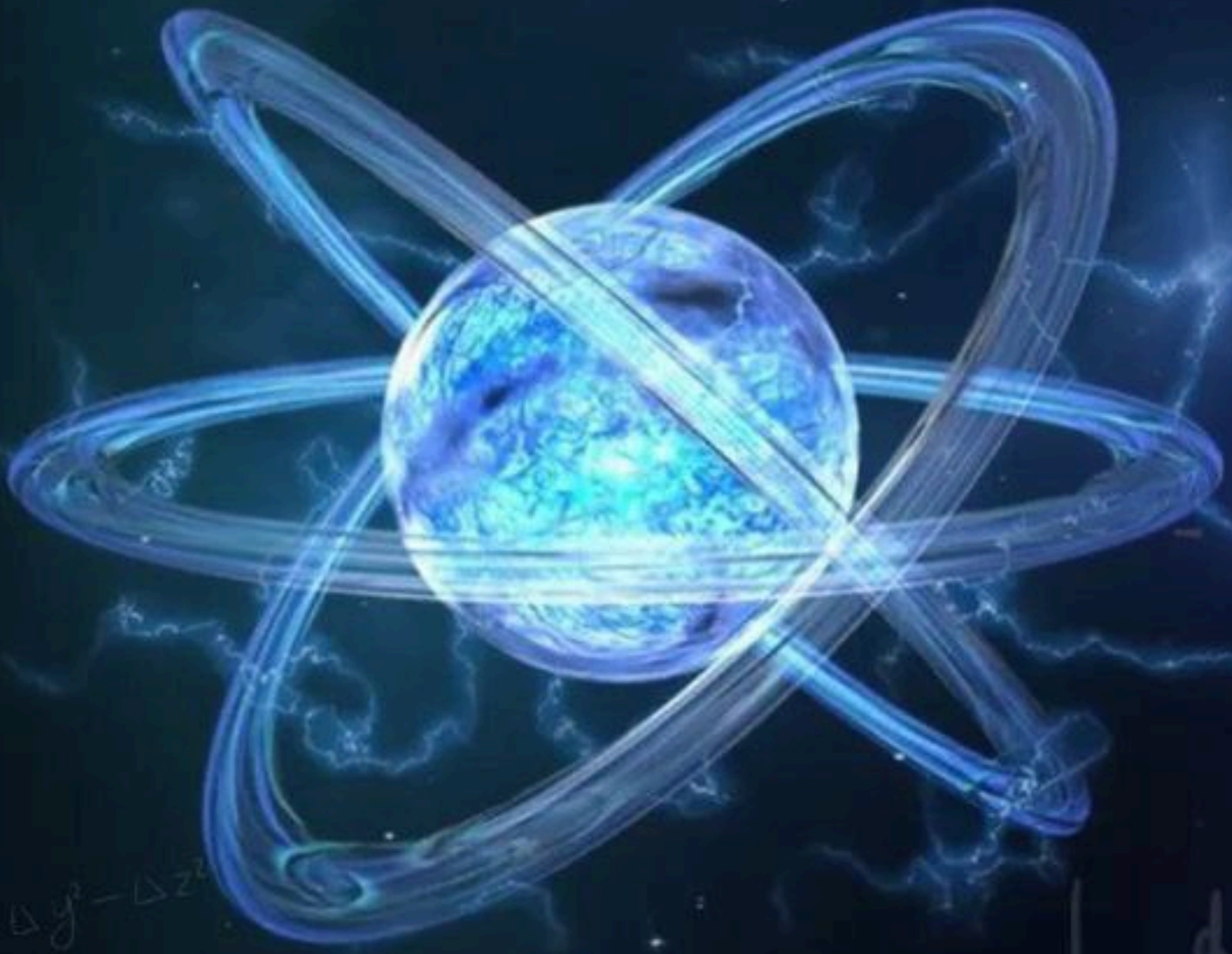
www.takbook.com

فیزیک کوانتوم و جهان ما

رضا علی‌خواه



www.takbook.com

www.takbook.com

www.takbook.com

فیزیک کوانتوم و جهان ما

رضا علی‌خواه

۱۴۰۴

www.takbook.com

سرشناسه	: علی‌خواه، رضا، ۱۳۷۳-
عنوان و نام پدیدآور	: فیزیک کوانتوم و جهان ما/ رضا علی‌خواه. ویراستار: پروین عبداللهی
مشخصات نشر	: تبریز: فروزش، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری	: ۲۰۲ ص.: مصور؛ ۵/۱۴ × ۵/۲۱ س‌م.
شابک	: 978-622-5148-16-1
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۱۹۹ - ۲۰۲.
موضوع	: کوانتوم Quantum theory ذره‌های بنیادی Particles (Nuclear physics) نظریه ریسمان String models انفجار بزرگ Big bang theory
رده‌بندی کنگره	: QC۱۲/۱۷۴
رده‌بندی دیویی	: ۱۲/۵۳۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۰۰۸۲۴۴۳
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیپا

- ناشر: انتشارات فروزش
- ویراستار: پروین عبداللهی
- صفحه‌آرا: پروین عبداللهی
- طراح جلد: مریم عیدی خطیبی
- تیراژ: ۵۰ جلد
- نوبت چاپ: اول ۱۴۰۴
- شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۵۱۴۸-۱۶-۱
- قیمت: ۱۵۰۰۰۰ تومان

حق چاپ محفوظ است.

فیزیک کوانتوم و جهان ما

رضا علی‌خواه

انتشارات فروزش

نشانی: تبریز، خیابان امام خمینی، چهارراه آبرسان، روبروی بانک آینده، جنب فروشگاه شبرنگ

(۰۴۱) ۳۳۳۶۲۹۲۹

۰۹۱۴۲۸۶۳۸۷۵

Forouzeshpublishers

www.takbook.com

تقدیم به:

پدرم،

مردی که سکوتش در من کلمه آفرید

و در سایه استقامتش آموختم چگونه از

دردها داستان بسازم.

www.takbook.com

www.takbook.com

فهرست

مقدمه ۱۳

فصل اول: جبرگرایی علمی

خدایان یا قوانین طبیعت؟ ۲۱
خواندن دست طبیعت ۲۲
جهان پیش‌بینی‌پذیر ۲۳
جبرگرایی علمی در زندگی موجودات زنده ۲۶
جبرگرایی علمی و انسان ۲۹
اختیار یا تقدیر؟ ۳۱
مکانیک کوانتوم دشمن جبرگرایی علمی ۳۳

فصل دوم: مکانیک کوانتوم

مکانیک کوانتوم ۳۹
آزمایش دو شکاف ۳۹

www.takbook.com

آزمایش گزینش تأخیری جان ویلر ۴۶
مرز بین حوزه کوانتوم و دنیای ما ۴۸
اصل برهم نهی کوانتومی ۴۹
تفاسیر مکانیک کوانتوم ۵۲
تفسیر کپنهاگی ۵۳
تفسیر فون نویمان ۵۸
دوست واگنر ۵۹
جهان‌های موازی ۶۱
مشاهده و انشعاب جهان‌های موازی ۶۴
تابع موج (ابر احتمال) ۶۷
در هم تنیدگی کوانتومی ۷۰

فصل سوم: باغ‌وحش ذرات

اتم و تاریخچه کلی ۷۷
صلابت مواد ۷۸
باغ‌وحش ذرات ۸۰
فرمیون‌ها ۸۱
کوارک‌ها ۸۲
لپتون‌ها ۸۳
نوترینوها و ردگیری آن‌ها ۸۷

www.takbook.com

ذرات بیکار ۹۰
شبیه‌سازی مهبانگ ۹۳
بوزون‌ها ۹۵
نیروی هسته‌ای قوی ۹۶
نیروی گرانش ۹۹
تنظیم دقیق گرانش ۱۰۱
نیروی الکترومغناطیس ۱۰۴
تنظیم دقیق نیروی الکترومغناطیس ۱۰۶
نیروی هسته‌ای ضعیف ۱۰۷
پرتوزایی ۱۰۸
ما از غبار ستارگان ساخته شده‌ایم ۱۱۰

فصل چهارم: نظریه ریسمان

آرزوی اینیشتین ۱۱۵
اتحاد دو قلمرو ۱۱۶
قلمروهای متفاوت ۱۱۸
نظریه‌ای برای توضیح تکینگی ۱۲۰
شتاب‌دهنده‌ها و آجرهای بنیادی طبیعت ۱۲۲
نیاز به یک نظریه کامل ۱۲۷
اتم‌های یونانی یا ریسمان‌ها ۱۳۱

www.takbook.com

ابعاد ریسمان‌ها ۱۳۲
ریسمان به جای ذره ۱۳۴
ارتعاش‌های متفاوت و ذرات مختلف ۱۳۴
ارتعاش ریسمان‌ها و جرم ذرات ۱۳۶
نظریه ریسمان و ابعاد اضافه ۱۳۸
اسکار کلاین و ابعاد اضافی ریز ۱۴۰
خمینه‌های کالابی یائو ۱۴۴
خمینه‌ها و ذرات ۱۴۶

