیلاسیون رسوب سیتوسین را در همه ژنوم های منقش مستند می کند ؛ (i) مستند سازی و تفسیر همه زنجیره های غیررمزدار در هر ژنوم ؛ (j) مستند سازی همه کدهای ژنتیک غیرهمگانی و اصول نگارش ؛ (k) مستند سازی هر شکل از اصلاحات پسا ترجمه ای مانند گلیکوسیلیاسیون، فسفریلاسیون، استیلاسیون و تعدیل کلاسترول پروتئین ها و فرایندهایی مانند پیوند^{۶۶} پروتئین ها ؛ (l) شناسایی همه عوامل تنظیم کننده آر.ان.ا ی پیامبر و مشخص کردن ویژگیهای فیزیکی-شیمیایی مولکولهای آر.ان.ا ی پیامبر، مانند نیمه عمر آن، (m) مستند سازی همه نمونه های زنجیره های ویروسی و سایر انگل های یافت شده در ژنوم ؛ (n) مستند سازی همه پلی مورفیسم (چند ریختی) های ژنی ؛ (o) مستند سازی مجموعه کامل الگوهای دیگر پیوند ژن ها و الگوهای بروز آنها در زمان و مکان ؛ (p) مستند سازی مکان های نسبی گونه ها نسبت به یکدیگر در فضای زنجیره دی.ان.ا.

همچنین موارد زیر را نیز در بر می گیرد : (q) مستند سازی همه برهم کنش های پروتئین هایی از مراتب بالاتر، شامل شکل گیری هر نوع مجتمع اولیگومری و مالتیمری پروتئین/ پروتئین، و همچنین برهم کنش آنها با اجزای تنظیم کننده دی.ان.ا ؛ (r) مستند سازی مکان فضایی هر پروتئین درون هر سلول ؛ (s) مستند سازی ساختار سه بعدی و ویژگی های دینامیک مجموعه کاملی از تاخوردگی های پروتئین به کار رفته در طبیعت ؛ (t) مستند سازی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی همه پروتئین های شناخته شده شامل خصوصیات جنبشی و ترمودینامیک آنها و مشخصه های نسبی و موقعیت نزدیک ترین همسایه های آنها در فضای زنجیره های پروتئین ؛ (u) مستند سازی ویژگی های دینامیک دستگاههای سلولی و فرایندهایی مانند نوبه مربوط به نسخه برداری و ترجمه، و طبیعت، کارایی و پویایی سیستم های بازسازی دی.ان.ا ؛ (v) مستند سازی رشد هر ارگانیسم با جزئیات کامل ؛ (w) مستند سازی اطلاعات فراگرفته توسط هر یک از گونه ها و اطلاعات فرهنگی اصلی که توسط

^{۶۵} Proteome مکمل کامل پروتئین که توسط یک ژنوم خاص ساخته می شود.

^{۶۶} protein splicing

هر گونه خاص استفاده می شود؛ (x) مستند سازی رفتار انفرادی و در برخی موارد رفتار اجتماعی هریک از گونه ها ؛ (y) مستند سازی اکوسیستم و محیط فیزیکی-شیمیایی ای که هر یک از موجودات زنده را احاطه کرده است ؛ و (z) ساخت مجموعه کاملی از الگوریتم های ریاضی مجرد و تصاویری که فرایندهایی را که رسماً همه انواع موجودات شناخته شده را تعریف می کنند، توصیف می کنند.

زمانی که همه اشکال موجود شناخته شده حیات مستند سازی و منطقاً توجیه شده باشند و خانواده تکاملی واحدی را تشکیل دهند، کمابیش باید بتوان طبیعت مولکولی پیشگامان اجدادی آنها را با موفقیت استنباط کرد. در برخی موارد این فرضیه ها می توانند با نجات دی.ان.ا ی قدیمی یا ماده پروتئینی که می تواند زنجیره یابی شود و با زنجیره های پیش بینی شده مقایسه شود، آزموده شوند. اثبات این که مولکول های قدیمی دی.ان.ا می توانند به طور موفقیت آمیزی از موجودات منقرض بازایی شوند اولین بار از اکوس کواگا^{۶۷} شروع شد، یعنی عضوی از خانواده اسب که امتزاجی از اسب و گورخر است که در ۱۸۸۳ منقرض شد. از آن زمان به بعد ادعا شد که بخش های کوچک دی.ان.ا می تواند از نمونه هایی که تا هشتاد میلیون سال عمر دارند، استخراج شود.

اما چنین به نظر می رسد که، در همه سطوح دیگر مربوط به اپی ژنتیک، رشد، یادگیری و فرهنگ، اطلاعات موجودات کهن به طور غیر قابل بازیافتی گم شده باشد. از این رو گرچه ممکن است که مثلاً، بتوان فریاد یک "دودو" را از گزارش های شهود، یا از بررسی های دقیق ریخت شناسی، فیزیولوژیک یا بیوشیمیایی استنتاج کرد، ولی هنوز به نظر نمی رسد که هیچ راهی برای اثبات اعتبار تاریخی چنین فرضیه هایی وجود داشته باشد. اما، شاید بتوان الگوهای اپی ژنتیک نقش زنی و فرایندهای رشد را از درخت تکامل و از اطلاعات هر یک از زنجیره های دی.ان.ا و پروتئین که بتواند از فسیل ها بازایی شود، استنتاج کرد. بدون یک ماشین زمان احتمالاً ما هرگز قادر به پیگیری شجره نامه حقیقی تبارهای منقرض مولکولهای نخواهیم شد که نیاکان بسیار قدیمی ما از آن ساخته شده بودند، ولی شاید روزی بتوانیم به صورت منطقی، زنجیره مولکولهای اجدادی خاصی را با استفاده از تحلیل کامپیوتری استنتاج کنیم. همچنین می توان فرض کرد که، سرانجام روزی قادر به ساخت موجودات نمونه- حیات، از پیش ماده های شیمیایی غیر زنده، در یک لوله آزمایشگاهی خواهیم بود.

توماس جرمن و استیون بنر^{۶۸} کوشش کرده اند که زنجیره پروتئین موجودات کهن را با استفاده از پردازشی کم خرج و منطقی بازسازی کنند. این پردازش فرض را بر این می گذارد که پروتئین های فرزندان، با کم ترین تعداد رویداد تکاملی مستقل از نیاکان منقرض خود پدیدار شدند. نتیجتاً، می توان ویژگی های این مولکول های قدیمی را آزمود و با ویژگی های فرزندان آنها که شدیداً برنامه ریزی شده اند مقایسه کرد. احتمالاً، بازسازی کالبدی مولکولی فاقد رمز نیاکان بسیار دور ما که برنامه ریزی ناقصی داشتند، یکی از بزرگترین چالش های آینده باقی خواهد ماند.

مهندسی بنیادی اشکال موجود حیات، قبل یا بعد از تکمیل مرحله ابتدایی مستندسازی، نباید چالش بزرگی باشد. مهندسی می تواند یا در سطح یاخته های جنسی^{۶۹} انجام گیرد که در این حالت تغییرات به ارث برده می شوند یا در یاخته های تنی^{۷۰} که در آن تغییرات به ارث نمی رسد. ژنها می توانند به صورت کلی یا برای یک بافت خاص، افزوده، حذف یا جرح و تعدیل شوند. همچنین سلولهای معینی می توانند دوباره برنامه ریزی شوند، به طوری که الگوهای بروز ژن، رفتار و سرنوشت رشد آنها را تغییر دهند. زمانی که مبنای مولکولی سالخوردگی، سرطان، و همه فرایندهای این چنینی درک شوند، ژنوم می تواند به طور کلی اصلاح شود تا بسیاری از امراض مبتلا به انسان، به گذشته تعلق داشته باشند. همچنین یکی از گزینه های دیگر نیز می تواند مهندسی پیشگیری جهت محافظت درمقابل امراض واگیر باشد. اثبات این موضوع که کاهش در بروز ژن

^{۶۷} Equus quagga
^{۶۸} Steven Benner و Thomas Jerman
^{۶۹} Germ line (*۲۱)
^{۷۰} Somaticly. فیزیکی

daf-2 در کرم کانورابدیتیس الگانس، طول عمر آن را دو برابر می کند و این که جهش در ژن متوسلا^{۷۱} ی مگس میوه طول عمر آن را تا ۳۵٪ افزایش می دهد، نشان می دهد که طول عمر انسان را می توان به روش مشابهی اصلاح نمود. زمانی که به هر یک از حدوداً صد هزار ژن موجود در ژنوم انسان توابعی اختصاص دهیم و مدارهای تنظیم کننده آنها را به خوبی بفهمیم، بدون شک در تنگنا قرار خواهیم گرفت که بسیاری از مشخصات دیگر ژنتیک انسان را اصلاح کنیم.

طراحی یک حیات کاملاً جدید با استفاده از اصول اولیه و پروتئین طبیعی (تاریخی)، و فناوری های دی.ان.ا و آر.ان.ا، چالش جالب و کاملاً ممکن را در مقابل زیست شناسان مولکولی قرار می دهد. این اقدام با دو روش متفاوت می تواند انجام شود. می توان با استفاده از آگاهی های به دست آمده از مطالعه اشکال موجود حیات، موجودات زنده جدید طراحی نمود، یا این کار را با استفاده از الگوریتم های کامپیوتری ای انجام داد که برای بررسی و جستجوی ناحیه هایی در فضای زنجیره های دی.ان.ا درست شده اند که ترکیب زنجیره های ویژه موجودات زنده را دارا هستند. بعداً می توان اینها را گزینش کرد، و سپس در دنیای واقعی ساخت و آزمود تا بتوان مشاهده کرد که آیا این موجود، ماندنی است و آیا به شکلی معنی دار، شباهتی به ریخت و رفتار پیش بینی شده دارد یا نه. به طور کلی، وقتی که بانک اطلاعاتی همه زنجیره های ممکن ژنوم ترجمه شده باشد، ساخت الگوریتم این "طراحی گزینش شده" کار نسبتاً ناقابل خواهد بود. اما به دلیل اندازه عظیم فضای زنجیره های دی.ان.ا، قدرت محاسباتی بی نهایت زیادی لازم است تا بتوان حتی در یک ناحیه معین جستجوی نسبتاً جامعی انجام داد.