فصل پنجم: انفجار بزرگ

جهان از دید نیوتون ۱۵۱
جهانی با یک آغاز ۱۵۲
جهان در حال فرار ۱۵۶
انرژی تاریک ۱۶۰
انرژی تاریک آن‌قدرها هم قوی نیست ۱۶۴
نسبیت عام ۱۶۶
سرنوشت جهان ۱۷۱
جهان بسته و خردش بزرگ ۱۷۲
جهان تخت و انجماد بزرگ ۱۷۳
جهان باز و گسست بزرگ ۱۷۴

www.takbook.com

مهبانگ کلاسیک (اتم اولیه) ۱۷۵
آلن گوث و مهبانگ مدرن ۱۷۹
خلأ ۱۸۲
ذرات مجازی ۱۸۳
اصل عدم قطعیت و ذرات مجازی ۱۸۵
خلأ کاذب و نظریه تورم ۱۸۸
تورم ابدی ۱۹۲
ناهار مجانی ۱۹۴
منابع و مآخذ ۱۹۹

www.takbook.com

www.takbook.com

مقدمه

فصل اول این کتاب با پرسشی آغاز می‌شود که قدمتی به اندازهٔ فلسفه دارد: آیا سرنوشت ما از پیش تعیین شده است؟ فیزیک کلاسیک، به‌ویژه پس از نیوتن، وقتی پا به عرصه گذاشت تصویری دقیق و مکانیکی از جهان ارائه کرد و نشان داد که پدیده‌های دنیای ما بر اساس قوانین طبیعت اداره می‌شوند و ربطی به شیاطین خبیث، ارواح و خدایان ندارند. این موضوع به دیدگاهی به نام جبرگرایی علمی شهرت یافت که بر اساس آن اگر موقعیت و سرعت هر ذره را بدانیم، می‌توانیم آیندهٔ آن را با دقت کامل پیش‌بینی کنیم. اندیشه‌ای که می‌گوید جهان مانند ساعت عظیمی است که از همان ابتدای آفرینش با قوانین دقیق ریاضی به حرکت در آمده و هیچ‌چیزی در آن به‌طور تصادفی رخ نمی‌دهد. در چنین جهانی، جایی برای شانس، انتخاب یا ارادهٔ آزاد باقی نمی‌ماند. هر تصمیم، هر فکر، حتی احساس عاشقانه یک فرد بر طبق قوانین طبیعت و نتیجه‌ای ناگزیر از علت‌هایی است که قبل‌تر رخ داده‌اند. جبرگرایی علمی اگرچه به‌ظاهر منطقی می‌نمود، اما

www.takbook.com

پرسش‌های زیادی را دربارهٔ معنای اختیار و ارادهٔ آزاد آدمی به میان آورد. در جهانی که از پیش نوشته شده است ما در کجای آن ایستاده‌ایم و معنای اختیار چیست؟

در فصل دوم با ظهور مکانیک کوانتوم، دیدگاه جبرگرایی علمی زیر سؤال رفت. بشر با ورود به قرن بیستم و تولد نظریه کوانتوم با پدیده‌هایی روبرو شد که در چارچوب قوانین کلاسیک نیوتونی قابل توضیح نبودند. جهان آن‌طور که نیوتون می‌پنداشت به‌صورت منظم و ساعت وار کار نمی‌کرد و اتفاقات آن قابل پیش‌بینی نبودند. در دل نظریه کوانتوم اصلی به نام اصل عدم قطعیت نهفته بود که بیان می‌کرد نمی‌توان موقعیت و سرعت ذرات را با دقت کامل دانست. دانشمندان پی بردند که یک ذره هم‌چون روحی است که به‌صورت موج احتمال در فضا پخش شده و هنگامی که در حال حرکت است مکان دقیقش مشخص نیست بلکه تنها می‌توان احتمال بودن آن را در نقاط مختلف محاسبه کرد. یعنی آینده یک ذره و هر جسم دیگری نه با قطعیت کامل بلکه با احتمالات توصیف می‌شود. بنابراین پدیده‌های جهان ما رفتاری شبیه به قماربازان دارند که تنها می‌توانند بر اساس شانس اتفاق بیفتند و رویدادی قطعی در آن‌ها ممکن نیست. امروزه مکانیک کوانتوم دشمن شماره یک جبرگرایی است که به مفهوم سرنوشت و تقدیر هجوم می‌برد و مدعی است که اختیار واقعیت دارد و هر فردی مسئول سرنوشت خویش است و تقدیری از پیش تعیین شده برای هیچ موجودی وجود ندارد.

www.takbook.com

در فصل سوم خواهیم دید که مکانیک کوانتوم رفتار ذراتی را توصیف می‌کند که جهان ما را ساخته‌اند. این جا همان جایی است که فیزیک‌دانان به شوخی آن را باغ وحش ذرات بنیادی می‌نامند. چرا که با ورود به این قلمرو با دسته‌ای بی‌نظیر از ذرات عجیب و گاه غیرقابل درک روبرو می‌شویم که هریک ویژگی و رفتار خاصی دارند و به عنوان آجرهایی حساب می‌شوند که جهان ما را ساخته‌اند. در واقع تا پیش از قرن بیستم، ما تصور می‌کردیم ماده از ذراتی بنیادی به نام اتم ساخته شده‌اند که تجزیه ناپذیر بوده و کوچک‌ترین واحدهای طبیعت هستند. اما مکانیک کوانتوم به ما نشان داد که اتم، خود جهانی متشکل از ذرات دیگری هم‌چون الکترون‌ها پروتون‌ها و نوترون‌هاست. اما این پایان ماجرا نبود. در دهه ۷۰ میلادی فهمیدیم که پروتون‌ها و نوترون‌ها خود از ذرات کوچک‌تری به نام کُوارک‌ها ساخته شده‌اند. تازه، این تنها بخشی از ساکنان این باغ‌وحش است. برای مثال نوترینوهایی وجود دارند که با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند و هم‌چون افرادی منزوی و بیکار با هیچ‌چیز تعامل ندارند، گلوئون‌هایی که کوارک‌ها را به هم می‌چسبانند و ذرات دیگری هم‌چون بوزون هیگز که به دیگر ذرات جرم می‌بخشند و باعث سنگینی آن‌ها می‌شوند. این ذرات و بسیاری از ذرات دیگر هرچند قابل دیدن و لمس نیستند، اما هریک وظیفهٔ خاصی دارند و هر روز اثرات آن‌ها را در اطراف خود حس می‌کنیم.

در فصل چهارم می‌بینیم که دو نظریه کوانتوم و نسبیت جهان را به خوبی توصیف می‌کنند. برای مثال فیزیک‌دانان با مکانیک کوانتوم

www.takbook.com

ویژگی‌های جهان میکروسکوپی ذرات را فهمیده‌اند و با نظریه نسبیت عام اینیشتین به جهان بزرگ مقیاس روزمره ما یعنی به رفتار اجسام، سیارات و کهکشان‌ها پی برده‌اند. مشکل این‌جاست که میان این دو شکافی بزرگ وجود دارد. مکانیک کوانتوم قلمرو ریزترین ابعاد هستی را در مشت خود دارد و آن‌ها را توضیح می‌دهد و نسبیت عام پادشاه جهان بزرگ مقیاس است و ویژگی‌های اجسام بزرگ هم‌چون ستارگان را تشریح می‌کند. اما مشکل این‌جاست که وقتی پای پدیده‌هایی به میان می‌آید که هم بسیار سنگین‌اند و هم بسیار کوچک، هم‌چون سیاه‌چاله‌ها یا لحظهٔ مهبانگ، این دو نظریه با هم سازگار نمی‌شوند و مثل این است که بخواهیم یک فیل را با یک مورچه دوست کنیم. به عبارت دیگر نظریه کوانتوم قلمرو ریز و نظریه نسبیت قلمرو بزرگ مربوط به خود را دارند و با هم هماهنگ نیستند به همین دلیل دانشمندان قادر نیستند با هیچ‌یک از این دو نظریه به چیستی و ماهیت پدیده‌هایی مثل تکینگی سیاه‌چاله‌ها و انفجار بزرگ پی ببرند.

فیزیک‌دانان برجسته‌ای هم‌چون اینیشتین سال‌ها در آرزوی یافتن نظریه‌ای کامل بودند که هم نسبیت و هم کوانتوم را در بگیرد و همهٔ پدیده‌های جهان را توضیح دهد. اینیشتین با این‌که ۳۰ سال از عمر خود را حریصانه برای یافتن چنین نظریه‌ای صرف کرد اما هیچگاه به آرزوی خود نرسید. اما دانشمندان دیگری بعد از مرگ وی راه او را ادامه دادند و در نهایت به نظریه‌ای امید بخش به نام نظریهٔ ریسمان رسیدند. در این نظریه همهٔ ذرات از ریسمان‌های مشابهی ساخته شده‌اند که بسیار ریز بوده و همواره در

www.takbook.com

حال ارتعاش‌اند. این ریسمان‌ها اندازه‌ای در حد طول پلانک دارند و آن‌قدر کوچک‌اند که حتی با قوی‌ترین میکروسکوپ‌ها و اتم‌شکن‌های امروزی هم قابل دیدن نیستند. هرکدام از این ریسمان‌ها بسته به نوع لرزشی که دارند باعث می‌شوند ذرات متفاوتی هم‌چون الکترون، کوارک و نوترینو ایجاد شوند. به‌طوری‌که نحوهٔ ارتعاش هر ریسمان منجر به ایجاد یک ذره با ویژگی خاصی می‌شود. در این صورت کل جهان هستی از کوچک‌ترین ذرات تا بزرگ‌ترین کهکشان‌ها محصول ارتعاش ریسمان‌هایی هم‌چون تارهای گیتار هستند. اگر چنین باشد، ما هم بخشی از یک سمفونی کیهانی بزرگ هستیم.

در فصل پنجم به چگونگی آفرینش جهان در لحظهٔ صفر خواهیم پرداخت. دانشمندان در ابتدا تصور می‌کردند که گیتی ۱۳.۷ میلیارد سال پیش از یک نقطهٔ بی‌نهایت چگال و داغ آغاز شده و با انفجاری بزرگ گسترش یافته و مواد امروزی را به وجود آورده است. ایشان آن را انفجار بزرگ نام نهاده بودند اما این فقط نیمی از ماجرا بود. در دهه ۱۹۸۰ فیزیک‌دانی به نام آلن گوث انفجار بزرگ را کنار گذاشت و مدعی شد که جهان بلافاصله بعد از آغازش دچار یک انبساط بسیار سریع شده است و آن را تورم کیهانی نام نهاد. طبق یافته‌های وی جهان اولیه ما از دل جهانی دیگر زاده شد و در اثر این تورم شروع به گسترش کرد و در کسری از ثانیه اندازه‌اش تریلیون‌ها برابر بزرگ‌تر گردید. طبق این نظریه، تورم در بخش‌هایی از جهان متوقف شده ولی در دیگر نقاط فضا هم‌چنان ادامه

www.takbook.com

دارد. هر لحظه ممکن است در گوشه‌ای از جهان ما تورمی رخ دهد و جهان نوپایی از آن زاده شود. در این نگاه انفجار بزرگ ما تنها یکی از بی‌شمار انفجارها در کیهان و جهان ما ممکن است تنها یکی از میلیاردها جهانی باشد که از دل هیچ پدید آمده است.