کشف ساختارهای ریاضی موجوداتی که در نواحی مختلف باغ وحش دی.ان.ا در فضای زنجیره های دی.ان.ا سکونت داشتند، دقیقاً مشابه کشف خطه هایی مانند دنیای جدید (آمریکا) یا کنگوی بلژیک است. این مخلوقات در حقیقت به یک معنای حقیقی و ملموس ریاضی در آنجا حضور دارند، و ممکن است روزی به وجود آیند. زمانی را می توان تصور کرد که قادر به کشیدن نقشه کاملی از فضای زنجیره دی.ان.ا باشیم، که همه نواحی مورد علاقه و راههایی را که تاریخ اصولاً می توانسته برای رهایی در دریای زنجیره دی.ان.ا برگزیند نشان می دهد. ممکن است که برعکس، برخی از اشکال جزیره مانند، با زنجیره های زیادی احاطه شده باشند که مزخرفات بی شکل و غیر زنده را به رمز در می آورند و هرگز نمی توانند توسط رهایی های تاریخی طبیعی تحقق بیابند. گرچه، ما مطلقاً نه وقت کافی داریم و نه فضا، برای این که اکثریت غالب موجودات بالقوه ای را که کامپیوترهای ما کشف خواهند کرد به وجود آوریم، ولی همان طور که از گستره های یخی قطب شمال، سواحل آفتابی کان و جنگل های بارانی گرمسیری شمال شرقی استرالیا آگاه هستیم، از حضور آنها آگاه خواهیم شد. اما نباید فراموش کنیم که احتمال دارد برخی از موجودات به تنهایی با استفاده از زنجیره های دی.ان.ا ی خود قابل محاسبه نباشند و همچنین نباید فراموش کنیم که، برای آزمایش نهایی اعتبار موجود بالقوه، باید برنامه ژنتیک آن در دنیای واقعی اجرا شود. علاوه بر این، به خاطر اهمیت پدیده اپی ژنتیک، بهتر است که جستجوی خود را در فضای زنجیره های دی.ان.ا منقش آغاز کنیم.

راهبرد طراحی، به معماری ژنتیک فرصت می دهد که عناصر قطعه قطعه سازنده موجودات زنده را به روش های متفاوت بازترکیب کند. گزینه دیگری را نیز می توان در نظر گرفت که عبارت است از پشتیبانی از ژن ها و توابع قطعه قطعه گونه های متفاوت و انتقال آنها به گونه های جدید. از این گذشته نیازی نیست که خود را به استفاده از اجزاء مولکولی که سابقه تاریخی دارند محدود کنیم. می توان ترکیبات جدیدی از پروتئین، دی.ان.ا و آر.ان.ا طراحی و اصلاح کرد و آنها را متناظر با توابعی قرار داد که در تاریخ کشف نشده اند. گرچه وارد کردن هر نوع ترکیب طراحی خاص ممکن است دیگران را محدود کند، ولی با وجود این منطقی است که تمایزی بین کالبد یا ریخت خارجی کلی یک موجود، و ریخت داخلی آن، شامل ساختمان اندام ها و مدارهای مکمل آن که عملکرد منحصر به فرد آن را می سازند، برقرار کنیم.

ژنهای هاکس نقطه شروع منطقی ای را برای تولید برنامه های کامپیوتری فراهم می کنند که می توانند ریخت های بالقوه ذاتی را در یک مجموعه ژن هاکس معین نمونه قرار دهد و آنها را کاوش کند. این برنامه ها بر مبنای پایگاه داده مربوط

به بروز ژن هاکس قرار خواهند داشت، که خود این پایگاه ها با کنترل و تنظیم بروز ژن هاکس در خلال رشد، و با استفاده از میکرو آرایه های دی.ان.ا و یا با ژن هایی که نشانگرهای فلورسان یا لومینسان(شب تاب) دارند، ساخته شده اند. برای مثال، مانوئل کالجا و گینس موراتا^{۷۲} از این روش برای کنترل و تنظیم بروز ژن ها در خلال تکامل یک مگس زنده دروسوفیلا^{۷۳} استفاده کرده اند. برنامه های کامپیوتری دیگری می توان نوشت که کل جهانِ طرحهای بروز ژن را به منظور تعریف برنامه های جدید بروز ژن بکاوند؛ برنامه هایی که انواع سلول یا توابع مختلف را می سازند. این طرح ها می توانند شامل طرح هایی باشند که در تاریخ تحقق نیافته اند.