بدیهی است علارغم تلاش بنده در ارائهٔ مطالبی عاری از اشتباه، احتمال لغزش وجود دارد. لذا از خوانندگان گرامی خواهشمندم نکات و تذکرات خود را از طریق ایمیل alikhahreza214@gmail.com با این جانب در میان بگذارند.

رضا علی‌خواه

بهار ۱۴۰۴

www.takbook.com

فصل اول
جبرگرایی علمی

www.takbook.com

www.takbook.com

خدایان یا قوانین طبیعت؟

زمانی گذشتگان ما تمام رویدادهای طبیعی مثل زلزله، سیل و خورشید گرفتگی را به خدایان و الهه‌ها نسبت می‌دادند. هر وقت فاجعهٔ مصیبت‌باری مثل طاعون اتفاق می‌افتاد فکر می‌کردند خدایان از دستشان عصبانی‌اند و برایشان قربانی می‌کردند و هر وقت آن مصیبت رفع می‌شد جشن و پایکوبی می‌کردند و با پیش‌کش هدیه‌ای از خدایانشان سپاس‌گزاری می‌کردند. آن‌ها همواره پدیده‌های طبیعی را به خدایان و شیاطین نسبت می‌دادند و همواره جادوگران و کاهنانی در بین شان زندگی می‌کردند و مدعی بودند که با عالم ماوراء ارتباط دارند و قادرند اتفاقات آینده را بر اساس جادو، ارتباط با ارواح و دنیای مردگان پیش‌بینی کنند. کار به جایی رسیده بود که همیشه تعدادی کاهن و جادوگر به عنوان مشاوران اعظم در کنار پادشاهان خدمت می‌کردند و به عنوان غیب گو اتفاقات آینده مثل پیروزی یا شکست در جنگ‌های پیش رو را به شاهان اطلاع می‌دادند. این کاهنان بیچاره با توسل به انواع خرافات سعی در پیش‌بینی اتفاقات آینده بودند اما در نیمی از موارد به خاطر پیشگویی اشتباهشان سر خود را به باد می‌دادند. هزاران سال به این منوال گذشت تا بشر به تدریج دریافت که پدیده‌های طبیعی ربطی به خشم خدایان و قربانی‌های ما ندارند. انسان‌ها متوجه شدند که همهٔ این اتفاقات از خود طبیعت سرچشمه می‌گیرند و از نظم و الگوی خاصی پیروی می‌کنند. برای مثال مردم قوم مایا (در آمریکای جنوبی) به تدریج متوجه شدند که خورشید و ماه در طی دوره‌ها ی زمانی خاصی می‌گیرند و نیازی نیست هربار برای خدای خورشید

www.takbook.com

انسانی را قربانی کنند. مصری‌ها فهمیدند سیلاب‌ها در فصل‌های مشخصی در اطراف رود نیل اتفاق می‌افتند و اروپاییان قرون وسطی در طول زمان پی بردند که بیماری‌ها در اثر رعایت نکردن اصول بهداشتی رخ می‌دهند و ربطی به شیاطین خبیث ندارند. بشر با تفکر و مشاهده محیط اطراف خود دانست که همهٔ پدیده‌های جهان هستی پیش‌بینی پذیرند و از قوانین معینی پیروی می‌کنند و اگر چنان‌که این الگوها و قوانین طبیعت را بفهمند قادر خواهند بود وقوع آن‌ها را در آینده پیش‌بینی کنند.

خواندن دست طبیعت

دانشمندان بسیاری در طول تاریخ تمدن بشری عمر خود را صرف تماشای طبیعت و شناختن قوانین آن کردند و پرده از بسیاری از رازهای طبیعت برداشتند. یکی از این افراد بزرگ آیزاک نیوتون نام داشت که از دوران نوجوانی غرق در تماشای خورشید، سیارات و ستارگان بود و ۲۰ سال ازعمر خود را برای مطالعهٔ اجرام آسمانی صرف کرده بود. او پی برده بود که همهٔ قمرها، سیارات و ستارگان بر اساس جرمی که دارند به یکدیگر نیروی جاذبه وارد می‌کنند و طبق الگوهای خاصی دور یکدیگر می‌گردند. بنابراین سعی داشت معادله‌ای ریاضی بیابد و حرکت این اجرام را در قالب معادلات و به زبان ریاضیات درآورد. سرانجام در سن ۴۰ سالگی موفق شد قوانین ریاضی مربوط به جاذبه و حرکت اجسام را کشف کند و برای اولین بار در تاریخ تمدن بشری نحوهٔ حرکت اجرام آسمانی را پیش گویی کند.

www.takbook.com

نیوتون به همه نشان داد از آن‌جایی که طبیعت از قوانین خاصی طبیعت می‌کند پس اگر ما این قوانین را بدانیم می‌توانیم پدیده‌های طبیعی آینده را به‌صورت دقیق پیش‌بینی کنیم و از این روی دست طبیعت را بخوانیم. برای مثال وی قانون گرانش و همچنین قوانین سه‌گانهٔ حرکت را کشف نمود و بدین‌ترتیب توانست سرعت و مسیر حرکت هر جرمی را در آسمان و زمین توضیح دهد و حقه‌های طبیعت را برملا کند. بسیاری از کارهایی که زمانی در گذشته ناممکن به نظر می‌رسیدند به کمک یافته‌های نیوتون ممکن شدند. برای مثال فیزیک‌دانان امروزه به کمک معادلات او می‌توانند با دقت صد در صد مسیر حرکت شهاب‌سنگ‌ها در آسمان و منطقهٔ برخوردشان را به هر مکانی در آینده محاسبه کنند. ایشان می‌توانند با کمک این قوانین محموله‌های فضایی را با دقت به مدار مورد نظر خود در فضا پرتاب کنند و یا کپسول حامل فضانوردان را با دقت میلی متری به ایستگاه فضایی بین المللی متصل کنند. متخصصان موشکی قادرند در سایه این معادلات موشک‌های کروز و بالستیک خود را به سمت ساختمانی واقع در فاصلهٔ ۱۰ هزار کیلومتری آن طرف زمین پرتاب کنند و با دقت صد در صد (با خطای کم‌تر از ۵ متر) منطقهٔ مورد نظر را مورد اصابت قرار دهند.

جهان پیش‌بینی‌پذیر

در گذشته اعتقاد بر این بود که اتفاقات جهان اموری تصادفی و ناشناخته‌اند و به خدایان و عوالم ماوراءالطبیعه ربط دارند و بشر در مقامی نیست که

www.takbook.com

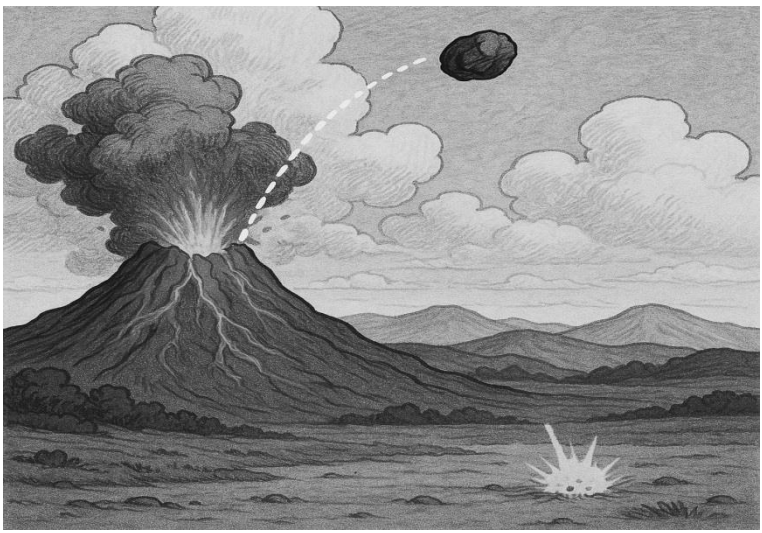
بتواند آن‌ها را درک کند. در این بین افرادی نیز بودند که به طبیعت و قوانین آن بیش‌تر از هرچیزی اعتقاد داشتند و سعی داشتند با مطالعهٔ جهان پیرامونشان حقیقت را کشف کنند. در طول زمان دانشمندان بزرگی از ارشمیدس تا گالیله دست به دست هم دادند و هریک به نوبهٔ خود سهمی در کشف جهان خود داشتند تا این‌که ۳۰۰ سال پیش نیوتون با ظهور خود این سلسله را تکمیل کرد و نشان داد که تمام پدیده‌های جهان ما از قوانین مشخصی پیروی می‌کنند و با ریاضیات قابل پیش‌بینی هستند. او انقلاب بزرگی در دنیای علم پدید آورد و جهان را از محیطی ناشناخته به جایی قابل فهم تغییر داد که در آن نه خدایان بلکه قوانین طبیعت حکمفرمانی می‌کردند. بعد از نیوتون دانشمندان دیگری هم‌چون لاپلاس (مشاور ناپلون) و استیون هاوکینگ دنباله رو مکتب فکری او شدند و دیدگاه‌های وی را گسترش دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که جهان مثل ساعت غول پیکری است که در ابتدای زمان توسط خدا کوک شده است و از آن به بعد به روشی که دقیقاً قابل پیش‌بینی است پیش می‌رود و از قوانین حرکت نیوتون تبعیت می‌کند. از نگاه ایشان جهان دیگر نمی‌توانست سر خود و از روی شانس و تصادف کار کند بلکه باید همه موجودات و پدیده‌های آن مطیع قوانین طبیعت بوده و طبق این قوانین رفتار کنند. در اواخر قرن ۱۸ میلادی فیزیک‌دان و ستاره‌شناس فرانسوی پیر سیمون لاپلاس یکی از طرفداران دو آتشهٔ این ایده مفهومی به نام (جبرگرایی علمی) را بر سر زبان‌ها انداخت و آن را در کتاب خودش مطرح نمود. طبق این دیدگاه از آن‌جایی‌که جهان