مثلاً می توان، باهدف ساخت کوچکترین یا بزرگترین موجود ممکن با کیت ژن بازی کرد. بچه ها نیز می توانند در مدرسه بر سر این که کدام یک می تواند موجودی مبتنی بر پروتئین طراحی کند که در دمای ۱ درجه بالاتر از گرم ترین محیط شناخته شده سازگار با حیات، زنده بماند، با یکدیگر رقابت کنند. وجود موجودات "اکسترموفیل"^{۷۴} تک سلولی که در دسته ای از زیستگاه های نامساعد ساکنند و شامل باروفیل^{۷۵} (فشار دوست) هایی است که در فشارهای بالا رشد می کنند، اسید دوست^{۷۶} هایی مانند ترموپلاسما اسیدوفیلوم^{۷۷} که در PH^{۷۸} های نزدیک به صفر رشد می کند، شورزی^{۷۹} (نمک دوست) هایی مانند هالوباکتریوم کوتیروبروم^{۸۰} که فقط در غلظت های زیاد نمک رشد می کنند، گرما دوست^{۸۱} هایی که در دما های بالای ۷۵ درجه سانتیگراد رشد می کنند و باکتری جهنمی باسیلوس اینفرنوس^{۸۲} که در عمق ۲,۷ کیلومتری زیر زمین در نبود اکسیژن و در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد زندگی می کند، تصویری را از گوناگونی شرایطی که موجودات زنده قادر به تحمل آن هستند و انواع بیوشیمی های بیگانه که کلاً می توانند درون مدارهای موجودات زنده ساختگی مهندسی شوند، فراهم می کنند.

اما یک چیز واضح است. و آن این است که به دنبال تجربیات کافی، هم با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری و هم همراهی فرآیندهای ساخت، لحظه ای خواهد رسید که محدودیت های ذاتی انواع خاصی از طرح ها و توابع خود را آشکار کنند. در این لحظه ممکن است تصمیم بگیریم که از فنوتایپ هایی که می توان به دست آورد و فنوتایپ هایی که نمی توان به دست آورد فهرستی تهیه کنیم و نیز این که، چگونه، وارد کردن نوعی تغییر و تبدیل در یک ساختمان خاص یا قطعه می تواند مطلقاً سد راه ناحیه دیگری واقع شود یا آن را عمیقاً اصلاح کند. اما با چه نوع محدودیت هایی ممکن است مواجه شویم و آیا برخی از این محدودیت ها در نتیجه استفاده از فناوری های طبیعی پروتئین، دی.ان.ا و آر.ان.ا ظهور می کنند؟

یکی از اساسی ترین محدودیت هایی که مربوط است به منحصر کردن فرآیندهای طراحی به ۱۰۰,۰۰۰ ژنی که توسط انسان مدرن استفاده می شوند، این است که به نظر می رسد اکثریت غالب پروتئین های به رمز در آمده توسط این ژنها، به حدود ۱۰۰۰ خانواده متفاوت پروتئین و تاخوردگی های آنها مربوط می شوند. به این ترتیب به نظر می رسد که راهبرد تکامل شامل کشف و بسط مجموعه کوچکی از تاخوردگی های اجدادی باشد که به شیوه های متفاوت و ماهرانه، بازآمیزی و آراسته شدند تا توابع جدیدی بسازند. برخی مانند تاخوردگی ایمونوگلوبین آنقدر همه فن حریف هستند که کپی شده اند و مکرراً به عنوان توابع جدید پذیرفته شده اند تا خانواده بزرگی از تاخوردگی های پروتئین را که اجدادشان باهم خویشاوند هستند بسازند. همین که مجموعه نسبتاً کوچک تاخوردگی های اجدادی کشف شد، تکامل در را پشت سر آنها را قفل کرد و راهبردی را پذیرفت که اصولاً به جای کشف تاخوردگی های کاملاً جدید، مستلزم میزان کردن و تنظیم دقیق تاخوردگی های از پیش موجود،

^{۷۲} Gines Morata و Manuel Calleja

^{۷۳} Drosophila

^{۷۴} Extremophile نهایت طلب. (۲۲*)

^{۷۵} Barophile

^{۷۶} Acidophile

^{۷۷} Thermoplasmaacidophilum

^{۷۸} Halophile

^{۷۹} Halobacterium cutirubrum

^{۸۰} Hyperthermophile (۲۳*)

^{۸۱} Bacillus infernus

از طریق تجدید سازمان ترکیب پذیر عناصر ساختمانی قطعه قطعه بود، تا گروهی از مولکولهای چرند و بی معنی بسازد. اما، این گوناگونی تاخوردگی ها در بقیه قلمروهای حیوانات قطعی نیست. معلوم نیست که آیا استفاده از فقط ۱۰۰۰ تاخوردگی متفاوت در انسان، نشان دهنده محدودیت ذاتی شیمی فضایی معماری پروتئین است، یا فقط انعکاسی از پیش آمدهای احتمالی تاریخی است. هرکدام که درست باشد، نتیجه نهایی یکسان است و مخزن شکل های سه بعدی ای که فناوری تاریخی پروتئین قادر است ارائه دهد، محدود است.

همچنین به نظر می رسد که، محدودیت های بیشمار دیگری که مستقل از هر نوع فناوری سازنده خاص هستند، طبیعت موجودات زنده را محدود می کنند. برای مثال، پنگ چای و رابرت دادلی^{۸۲} ثابت کرده اند که مرغ مگس خوار گلو یاقوتی به نام آرکیلوکوس کولوبریس^{۸۳} برحسب مصرف اکسیژن و توان بازده ماهیچه ها، سوخت و سازی در حد بالای دخل و خرج انرژی مهره داران دارد. بنابراین محدودیت فعالیت می تواند احتمالات را محدود کند. همچنین، نیازهای متابولیک پرواز، محدودیت هایی برای ژنوم و اندازه سلول به وجود می آورد. پرنده گانی که نرخ سوخت و ساز بالایی دارند متقابلاً به نرخ بالایی از تبادل گاز یا بخار در سطح سلول های خود نیاز دارند. وقتی که نسبت سطح- به- حجم^{۸۴} سلول رابطه عکس با حجم آن دارد، حجم سلول های کوچک اجازه می دهند که نرخ بزرگتری از گاز در واحد حجم مبادله شود. از این رو پرنده گان بزرگ بی پرواز تمایل دارند که ژنوم های بزرگ داشته باشند در حالی که پرنده گان کوچکی که سوخت و ساز فعال دارند، تمایل دارند که ژنوم و سلول های کوچکتر داشته باشند. بنابراین به نظر می رسد که تکامل پرواز مانعی درمقابل اندازه ژنوم پرنده گان قرار داده باشد. همچنین احتمالاً برنامه های مربوط به رشد، محدودیت های خودشان را تحمیل می کنند. مثلاً، آیا می توان اسب قنطورس^{۸۵}، و یا زرافه پرنده ساخت؟ سوسک سرگین خور اونتوفوگوس^{۸۶} از شاخک های خود برای دفع رقبای عشقی اش استفاده می کند. می توان انتظار داشت که افزایش اندازه شاخک ها توسط تکامل انتخاب شده باشد، ولی این طور نیست، چون برنامه رشدی که شاخک های بزرگ می سازد، چشم و اندام کوچک می سازد. این سبک و سنگین کردن بین ساختارهای متفاوت، نمونه واضحی از موانع تکامل را در عمل نشان می دهد. از این رو، گرچه مشخصات سوسک سرگین خور شاخک درازی که چشم ها و اندام درشت داشته باشد، در باغ وحش اطلاعات موجود است، ولی ممکن است هیچ فرایند طبیعی تکاملی وجود نداشته باشد که طی آن این سوسک بتواند به وجود آید. پس این سوسک سرگین خور شاخک دراز و چشم درشت ظاهراً مجبور است تا ابد در سرزمین دور از دسترس اطلاعاتی غیر ممکن ها، که آن را *لریای اسرار* نامیده ایم اقامت گزیند. سایر محدودیت های برنامه های مربوط به رشد عبارتند از: قوانین پیچیده فیزیکی- شیمیایی مربوط به خود- مونتاژی و خود- سازماندهی، و نیز نیاز به موجودی طبیعی که بتواند برای تکامل پذیری بهینه شود.

طراحی دوباره حیات با استفاده از اصول اولیه و مواد ساختمانی غیر تاریخی و مصنوعی و منطق، احتمالات جالب و متعددی را در فرایندهای حیات مطرح می کند که همه امتیازهای فناوری ها و منطق جدید را به همراه دارد. فرض می کنیم که ساخت برج ایفل از آجر، یا ساخت تاج محل از مقوا غیر ممکن بوده است. گرچه فناوری ساخت پروتئین برای میلیون ها سال دارای استانداردهای صنعتی بوده است، ولی همان طور که ذکر کردیم، اولین موجودات زنده ممکن است از فناوری های بسیار متفاوتی برای ساخت کاتالیزورها و اجزاء اساسی ساختمانی خود استفاده کرده باشند. پروتئین ها برای تولید تاخوردگی ها حق انحصاری ندارند. در حقیقت به نظر می رسد که تعداد نسبتاً زیادی از مولکول های طبیعی و ساختگی قادر به تاخوردن به شکل ساختارهای پیچیده هستند. برای مثال، مولکولهای آر.ان.ای تک کلافی و دی.ان.ای می توانند مخزن عظیمی از جایگاه های اتصال و فعالیت های کاتالیزور را بسازند. اما، مولکول های ساختگی مانند پلیمرهای ساخته شده از هیدوکربن فنیل استلین نیز

^{۸۲} Robert Dudley و Peng Chai

^{۸۳} Archilochus Colubris

^{۸۴} Surface-area-to-volume ratio

^{۸۵} حیوان افسانه ای با بالاتنه انسان وپایین تنه اسب،قنطورس centaurs

^{۸۶} Ontophogus

قادرند خود به خود ساختارهای تاخوردۀ را اختیار کنند. در واقع پلیمرهای فنیل استیلن می توانند مارپیچ آلفا و حفره درست کنند، که می تواند به عنوان نقاط اتصال مورد استفاده قرار گیرد. اگر حقیقتاً بیوشیمی مصنوعی ای بتواند یافت شود که در ترکیب این مولکول های ساختگی دخالت کند، ویژگی های این مولکولها می تواند اصلاحات جالبی در موجودات زنده به وجود آورد.