www.takbook.com

یک محیط پیش‌بینی‌پذیر است پس اگر کسی شرایط اولیه جهان را بداند به راحتی می‌تواند تمام اتفاقات آینده را پیش‌بینی کند. برای درک بهتر این موضوع به فیزیک مراجعه می‌کنیم. در فیزیک اطلاعاتی مثل سرعت و موقعیت اولیه اجسام وجود دارد که فیزیک‌دانان به آن‌ها شرایط اولیه (حالات اولیه) اجسام می‌گویند. مثلاً سیارهٔ زمین همین اکنون در نقطه‌ای از فضا قرار دارد که با سرعتی خاص و در جهتی خاص حرکت می‌کند. در واقع سرعت، جهت و مکان کنونی سیاره زمین حالات اولیه آن هستند. حال طبق مفهوم جبرگرایی علمی اگر فردی اکنون این حالات اولیه زمین را بداند با کمک قوانین نیوتون می‌تواند مکان آیندهٔ آن و اتفاقاتی که مثلاً چند روز بعد برایش می‌افتند را پیش‌بینی کند. به عنوان مثالی دیگر فرض کنید سنگی در اثر فوران آتش فشان به سمت افق پرتاب می‌شود. در نگاه نخست این سنگ بعد از این‌که مقداری در هوا پرواز کرد تصادفا در نقطه‌ای به زمین می‌افتد. درحالی‌که طبق دیدگاه جبرگرایی علمی این سنگ آیندهٔ مشخص و معلومی دارد و گویی از اول برنامه‌ریزی شده است که در کجای زمین فرود آید. در واقع سنگی که از کوه جدا شده است جرم مشخصی دارد و همچنین با یک سرعت معین در جهتی خاص پرتاب می‌شود. پس یک فیزیک‌دان به شرط داشتن حالات اولیه این سنگ با کمک قوانین حرکت نیوتون قادر است آیندهٔ آن را به‌صورت کاملاً دقیق پیش‌بینی کند. به عبارت دیگر اگر او سرعت و جهت اولیه پرتاب و همچنین جهت و سرعت باد و فشار هوا را بداند با حل چند معادلهٔ ساده

www.takbook.com

می‌تواند محاسبه کند این سنگ در چند ثانیه آینده و با چه سرعتی و در کدام نقطه فرود خواهد آمد. این همان چیزی است که سربازان ارتش در پرتاب خمپاره‌ها از آن بهره می‌گیرند و بدین روش مکان دقیق هدف را بدست می‌آورند.



با مشخص شدن حالات اولیه سنگ در لحظهٔ پرتاب می‌توان مکان دقیق فرود آن را پیش‌بینی کرد.

جبرگرایی علمی در زندگی موجودات زنده

لاپلاس تا حدی در این مفهوم غرق شده بود که وجود معجزه و نقش خالق را در ادارهٔ جهان منتفی می‌دانست و معتقد بود با استفاده از قوانین نیوتون می‌توانیم آینده را با همان دقتی که گذشته را می‌دانیم پیش گویی کنیم پس

www.takbook.com

دیگر لازم نیست خداوند در ادارهٔ آن نقش فعالی داشته باشد. در نظر او خداوند در ابتدا جهان و موجودات آن را خلق کرده و سپس آن‌ها را به حال خود رها کرده است. چون معتقد بود جهانی که خداوند آفریده است مثل رباتی است که تمام رفتارها و وظایف آن از قبل برنامه‌ریزی شده و تا ابد طبق این برنامه و روش کار خواهد کرد. پیشتر دیدیم که اگر ما شرایط اولیه یک سیاره یا شهابسنگی را بدانیم می‌توانیم پیش‌بینی کنیم که این جسم بعد از چند ماه یا چند سال به کجا می‌رود و چه سرنوشتی خواهد داشت اما موضوع این‌جاست که فقط شهاب‌سنگ‌ها و سیارات از قوانین طبیعت پیروی نمی‌کنند بلکه تقریباً تمام موجودات عالم از گیاهان گرفته تا سلول‌های بدن و مولکول‌های هوا نیز تابع همین قوانین طبیعت‌اند و می‌توان آیندهٔ آن‌ها را نیز پیش‌بینی کرد. در واقع بر اساس دیدگاه جبرگرایی نیوتون همهٔ موجودات سرنوشتی دارند که به‌طور حتم روزی که وقتش برسد به تقدیرشان خواهند رسید. فرض کنید کبوتری بر لبه بام ساختمانی ۱۰ طبقه نشسته است و گربه‌ای آن طرف پشت کولر به کمین نشسته و هر لحظه ممکن است با یک خیزتر و تمیز کبوتر را بگیرد. از طرفی فرض کنید ما از قبل شرایط اولیهٔ این محیط، یعنی مکان و سرعت و حالت تمام اتم‌های بدن گربه، کبوتر و حتی اتم‌های جو هوای حاکم بر آن‌جا شامل فشار و سرعت باد، دما و رطوبت و همچنین حالات اولیهٔ تمام اتم‌ها و مولکول‌های دیواری که کبوتر روی آن نشسته شده است را نیز بدست آورده‌ایم. حال کافی است با یک ابرکامپیوتر قدرتمندی که میلیون‌ها برابر سریع‌تر از رایانه‌های

www.takbook.com

امروزی است دست به محاسبه و شبیه‌سازی بزنیم و بر اساس قوانین نیوتون آیندهٔ این صحنه را برای چند ثانیهٔ پیش رو پیش‌بینی کنیم. مثلاً فرض کنید در پیش‌بینی خود خواهیم دید که وقتی گربه به سمت کبوتر هجوم می‌آورد پر کبوتر را به دندان می‌گیرد اما پای جلوی راستش روی دیوار لیز می‌خورد و از آن بالا به همراه پرنده سقوط می‌کند. کبوتر در هنگام سقوط در هوا از دهان گربه فرار می‌کند و گربهٔ بیچاره از ارتفاع ۳۰ متری نقش زمین می‌شود. استخوان جمجمه و پای چپ عقبش می‌شکنند و از گوش‌هایش خونریزی می‌کند ولی خوشبختانه زنده می‌ماند. خوبی این داستان در این‌جاست که وقتی این پیش‌بینی را انجام دادیم هنوز گربه به کبوتر حمله نکرده است. پس با کمال احترام و آرامش پیش گربه می‌رویم و از او خواهش می‌کنیم که به خاطر خودش هم که شده این کار خانمان سوز را انجام ندهد.

اگر حالات اولیه محیط را داشته باشیم می‌توانیم نحوهٔ شکار کبوتر توسط گربه را شبیه‌سازی و پیش‌بینی کنیم.

www.takbook.com

جبرگرایی علمی و انسان

طبق دیدگاه جبرگرایی علمی اگر تمام آیندهٔ جهان قابل پیش‌بینی باشد این موضوع برای همهٔ موجودات زنده و غیرزنده در این جهان صدق خواهد کرد. این یعنی حتی تصمیم‌ها و کارهایی که ما انسان‌ها در آینده انجام می‌دهیم از قبل تعیین شده‌اند و شانس یا تصادفی در کار نخواهد بود. به عبارت دیگر همهٔ اتفاقاتی که از آغاز بیگ‌بنگ تا به امروز رخ داده‌اند مثل سرنوشت از قبل تعیین و نوشته شده‌اند و راه گریزی از تقدیرمان نخواهد بود. پس با این اوصاف تکلیف اراده و اختیار چه می‌شود؟ اگر همهٔ اتفاقات و رویدادهای جهان ما به نوعی از قبل تعیین شده باشند پس آیا ما اختیاری از خود نداریم؟

دانشمندان زیادی هم‌چون استیون هاوکینگ معتقد بودند که قوانین فیزیکی نه تنها بر دنیای ما و پدیده‌های اطراف آن حاکم‌اند بلکه بر تک‌تک ذرات بدن و مغزمان نیز حاکم‌اند پس در واقع ما نیز جزئی از ساعت بزرگ کیهانی هستیم که خداوند آن را در ابتدای زمان کودک کرده و حالا یک فرد با دانستن شرایط اولیه تک‌تک ذرات بدنمان، می‌تواند آیندهٔ ما را نیز پیش‌بینی کند. طبق این ایده ما انسان‌ها گمان می‌کنیم که آزادی اراده داریم و هر آن‌چه را که دلمان بخواهد انجام می‌دهیم درحالی‌که این‌گونه نیست. دانش ما دربارهٔ اساس مولکولی زیست‌شناسی نشان می‌دهد که فرآیندهای بیولوژیکی بدن ما نیز از طریق قوانین فیزیک نیوتونی اداره می‌شوند و به اندازهٔ مسیر حرکت یک

www.takbook.com

شهاب سنگ مشخص و قابل پیش‌بینی‌اند. پس اگر کسی شرایط اولیه (مکان و سرعت و حالت) تک‌تک ذرات بدنمان را بداند می‌تواند رفتار و افکار ما را نیز در هر لحظه‌ای در آینده پیش‌بینی کند. تصور کنید فردی دل رحم تفنگ خود را به سمت آهویی در جنگل نشانه گرفته است. او در دل است. از یک طرف به بچه‌های آهو فکر می‌کند و نمی‌خواهد مادرشان را بکشد و از سویی به گوشت خوشمزهٔ آهو و به لحظه‌ای فکر می‌کند که آن را با خانواده‌اش کباب می‌کنند و می‌خورند. بیایید رفتار این مرد را پیش‌بینی کنیم و قبل از او بفهمیم که آیا وی در نهایت تصمیم به کشیدن ماشه می‌کند یا نه؟