ممکن است چیز خاصی در مورد اجزاء اساسی پروتئین هایی که در طبیعت برای ساخت اشکال زنده پیچیده فراوان استفاده شده اند وجود نداشته باشد. در واقع ممکن است استفاده از آنها در ماشین های زیستی معاصر بسیار تصادفی بوده باشد. اما، احتمال دیگر این است که پروتئین ها و فضای زنجیره پروتئینی که در آن سکنی دارند ویژگیهای منحصر به فردی داشته باشند که آنها را به طور ایده آل برای فرآیندهای تولید حیات مناسب ساخته باشد. برای مثال ممکن است این مسئله از توپوگرافی^{۸۷} فضای زنجیره پروتئین ثابت و بنابراین از پراکندگی نسبی و تکامل پذیری ذاتی تاخوردگی های پخش شده در آن نتیجه شود. همچنین احتمال دارد که انعطاف درونی پروتئین ها که به آنها اجازه می دهد مانند اجزاء مولکولی روغن کاری شده نانو- ماشین های ریزی که کارهای اساسی درون سلول را انجام می دهند، عمل کنند، و نیز ظرفیت آنها برای خود- مونتاژی، و آرایش پیچیده، یا توانایی آنها برای تحمل تغییرات قابل انطباق در نتیجه تغییرات کووالانسی، فاکتورهای مهمی باشند.

اما نیازی نیست که خود را به استفاده از پروتئین های طبیعی یا در حقیقت مجموعه بیست آمینواسید طبیعی محدود کنیم. پروتئین های ساختگی و در حقیقت سایر مولکولهای پلیمر ساختگی یا طبیعی که قادر به تاخوردن باشند، می توانند با ترکیب سایر فناوریهایی که خود- مونتاژ و خود- سازمانده اند اصلاح و طراحی شوند. درواقع ممکن است که مجموعه تاخوردگی ها و فعالیت های موجود در مخازن این مولکولها، در باغ وحش های خود آنها، که تاکنون کاوش نشده اند وجود داشته باشند. همچنین ممکن است پایگاه داده های حیات با ساختارهای جایگزین و فناوری های دیگر جایگزین شود. مثلاً، جوزف پیچیریلی و استیون بینر^{۸۸} نشان داده اند که چگونه الفبای ۴ حرفی ژنتیک می تواند با وارد کردن یک جفت باز جدید به دی.ان.ا و آر.ان.ا به ۶ حرف گسترش یابند. اسید نوکلئیک ساختگی مشابه، مانند اسید نوکلئیک هایی که شامل پیرانوسیل هستند می تواند برای ساخت مواد ژنتیک مصنوعی استفاده شود و منطق کد ژنتیک و دستگاه ریبوزومی طوری بهسازی شود که پروتئین ها به جای بیست اسید آمینه از بیست و یک اسید آمینه یا بیشتر ساخته شوند.

اگر بتوان وجوه رسمی و مادی موجودات زنده را دقیقاً تعریف و ترسیم نمود، در این صورت دلیلی وجود ندارد که موجودات زنده سرانجام نتوانند از اجزاء کاملاً مصنوعی و ترکیبی ساخته شوند. علاوه بر این، اگر منطق آنها را بتوان مستقیماً به ماشین منتقل نمود، سرانجام امکان دارد که اشکال طبیعی و تاریخی حیات، نمونه دیگری از جانبداری تکامل از روند ده یک کشی را به نمایش بگذارند. در حقیقت به هیچ وجه معلوم نیست که موجودات زنده ساخته شده از مواد طبیعی بیولوژیک قادر باشند که با رقبای ساختگی و طراحی شده غیر تاریخی و مبتنی بر ماشین خود رقابت کنند.

^{۸۷} عوارض زمین^{۸۸} Steven Beener و Joseph Piccirilli

توضیحات فصل سیزدهم

۱- Cape Baboon یا Chacma Baboon

میمون کیپ یا میمون چاکما شبیه بقیه میمون ها از خانواده میمون های دنیای قدیم است. بدنی به طول حداکثر ۱۱۵ سانتیمتر دارد و وزن ۱۵ تا ۳۱ کیلو. جزو بزرگترین و سنگین ترین میمون هاست.

۲- Plankter یا پلانکتون

موجودات ریز و شناور آزاد بر سطح دریا (مثل گمزادان و آغازیان و جلبکها) زیست شناسی : شناوران

۳- دستگاه گلژی Golgi apparatus

ساختمانی شبیه تور در سیتوپلاسم سلول جانور (به خصوص در سلول هایی که ترشح درست می کنند. (زیست شناسی) دستگاه گلژی (شبکه ای از فیبرهای سیتوپلاسمی که رنگ پذیر بوده و می تواند پروتئین جذب کرده و آن را به خارج یاخته ترشح کند) (Golgi body هم می گویند).

۴- سیتواسکلتون Cytoskeleton

سیستمی از فیلامان های نازک یا فیبر هایی که در سیتوپلاسم سلول های (یعنی سلول هایی که هسته دارند حضور دارد) سیتواسکلتون سایر اجزاء سلول را سازمان می دهد، شکل سلول را حفظ می کند و مسئول تحرک سلول و جابه جایی اندامک های مختلف درون آن است .

۵- همزی Endosymbiont

ارگانیسمی است که درون بدن یا سلول های یک ارگانیسم دیگر زندگی می کند و یک اندو سیمبیوسیس تشکیل می دهد. مثال های آن عبارتند از باکتری ریزوبیا که در ریشه سبزیجات یا در برآمدگی های ریشه یا تک سلولی خزه درون مرجان ها زندگی می کند.

۶- endoplasmic reticulum (ER)

اندوپلاسم: قسمت داخلی سیتوپلاسم یک سلول. سیستم غشاء در داخل یک سلول یوکاریوت است که در ترکیب پروتئین ها و لیپید ها اهمیت دارد. ER معمولاً بیش از نصف غشاء را می سازد و با غشاء بیرونی لفاف هسته پیوسته است. دو ناحیه مجزای ER وجود دارد: ER زبر یا RER (به خاطر ریبوزوم های سازنده پروتئین که به آن چسبیده اند به این نام خوانده می شود)، و ER نرم که با ریبوزوم ها همراه نیستند و دست اندرکار ترکیب لیپید و دفع مسمومیت برخی از مواد شیمیایی سمی هستند.

۷- میکروتوبول microtubule ریزلوله

اندامی شبیه لوله در سلول است که برای حمل و نقل در سلول استفاده می شود. ریزلوله یکی از اجزای اسکلت سلولی می باشند. ریزلوله ها لوله هایی توخالی، از جنس پروتئین هستند. این لوله ها به قطر ۲۵ نانومتر و در طول های مختلف از ۲۰۰ نانومتر تا ۲۵ میکرومتر هستند. ریزلوله ها به عنوان اجزای ساختاری یاخته ها در بسیاری از اعمال آن مانند میتوز، سیتوکینز و حمل و نقل وزیکول ها شرکت می کنند. بسیاری از اجزای یاخته نیز از جنس ریزلوله ها هستند مانند: دوک تقسیم، سانتریول ها.

۸- نوکلئوزوم Nucleosome

واحد های اصلی بسته بندی دی ان ا در سلول های یوکاریوت هستند (سلول هایی که هسته دارند) و شامل یک بخش دی ان ا هستند که به دور هسته پروتئین هیستون پیچیده شده است. این ساختار معمولاً با ساختار نخی که دور قرقره پیچیده شده است مقایسه می شود.

۹- اکتامر Octamer و اولیگومر Oligomer

اولیگومر ها که از تکرار یک واحد مولکولی بین ۲ تا ۱۲ بار بوجود می آیند و در واقع همان پلیمر ها هستند ولی با طولی بسیار کوتاه تر. در شیمی اولیگومر تشکیل شده است از تعداد محدودی واحد های مونومر، برخلاف پلیمر که اصولاً از تعداد نامحدودی مونومر تشکیل شده است. در بیوشیمی، اصطلاح اولیگومر برای قسمت های کوتاه دی ان ا ی تک کلافی استفاده می شود که عموماً در تجربه های هیبریداسیون استفاده می شوند (و به ورقه های شیشه یا غلاف های نایلون متصل می شوند). همچنین می تواند اشاره کند به ترکیبات پروتئینی که از دو یا چند زیر واحد ساخته شده اند. در این صورت ترکیب چند زیر واحد پروتئین

یک هترواولیگومر نامیده می شود. زمانی که فقط یک نوع زیرواحد پروتئین در ترکیب استفاده شود به نام هومواولیگومر خوانده می شود.

۱۰- هیستون histone

هریک از پروتئین های اساسی و ساده که در هسته یاخته یافت شده و با دی.ان.ا رابطه دارند. یک پروتئین ساده که عمدتاً شامل آمینو اسید هاست، در هسته سلول با اسید نوکلئیک همراه است.

۱۱- هومئوتیک - هومئوسیس Homeosis-Homeotic

هومئوسیس عبارت است از تبدیل عضوی از بدن به عضوی دیگر که از جهش نتیجه می شود یا از بروز اشتباه ژن های حیاتی در جریان تکامل. ممکن است در اثر جهش در ژن های هاکس در حیوانات به وجود آید یا در گیاهان. هومئوسیس مشخصه ای است که به حشرات کمک کرده است تا این اندازه موفق باشند و نیز تنوعات فراوان داشته باشند.

۱۲- نقش پذیری ژنی (Genomic imprinting)

یکی از نمونه های اثرهای اپیژنتیک است. نقش پذیری ژنی زمانی روی میدهد که فرزند هتروزایگوس (Aa یا aA) تنها یک الل را بسته به اینکه آن را از کدام والد دریافت کرده باشد بروز بدهد. در نتیجه، برای نمونه، فرزند Aa که الل A را از پدر و a را از مادر دریافت کرده، فنوتیپ A را نشان میدهد، در حالی که فرزند aA که الل A را از مادر و a را از پدر دریافت کرده فنوتیپ a را نشان میدهد. در این پدیده، فرزندان هموزایگوس (AA و aa) فنوتیپ یکسانی را نشان میدهند، در حالی که هتروزایگوس ها متفاوت هستند عوامل گوناگونی مانند متیلاسیون دی.ان.ای یا تداخل آران ای (RNA interference) می تواند باعث این پدیده بشود.