مغز این مرد از ۱۷۰ میلیارد سلول و یک صد تریلیون تریلیون اتم ساخته شده است. ما باید در عرض کم‌تر از یک ثانیه حالات اولیه هریک از یکصد تریلیون تریلیون اتم مغز او را بدانیم و تقریباً به همین تعداد معادله را حل کنیم تا پیش‌بینی کنیم که آیا این مرد در چند ثانیهٔ آینده ماشه تفنگ را می‌کشد یا نه. بله ما قادریم محاسبه کنیم که او به کبوتر شلیک می‌کند یا نه، اما مشکل این‌جاست که برای پیش‌بینی تصمیم وی با کامپیوترها و تکنولوژی امروزی به چند صد میلیارد سال زمان لازم است. به بیان دیگر نوع تصمیم و نحوهٔ رفتار این مرد و هر موجود دیگری از سال‌ها پیش مشخص است و تنها باید زمان آن فرا برسد تا آن رویداد به وقوع بپیوندد.

www.takbook.com

اختیار یا تقدیر؟

تا زمانی که دنیای کوانتوم کشف نشده بود هر فیزیک‌دانی مجبور به پذیرش جبرگرایی علمی در زندگی‌اش بود. ظاهرا آن‌طور که نیوتون و هم عصران وی اعتقاد داشتند اتفاقات جهان ما هم‌چون دومینویی بودند که خداوند در آغاز خلقت چیده بود. افتادن این قطعات قابل پیش‌بینی بودند و راه فراری از سرنوشتی که در انتظارمان بود وجود نداشت. همان‌طور که قطعات دومینو را کنار هم می‌چینید و سپس اولین قطعه را واژگون می‌کنید بقیهٔ قطعات پشت سر هم به‌ترتیب با نظمی قابل پیش‌بینی می‌افتند. در جبرگرایی علمی نیز اتفاقات دنیای ما مثل همان افتادن‌های قطعات دومینو قابل پیش‌بینی و اجتناب‌ناپذیراند و فقط کافی است فیزیک‌دانی شرایط اولیه خود و محیط پیرامونش را بداند آن‌گاه قادر است سرنوشت خود را بعد از ۱۰ سال و ۹ ماه و ۸ روز پیش‌بینی کند. او قادر است به شرط داشتن حالات اولیه تک‌تک اتم‌های پسر ۱۰ ساله‌اش می‌تواند پیش‌بینی کند که فرزندش در آینده چه شغلی بر می‌گزیند قیافه‌اش چگونه خواهد بود و با چه کسی ازدواج خواهد کرد. در جبرگرایی علمی مفهوم اختیار یک چیز توهمی و غیرقابل باور است. در این دیدگاه هر چیزی در لوح محفوظ خداوند نوشته و هر چیزی که مقدر است اتفاق می‌افتد و کسی نمی‌تواند از خود آزادی اراده داشته و سرنوشت خود یا فردی دیگر را تغییر دهد. برای مثال اکنون دو لیوان چای و قهوه را پیش روی خود روی میز قرار دهید و سپس یکی را به

www.takbook.com

ارادهٔ خود انتخاب کرده و بنوشید. برای مثال شما چای را انتخاب می‌کنید و به زعم خود خیال می‌کنید خودتان این تصمیم را گرفته‌اید اما از نگاه فیزیک کلاسیک نیوتونی شما کاره‌ای نبودید. انتخاب چای و خوردن آن مثل قطعهٔ دومینویی بود که از اول قرار بود در آن لحظه اتفاق بیفتد درحالی‌که شما خیال می‌کنید که خود این گزینه را انتخاب کرده‌اید. با این حال برخی از دانشمندان هم عصر لاپلاس با این‌که بر جبرگرایی علمی باور داشتند اما برای اختیار انسان استثنا قایل می‌شدند و معتقد بودند که ما دارای اختیاریم و قوانین نیوتون نمی‌توانند بر اراده و اختیارمان مسلط شوند و ما را هم‌چون یک ربات برنامه‌ریزی شده به بردگی بگیرند. به عنوان مثال دکارت معتقد بود که ذهن انسان با دنیای فیزیکی تفاوت دارد و از قوانین نیوتون تبعیت نمی‌کند. از دیدگاه وی انسان از دو بخش بدن و روح تشکیل شده است. بدن انسان مانند یک ماشین جبری عمل می‌کند و از قوانین نیوتون پیروی می‌کند و جبرگرایی علمی بر او حاکم است یعنی ما با دانستن حالات اولیهٔ تک‌تک اتم‌های بدنمان قادریم تمام رفتارهای آیندهٔ آن را پیش‌بینی کنیم درحالی‌که روح از قوانین نیوتون پیروی نمی‌کند و غیرقابل پیش‌بینی است. او باور داشت که عضو کوچکی در مغز به نام غده صنوبری وجود دارد که جایگاه اصلی روح است و عقیده داشت این غده محل شکل‌گیری تمام افکار ماست و اراده آزاد و اختیار آدمی از آن‌جا ناشی می‌شود.

www.takbook.com

مکانیک کوانتوم دشمن جبرگرایی علمی

۱۰۰ سال پیش جبرگرایی علمی هم‌چنان پیروز میدان بود تا این‌که فیزیک‌دانان به دنیای اتم و ذرات زیر اتمی و قوانین آن پی بردند. آن‌ها فهمیدند که دنیایمان در مقیاس اتم‌ها آن‌طور که انتظار دارند اداره نمی‌شود و قوانین اسرارآمیزی بر آن حاکم است. ایشان پی بردند اجسام می‌توانند هم‌زمان در چندین مکان حضور داشته باشند، از دیوارها عبور کنند و از فاصله‌های بسیار دور بدون هیچ‌گونه سیم و امواجی با هم ارتباط داشته باشند. اما مهمترین ویژگی جهان کوانتوم این بود که شانس و احتمال در این جهان حرف اول را می‌زند و قطعیتی در کار نیست. برای نمونه در دنیای کلاسیک نیوتونی یک کفش حالت و ویژگی مشخصی دارد. مثلاً کفش من یک کفش مشکی است. اما همین کفش در در دنیای ذرات کوانتومی هم‌زمان تمام رنگ‌های ممکن را داراست و تا زمانی که به آن نگاه نکرده‌اید به‌طور دقیق نمی‌توانید رنگ آن را پیش‌بینی کنید. در واقع شما تنها می‌توانید احتمالات مربوط به آن را محاسبه کنید و مثلاً بدانید که این کفش به احتمال ۳۷ درصد مشکی، ۲۷ درصد سفید، ۵ درصد نارنجی و ... است. در دنیای کلاسیک وقتی اتومبیلی از تبریز به تهران حرکت می‌کند یک مسیر مشخص دارد اما در جهان کوانتوم این اتومبیل هم‌زمان می‌تواند مثل روح از هزاران راه ممکن هم‌چون مسیر زنجان، مسیر قطب شمال، مسیر صحرای آفریقا و هزاران راه دیگر به سمت تهران در حرکت باشد و شما به جای این‌که

www.takbook.com

مسیر دقیق آن را بدانید فقط قادرید احتمالات مربوط به هرکدام از این مسیرها را محاسبه کنید.

سمت چپ جهان لاپلاس را نشان می‌دهد که مثل یک ساعت کوکی همه چیز از قبل برنامه‌ریزی شده و همهٔ پدیده‌ها قابل پیش‌بینی‌اند – سمت راست جهانی قرار دارد که پدیده‌های آن طبق مکانیک کوانتوم بر حسب شانس و تصادف رخ می‌دهند.

هنگامی که در اوایل قرن بیستم فیزیک‌دانان تازه با مکانیک کوانتوم آشنا می‌شدند عده‌ای از آن‌ها به درست بودن این علم شک کرده بودند و باورشان نمی‌شد جهان بر پایه مشتی شانس و احتمال بنا شده باشد. یکی از آن‌ها آلبرت اینیشتین بود که با وجود این‌که در شکل‌گیری فیزیک کوانتوم سهم بسزایی داشت با دیدن رفتار عجیب ذرات کوانتومی به سطوح آمد و مدت‌ها سعی می‌کرد به همگان ثابت کند که چنین چیزی درست نیست و

www.takbook.com

همیشه می‌گفت خداوند در ادارهٔ جهان تاس نمی‌اندازد. بعد از کش و قوس‌های فراوان درنهایت فیزیک‌دانان پذیرفتند بر خلاف چیزی که فیزیک کلاسیک نیوتونی می‌گوید در دنیای ما قطعیتی وجود ندارد و دیگر نمی‌توان پدیده‌های جهان را مثل قبل پیش‌بینی کرد. مکانیک کوانتوم نشان داد که جهان مثل یک ربات از قبل برنامه‌ریزی شده نیست که کارهایش طبق برنامه پیش برود بلکه در هرلحظه می‌تواند رفتارهای تصادفی از خود نشان دهد و پدیده‌های آن بر حسب شانس اتفاق بیفتند. بنابراین در جهانی که از این ذرات ساخته شده است حتمیتی در کار نیست و دانشمندان نمی‌توانند آیندهٔ پدیده‌ها را به‌صورت صد در صد دقیق پیش‌بینی کنند. بدین صورت دنیا از سلطه جبرگرایی علمی خارج شد و اختیار بر تقدیر پیروز شد.

www.takbook.com

www.takbook.com

فصل دوم
مکانیک کوانتوم

www.takbook.com

www.takbook.com

مکانیک کوانتوم

مکانیک کوانتوم شاخه‌ای از علم فیزیک است که دنیای ذرات زیر اتمی مانند اتم‌ها و الکترون‌ها را بررسی می‌کند و رفتارشان را توضیح می‌دهد. سال‌ها پیش وقتی دانشمندان وارد این حیطه شدند و به بررسی این جهان ریز پرداختند به موارد شگفتی برخوردند که باورش بسیار سخت بود گویی آلیس وارد سرزمین عجایب شده بود. آن‌ها در کمال شگفتی پی بردند که جهان کوانتوم بر خلاف دنیای روزمرهٔ ما بسیار عجیب است و همه چیز در آن بر پایهٔ احتمالات بنا شده است. ذرات در این دنیا می‌توانند از هیچ بوجود آیند، به‌طور هم‌زمان در چندین مکان و چندین حالت حضور داشته باشند، از دیوارها عبور کنند و از فواصل میلیاردها سال نوری با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. انسان‌های نابغه و دانشمندان بسیاری هم‌چون آلبرت اینیشتین و اروین شرودینگر با مطالعهٔ رفتار ذرات اتمی متحیر شدند و آن را باور نکردند اما کم کم در گذر زمان با کشفیات بیش‌تر و بیش‌تر همه قانع شدند که قوانین حاکم بر جهان کوانتومی با قوانین دنیای ما تفاوت بسیاری دارد و چیزی شبیه به یک رویا در یک جهان دیگر است.

آزمایش دو شکاف

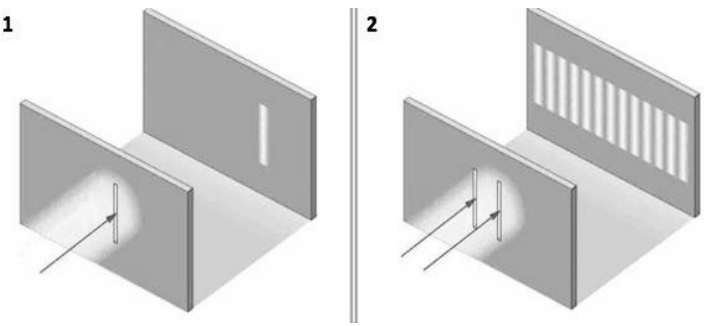
از هزاران سال پیش یک سؤال عجیب و پیچیده ذهن بشر را آزار داده است. چگونه می‌توانیم مطمئن بشویم که جهان ما یک جهان واقعیست یا فقط تصویری خیالی در ذهن ماست؟ در ابتدا این سؤال بسیار احمقانه به نظر

www.takbook.com

می‌رسد ولی وقتی روی کوچک‌ترین اجزای جهان زوم می‌کنیم و به دنیای کوانتوم می‌رویم حتی به واقعی بودن خودمان نیز شک می‌کنیم. بحث‌های فلسفی در مورد واقعی یا توهمی بودن جهان زیاد است اما اگر بخواهیم به‌صورت علمی و از طریق مکانیک کوانتوم به این موضوع بپردازیم بهتر است ابتدا سراغ آزمایش معروف دو شکاف برویم. چون تمام درگیری ما با واقعیت از همین آزمایش ساده شروع شد و همین آزمایش بود که ما را با دنیای اسرارآمیز کوانتوم آشنا کرد. برای این‌که درک بهتری از شگفتی دنیای کوانتوم داشته باشید؛ اول از همه به ماهیت دو گانهٔ نور می‌پردازیم و یکی از چالش برانگیزترین آزمایشات علمی انجام شده در این زمینه یعنی آزمایش دو شکافت را مرور می‌کنیم. زمانی فیزیک‌دانان بر سر ماهیت و ساختار پرتوهای نور اختلاف نظر داشتند. عده‌ای مثل نیوتون فکر می‌کردند که نور از ذرات ساخته شده است. وی معتقد بود نور از ذرات کوچکی به نام کرپوسکول تشکیل شده است. بر اساس این دیدگاه وقتی نور چراغ قوه‌ای به سطح یک آینه برخورد می‌کند و بازتاب می‌خورد مثل این است که دسته‌ای از توپ‌های بیلیارد به آینه برخورد می‌کنند و برمی‌گردند. در این میان عده‌ای از فیزیک‌دانان نیز مثل کریستین هویگنس معتقد بودند که نور مثل صوت خاصیت موجی دارد و پرتوهای نور مثل امواج صورت یا امواج آب در فضا منتشر می‌شوند و به این سو و آن سو می‌روند. بحث موجی یا ذره‌ای بودن نور مدت‌ها در میان دانشمندان رواج داشت تا این‌که در سال ۱۸۰۱ فردی به نام توماس یانگ دست به معروف‌ترین آزمایش

www.takbook.com

تاریخ علم (آزمایش دوشکاف) زد. او در این آزمایش نوری را به سمت صفحه‌ای که دارای دو شکاف نازک بود تاباند. سپس در پشت شکاف‌ها صفحه‌ای قرار داد تا پرتو نور بعد از عبور از شکاف‌ها به آن برسد. او ابتدا یکی از سوراخ‌های صفحه را پوشاند و دیگری را باز گذاشت و پرتو نور را به سمت آن تاباند و دید که یک نوار عمودی باریک از نور، روی صفحهٔ پشتی ظاهر شد. یانگ فکر می‌کرد که نور جریانی از ذرات است و مسلماً انتظار داشت وقتی شکاف دیگر را هم باز کرد، ذرات نور از هرکدام از شکاف ها گذشته و در نتیجه دو نوار باریک نوری روی صفحهٔ پشتی ببیند، اما این اتفاق نیفتاد. به جای دو نوار باریک، بیش‌تر بخش‌های صفحه را مجموعه‌ای از نوارهای عمودی روشن و تاریک پر کرد. یانگ این‌گونه توجیه کرد که نور مثل یک موج حرکت می‌کند و از هر دو شکاف می‌گذرد و بعد از گذشتن از شکاف‌ها دو موجی که از هر شکاف منتشر می‌شوند با یکدیگر تداخل می‌کنند و به‌صورت الگویی از نوارهای تاریک و روشن بر روی صفحه ظاهر می‌شوند.



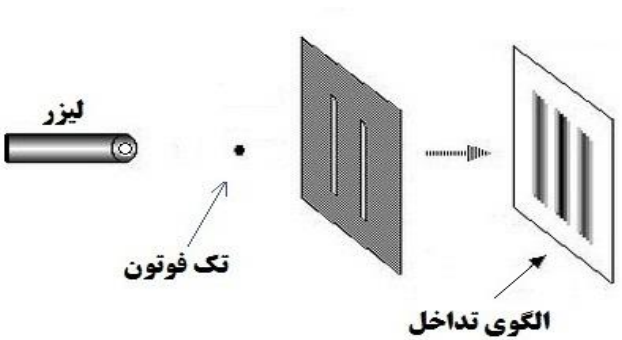
www.takbook.com

یانگ با این آزمایش نشان داده بود که نور بدون شک یک موج است. این در حالی بود که صد سال بعد از یانگ، دانشمندانی مثل ماکس پلانک و اینیشتین در طی آزمایشات خود ثابت کردند که پرتوهای نور از ذراتی به نام فوتون‌ها ساخته شده‌اند و خواص ذره‌ای دارند. تا اوایل قرن بیستم فیزیک‌دانان هم‌چنان دربارهٔ ماهیت نور دچار اختلاف بودند اما در نهایت بین خود چنین توافق کردند که فوتون ها ماهیتی دوگانه دارند و می‌توانند هم به شکل ذره و هم به‌صورت موج عمل کنند. با این حال، دانشمندان هنوز هم از خود می‌پرسیدند: «اگر بتوانند فوتون‌ها را یکی یکی به سمت صفحهٔ دو شکاف شلیک کنند، چه چیزی رخ خواهد داد؟ آیا فوتون‌ها مثل ذره از شکاف‌ها عبور می‌کنند یا مثل موج از هر دو شکاف رد می‌شوند؟؟»

سرانجام، لیزری اختراع شد که قادر بود هر بار تنها یک فوتون شلیک کند. دانشمندان آزمایش دو شکاف یانگ را دوباره انجام دادند. آن‌ها صفحهٔ دارای دو شکاف را مقابل لیزر گذاشتند و سپس پشت آن یک صفحهٔ عکاسی حساس قرار دادند تا وقتی فوتون‌ها از هرکدام از شکاف‌ها که رد شدند روی صفحهٔ عکاسی ظاهر شوند. آن‌ها فوتون‌ها را تک‌تک به سمت صفحهٔ دارای دو شکاف شلیک کردند اما نتیجه غیرمنتظره بود. هر عقل سلیمی می‌داند که اگر فوتون‌ها را مثل ذرات توپ به سمت یک صفحه با دو شکاف شلیک کنیم انتظار داریم که عده‌ای از فوتون‌ها به صفحه برخورد کنند و برگردند و عده‌ای دیگر نیز از یکی از شکاف‌ها عبور کنند. پس روی صفحهٔ عکاسی دو نوار روشن تشکیل می‌شود. این

www.takbook.com

یعنی این‌که تعدادی از فوتون‌ها از شکاف اول گذشتند و نوار اول را تشکیل دادند و عده‌ای نیز از شکاف دوم گذشتند و نوار دوم را روی صفحهٔ عکاسی ایجاد کردند. در واقع فیزیک‌دانان نیز مثل ما انتظار داشتند که هرکدام از فوتون‌های شلیک شده از یکی از شکاف‌ها عبور کنند و به‌صورت نقطه‌هایی بر روی صفحهٔ عکاسی ظاهر شوند و تنها دو نوار باریک روشن بسازند. اما در کمال تعجب دیدند که دوباره الگوی تداخل یانگ (نوارهای تیره و روشن) روی صفحهٔ عکاسی ایجاد شد. این یعنی یک تک فوتون به جای این‌که مثل ذره رفتار کند و از یکی از شکاف‌ها بگذرد مثل موج رفتار کرده و هم‌زمان از هر دو شکاف گذشته و مثل موج با خودش تداخل کرده و به‌صورت نوارهای تیره و روشن ظاهر شده است.



یک فوتون مثل موج هم‌زمان از هر دو شکاف عبور می‌کند و الگوی تداخلی ظاهر می‌شود.