۱۳- متیلاسیون methylation

جابه جا کردن اتم هیدروژن با یک گروه متیل

۱۴- کرماتین Chromatine

ترکیب دی ان ای و پروتئین هاست که در هسته سلول های یوکاریوت یافت می شود و در خلال تقسیم سلول کروموزوم را شکل می دهد.

۱۵- مورفوژن morphogen

عاملی شیمیایی است که گرادیانی در غلظت تشکیل می دهد و بر روی مورفوژن ها کنترل اعمال می کند. یک مورفوژن ماده ای فرضی است که الگوی تکامل یا رشد بافت و به خصوص مکان های انواع سلول های متخصص گوناگون درون یک بافت را کنترل می کند. شکل گیری ریخت یک موجود یا اندام در خلال رشد.

۱۶- فایلا phyla

تقسیم اولیه به کار رفته برای طبقه بندی موجودات زنده، طبقه آرایه شناختی

۱۷- هلال حاصلخیز Fertile Crescent بین النهرین

ناحیه ای در خاورمیانه به شکل هلال که از دریای مدیترانه تا دره های فرات و تا خلیج فارس کشیده شده است. ناحیه حاصلخیز در خاورمیانه بین رودهای نیل، دجله و فرات.

۱۸- اپی ژنتیک epigenetic و اپی موتاسیون Epimutation

در بیولوژی و به خصوص در ژنتیک، اپی ژنتیک به معنی مطالعه تغییرات موروثی در فنوتایپ (ظاهر) یا بروز ژن است که در اثر مکانیزم هایی به جز تغییرات در زنجیره دی ان ا زمینه به وجود آمده اند، بنابراین نام اپی گرفته است که در یونانی به معنای بالا می باشد. این تغییرات ممکن است در حین تقسیم سلولی برای بقیه عمر سلول باقی بمانند و همچنین ممکن است در طی نسل های متعدد نیز باقی بمانند. اما در زنجیره دی ان ا ی زمینه موجود زنده هیچ تغییری به وجود نمی آید ؛ و در عوض عوامل غیر ژنتیک باعث می شوند که ژنهای موجود زنده به طور متفاوتی رفتار کنند (یا خودشان را بروز دهند).

۱۹- افزونگی Redundancy

نسخه برداری از یک ویژگی به منظور جلوگیری از خرابی سیستم که نتیجه بد عمل کردن آن ویژگی است.

۲۰- نقشه ساختمان بدن Bauplan یا Body plan

نقشه ساختمان بدن لزوما طرح اولیه ای است برای روشی که بدن یک موجود زنده کنارهم گذاشته می شود. تقارن یک موجود زنده، تعداد بخش های بدن و تعداد اعضا، همه مظاهری از نقشه ساختمان بدن هستند. یکی از موضوعات

کلیدی بیولوژی تکاملی، تکامل نقشه های بدنی است که به اندازه ستاره دریایی، سرخس و پستاندار با یکدیگر اختلاف دارند ولی میراث بیولوژیک یکسانی دارند و به خصوص، این موضوع است که چه تغییرات بنیادی در نقشه های بدن در دوران های زمین شناسی رخ داده اند.

۲۱- یاخته جنسی Germline

در بیولوژی و ژنتیک عبارت است از رشته ای از یاخته های جنسی که ماده ژنتیکی دارند که می تواند به فرزند منتقل شود. ماده ژنتیکی که از یک نسل به نسل دیگر از طریق سلول های جنسی (گامت ها) منتقل می شود یک جهش یاخته جنسی در همه سلول هایی نواده هایی که از سلول جنسی شکل گرفته اند وجود دارد.

۲۲- اکسترموفیل Extremophile نهایت دوست

موجودی است که به شرایط فیزیکی یا زمین شیمی خیلی زیاد که برای اکثر ساکنین روی زمین مضر است نیاز دارد یا در آن پیشرفت می کند. موجودی که در شرایط حدی زندگی می کند.

۲۳- گرما دوست، هایپرترموفیل Hyperthermophile

موجودی است که در محیط های خیلی داغ زندگی یا پیشرفت می کند. مثلاً در ۶۰ درجه سانتیگراد. درجه حرارت بهینه برای این موجودات بالای ۸۰ درجه سانتیگراد است. این موجودات زیرمجموعه ای هستند از موجودات اکسترموفیل، میکرو ارگانیسم هایی که در قلمرو آرکئن ها قرار دارند، گرچه باکتری ها قادرند که حتی درجه حرارت تا حدود ۱۰۰ درجه را نیز تحمل کنند. بسیاری از هایپرترموفیل ها می توانند شرایط حدی دیگر را نیز تحمل کنند مثل اسیدیته بالا یا تشعشعات زیاد.