این مثل این است که یک تک ذرهٔ فوتون هنگام رسیدن به شکاف‌ها ماهیت خود را عوض می‌کند و به شکل موج در می‌آید و به شکل موج

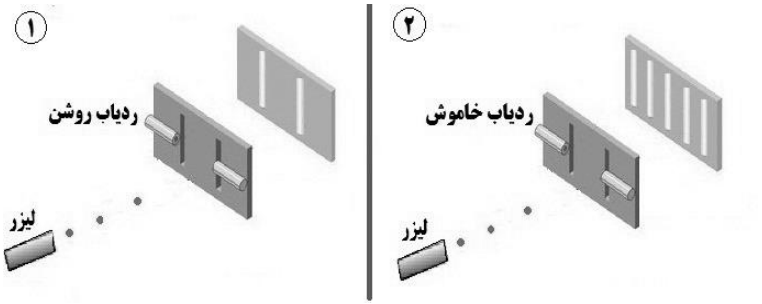
www.takbook.com

به‌طور هم‌زمان از هر دو شکاف رد می‌شود و بر روی صفحه الگوی تداخلی ایجاد می‌نماید. این موضوع باعث حیرت و سردرگمی دانشمندان شده بود. چگونه یک ذره می‌توانست هم‌زمان از هر دو شکاف عبور کند؟؟

دانشمندان این‌بار تصمیم گرفتند کنار شکاف‌ها، ردیابِ فوتون کار بگذارند تا ببینند که فوتون هنگام رسیدن به شکاف‌ها چه می‌کنند. آن‌ها می‌خواستند ببینند که هر فوتون از کدام شکاف عبور می‌کند تا بدین طریق مسیر واقعی فوتون را مشاهده کنند. آن‌ها وقتی همین آزمایش را در حضور ردیاب‌ها انجام دادند متوجه شدند که دیگر خبری از الگوی تداخلی نیست و تنها دو خط باریک روی صفحهٔ عکاسی ظاهر شد. اما همین که ردیاب‌ها را خاموش می‌کردند، فوتون‌ها دوباره مثل موج رفتار می‌کردند و از هردو شکاف عبور کرده و الگوی تداخلی بر روی صفحهٔ عکاسی ایجاد می‌کردند. این پدیده بر حیرت دانشمندان افزوده بود گویی فوتون‌ها بعد از شلیک هنگام رسیدن به شکاف‌ها می دانستند در معرض مشاهده شدن قرار دارند و به همین دلیل، به جای این‌که به‌صورت موجی عمل کنند و هم‌زمان از هر دو شکاف رد شوند، به همان صورت ذره باقی مانده و تنها از یکی از شکاف‌ها عبور می‌کردند. به عبارت دیگر وقتی دانشمندان هزاران فوتون را به سمت شکاف‌ها شلیک کردند، تک‌تک فوتون‌ها از ترس دیده شدن توسط ردیاب، فقط از یکی از این دو شکاف عبور کرده و به‌صورت ذره به صفحهٔ عکاسی برخورد کردند. به همین خاطر تعدادی ذرهٔ فوتون از یک شکاف و تعدادی از شکاف دیگر عبور کرده و دو نوار باریک از خود

www.takbook.com

برجای می‌گذاشتند اما همین که ردیاب‌ها خاموش می‌شد فوتون‌ها می‌دانستند که کسی آن‌ها را دید نمی‌زند به همین خاطر مثل موج عمل می‌کردند و مثل یک روح هم‌زمان از هر دو شکاف رد می‌شدند و روی صفحهٔ عکاسی الگوی تداخل (نوارهای تیرو و روشن) ایجاد می‌کردند.



در شکل ۱ فوتون‌ها مثل ذره رفتار می‌کنند – در شکل ۲ فوتون‌ها مثل موج رفتار می‌کنند.

جالب این‌جاست که این موضوع نه تنها برای فوتون‌ها (ذرات نور) بلکه برای هر ذرهٔ مادی دیگری از جمله الکترون‌ها، پروتون‌ها، نوترون‌ها و خود اتم‌ها نیز صادق است و حتی دانشمندان این آزمایش را با مولکول‌های باکی بال حاوی ۶۰ اتم کربن نیز انجام داده و به نتیجه مشابهی رسیدند. گویی در دنیای کوانتوم، ذرات دارای شعور هستند و خودشان تصمیم می‌گیرند که به‌صورت موج رفتار کنند یا ذره. یک فوتون یا هر ذره زیر اتمی دیگر در حضور ردیاب به‌صورت یک ذره معمولی رفتار می‌کنند زیرا می‌داند که ما او را مشاهده می‌کنیم اما اگر ردیاب نباشد او می‌فهمد که کسی نگاهش نمی‌کند برای همین مثل یک موج به‌طور هم‌زمان از هرچند شکاف که

www.takbook.com

روبرویش باشد عبور می‌کند و بعد از رد شدن با خود تداخل کرده و به‌صورت نوارهای تاریک و روشن روی صفحهٔ عکاسی ظاهر می‌شود.

آزمایش گزینش تأخیری جان ویلر

فیزیک‌دان نابغه‌ای به نام جان ویلر که می‌خواست حقهٔ طبیعت را کشف کند در سال ۱۹۷۸ پیشنهاد کرد که در آزمایش دو شکاف ردیاب‌ها را این‌بار در پشت شکاف‌ها قرار دهند تا فوتون را بعد از عبور از شکاف‌ها ردیابی کرده و مسیرش را بدانند. در واقع او می‌خواست فوتون با خیال آسوده از هر دوی شکاف‌ها عبور کند و ردیاب‌ها به گونه‌ای تنظیم شده بودند که درست در آخرین لحظهٔ پیش از برخورد فوتون با صفحهٔ عکاسی روشن می‌شدند. به این ترتیب می شد مچ فوتون را گرفت. در زمانی که ویلر این آزمایش را مطرح کرد، انجام آن از لحاظ فنی غیرممکن بود. اما بالاخره در سال ۲۰۰۷، گروهی از دانشمندان فرانسوی امکان انجام آن را فراهم آوردند.

روال کار در آزمایش گزینش تأخیری به این ترتیب بود:

ابتدا تفنگ فوتون یک عدد فوتون را به سمت صفحهٔ دارای دو شکاف شلیک کرد. از آن‌جایی که ردیابی نبود، فوتون به‌صورت موج از هر دو شکاف عبور کرد اما درست قبل این‌که به صفحه برخورد نموده و الگوی تداخلی ایجاد شود ردیاب روشن گردید. دانشمندان فکر می‌کردند که با

www.takbook.com

این کار فوتون را غافلگیر کرده‌اند. زیرا فوتون به‌صورت موج از هر دوی شکاف‌ها عبور کرده بود و اکنون چاره‌ای نداشت مگر آن که الگوی تداخل را روی صفحهٔ عکاسی ایجاد کند. اما بر خلاف انتظار همه، فوتون به شکل ذره بر روی صفحهٔ عکاسی برخورد کرد گویی تنها از یک شکاف عبور کرده بود.

در این‌جا دو احتمال مطرح می‌شود. احتمال اول این است که فوتون از آینده و حقهٔ جان ویلر خبر داشت و می‌دانست که ردیاب در آینده بعد از رد شدن او از شکاف روشن خواهد شد به همین خاطر از اول تصمیم گرفته بود مثل یک ذره رفتار کند و تنها از یکی از شکاف‌ها عبور نماید و به همین خاطر به‌صورت یک ذره بر صفحه عکاسی ظاهر شد. احتمال دوم این است که فوتون از آینده خبر نداشت و چون فکر می‌کرد ردیابی نیست مثل موج از هر دو شکاف عبور کرد. اما بعد از گذشتن از هر دو سوراخ با روشن شدن ردیاب ماجرا را فهمید و چاره‌ای نداشت مگر این‌که گذشته را تغییر دهد. یعنی به زمانی در گذشته برگشت که هنوز از شکاف‌ها رد نشده بود. بنابراین اشتباه خود را جبران کرد و به جای این‌که مثل موج از هر دو شکاف عبور کند، مثل یک ذره تنها از یکی از شکاف‌ها عبور نمود و در نتیجه به‌صورت یک نقطه روی صفحهٔ عکاسی ظاهر شد.

www.takbook.com

جان ویلر نابغه فیزیک کوانتوم می‌گوید: فیزیک کوانتوم مرا دیوانه کرده است. اعتراف می‌کنم که به این ایده معتقدم که جهان افسانه‌ای خیالی است. دنیا ممکن است تصور ذهنی و فلسفه وجود رویایی بیش نباشد...

مرز بین حوزه کوانتوم و دنیای ما

بارها و بارها آزمایش دوشکاف توسط دانشمندان مختلف بر روی ذرات مختلف حتی اتم‌ها و مولکول‌ها نیز انجام شد و هر بار نتیجه همان بود یعنی هر بار که اتمی را به سمت صفحهٔ دارای دو شکاف پرتاب می‌کردند به‌صورت موج عمل می‌کرد و همزمان از هر دو شکاف می‌گذشت اما هروقت می‌خواستند آن اتم پرتاب شده را مورد مشاهده قرار دهند مثل یک ذره رفتار می‌کرد. فیزیک‌دانان این آزمایش را با همهٔ ذرات زیر اتمی، اتم‌های مختلف و حتی مولکول‌های بزرگی متشکل از ۷۰ اتم کربن (باکی بال) انجام دادند و متوجه شدند که همهٔ این ذرات رفتار دوگانهٔ موج – ذره

www.takbook.com

را نشان می‌دهند. با این حال پی بردند که هرچقدر از ذرات بزرگ‌تری استفاده می‌کنند حالت موج گونه آن‌ها ناپدید می‌شود و مثل اجسام معمولی روزمره رفتار می‌کنند. مثلاً یک ذره در ابعاد اتم یا مولکول باکی بال حالت موج گونه دارد و هم‌زمان می‌تواند از هر دو شکاف عبور کند اما اگر همین اتم هزاران برابر بزرگ شده و به اندازهٔ یک ذره غبار درآید آن‌گاه حالت موجی خود را از دست می‌دهد و مثل اجسام معمولی رفتار می‌کند. به عبارت دیگر با بزرگ شدن ذره از حوزه کوانتوم خارج می‌شود و به دنیای بزرگ مقیاس خودمان برمی‌گردد که قوانینش با قوانین دنیای کوانتوم کاملاً متفاوت است و مثل این است که آلیس از سرزمین عجایب به دنیای خودش برگشته است.

اصل برهم نهی کوانتومی

بعد از بحث و جدل‌های فراوانی که سال‌ها بین دانشمندان برای تفسیر مکانیک کوانتومی صورت گرفت، در نهایت ایشان رفتار عجیب ذرات را نتیجهٔ یک اصل بنیادی مکانیک کوانتوم به نام "برهم نهی" دانستند. طبق این اصل یک شی کوانتومی (مثلاً یک الکترون) تا زمانی که مشاهده نشود می‌تواند به‌طور هم‌زمان در تمام حالت‌های ممکن قرار داشته باشد. برای مثال فرض کنید الکترونی را از فاصلهٔ ۱۰ متری به سمت یک دیوار شلیک می‌کنیم. این الکترون تا زمانی که توسط ما مشاهده نشود، می‌تواند به‌طور هم‌زمان همهٔ سرعت‌های ممکن را داشته باشد و در همهٔ مکان‌های ممکن

www.takbook.com

طی طریق کند و همچنین قادر است تمام ویژگی‌های کوانتومی که یک ذره می‌تواند دارا باشد را هم به‌طور هم‌زمان داشته باشد.

الف) تمام مکان‌ها و مسیرهای ممکن

برای این‌که بفهمید یک ذره چگونه می‌تواند هم‌زمان تمام مکان‌ها و مسیرهای ممکن را اشغال کند؛ مثالی از دنیای واقعی آورده می‌شود:

شما وقتی که در خانه هستید تنها یک مکان را اشغال کرده‌اید و آن مکان همان خانهٔ شماست. در حالی که اگر یک الکترون بودید و به شرطی که هیچ‌کس شما را نمی‌دید؛ آن‌وقت شما نه تنها در خانهٔ خود بلکه در تمام خانه‌ها، خیابان‌ها، کوچه‌ها و هر جای ممکنی در کرهٔ زمین و حتی سیارات دیگر و کشهکشان نیز به‌صورت هم‌زمان حضور داشتید. حالا فرض کنید شمایی که انسان هستید می‌خواهید به مغازه بروید. برای این‌کار از خانه خارج می‌شوید و به راه می‌افتید و تنها از یک راه مشخص به مغازه می‌رسید. درحالی‌که اگر الکترون بودید همین که از خانه خارج می‌شوید؛ تمام مسیرهای ممکنی که برای رفتن به مغازه وجود دارند را انتخاب می‌کنید و به‌صورت هم‌زمان از همهٔ این مسیرها عبور می‌کنید تا به مغازه برسید. یعنی شما هم‌زمان که از طریق خیابان بهار به مغازه رهسپار می‌شوید از طریق خیابان امام نیز به طرف مغازه می‌روید و حتی در مسیری ممکن است کل شهرتان را نیز دور بزنید تا به مغازه برسید.

www.takbook.com

ب) تمام سرعت‌های ممکن

فرض کنید در دنیای واقعی خودمان ماشین خودرانی در خیابان در حال حرکت است. این ماشین صرف نظر از این‌که کسی ان را ببیند یا نه، در هر لحظه سرعت مشخصی دارد. مثلاً اگر پلیسی در آن‌جا با سرعت سنج سرعت او را اندازه بگیرد خواهد دید که این ماشین با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کند. حتی اگر پلیسی هم آن‌جا نباشد، باز هم این ماشین در آن لحظه با همان سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت خواهد کرد. حالا فرض کنید این ماشین یک الکترون است. تا زمانی که پلیس یا هر کس دیگری او را نبیند و سرعتش را نسنجد، این ماشین هم‌زمان با تمام سرعت‌های ممکن حرکت می‌کند. یعنی این ماشین هم‌زمان هم با سرعت یک کیلومتر در ساعت، هم با سرعت دو کیلومتر در ساعت و ... و هم با سرعت نور حرکت می‌کند. حالا اگر کسی بیاید و فورا سرعت‌سنج را روی او قفل کند (آن را مورد مشاهده قرار دهد) آن‌گاه این ماشین تنها یک سرعت مشخص را اختیار می‌کند و فقط با همان سرعت حرکت خواهد کرد. مثلاً تنها با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت خواهد کرد یا این‌که سرعتش فقط ۲۰۰ هزار کیلومتر بر ساعت خواهد بود.

ج) تمام حالت‌های کوانتومی ممکن

فرض کنید در دنیای ما همهٔ سیب‌ها یا قرمز هستند یا سبز. اکنون اگر ما سیبی از درخت بچینیم حتی اگر به آن نگاه نکنیم و نگذاریم هیچ‌کس

www.takbook.com

دیگری به آن نگاه کند باز هم مطمئنیم که این سیب تنها یک رنگ مشخص دارد مثلاً یا قرمز است یا سبز. حالا فرض کنید این سیب یک الکترون است. تا زمانی که کسی به آن نگاه نکند، این سیب هم‌زمان هم قرمز خواهد بود و هم سبز. اما همین که فردی آن را مورد مشاهده قرار داد این سیب تنها یک رنگ مشخص اختیار می‌کند یعنی سیب ما یا قرمز خواهد بود یا سبز. البته گفتنی است که در دنیای ذرات رنگ وجود ندارد. در واقع ذرات به جای رنگ ویژگی ذاتی خاصی به نام اسپین کوانتومی دارند. اسپین یک ذره به جهت چرخش آن مربوط می‌شود. برای مثال یک الکترون دارای دو نوع چرخش می‌باشد. چرخش ساعتگرد و چرخش پادساعتگرد. حالا طبق اصل برهم نهی تا زمانی که یک الکترون را مورد مشاهده قرار ندهیم، این ذره هم‌زمان هر دو اسپین را دارا خواهد بود. یعنی هم‌زمان هم در جهت عقربه‌های ساعت و هم در خلاف جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخد. اما همین که الکترون را مورد مشاهده قرار دادیم تنها یک اسپین خواهد داشت. یعنی یا در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخد و یا در خلاف جهت عقربه‌های ساعت خواهد چرخید.

تفاسیر مکانیک کوانتوم

چگونه ممکن است ذرات کوانتومی شعور داشته باشند و وقتی ببینند ما آن‌ها را زیر نظر داریم ماهیتشان را عوض کرده و از موج به ذره تبدیل شوند؟ چطور امکان دارد یک ذره تا زمانی که دیده نشود (در حالت برهم

www.takbook.com

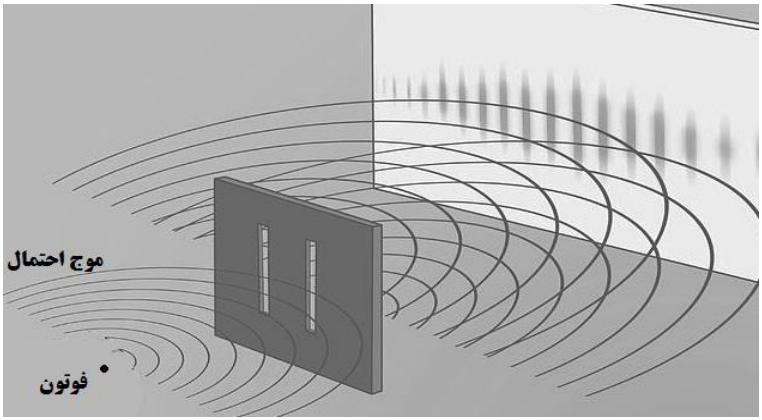
نهی) مثل موج باشد اما همین که توسط یک فرد مشاهده شد از حالت موج خارج شده و به‌صورت یک ذره نمود پیدا کند؟ فیزیک‌دانان بسیاری روی این موضوع کار کردند و هریک برای توضیح رفتار عجیب ذرات و قوانین عجیب مکانیک کوانتوم تفسیرهای مختلفی ارائه دادند که از این میان به چند مورد از مهمترین و پذیرفته شده‌ترین این تفسیرها اشاره می‌کنیم.

تفسیر کپنهاگی

در سال ۱۹۲۰ دو فیزیک‌دان نابغه به نام‌های نیلز بور و ورنر هایزنبرگ در دانشگاه شهر کپنهاگ دانمارک تفسیری برای توضیح دنیای کوانتوم ابداع کردند که به تفسیر کپنهاگی معروف شد. بر طبق این تفسیر یک ذره مثل فوتون (یا هر ذره کوانتومی دیگر) در حالت عادی در تمام مکان‌های ممکن حضور دارد. به عبارت دیگر یک فوتون در حالت عادی مثل یک ذره نیست و در یک جای بخصوص قرار نگرفته است بلکه به‌صورت هم‌زمان در تمام نقاط فضا و در تمام حالت‌های مختلف قرار دارد. پیش‌تر گفتیم که فیزیک‌دانان به این ویژگی برهم نهی کوانتومی (سوپر پوزیشن) می‌گویند. وقتی می‌گوییم یک فوتون در حالت بر نهی است یعنی این الکترون مثل یک موج احتمال یا یک روح در همه جا قرار گرفته است و نمی‌خواهد خود را نشان دهد. حال وقتی لیزری یک فوتون را به سمت دیوار دارای دو شکاف شلیک می‌کند بر خلاف انتظار ما این فوتون مثل یک ذره نیست و برای رسیدن به دیوار یک مسیر خاص را انتخاب نمی‌کند و در یک مسیر

www.takbook.com

مستقیم به سمت دیوار نمی‌رود. در واقع این فوتون در حالت بر هم نهی و مثل یک موج است و مثل یک روح یا به شکل یک موج احتمال از تمام مسیرهای ممکن به سمت دیوار دارای دو شکاف حرکت می‌کند.



وقتی هم که به دیوار می‌رسد مثل یک توپ نیست که به جایی از دیوار برخورد کند تا از یکی از شکاف‌ها بگذرد بلکه یک موج است. بنابراین بخشی از این موج به دیوار برخورد می‌کند و بخشی دیگر به‌طور هم‌زمان از هر دو سوراخ عبور می‌کند. سپس این دو موج رد شده از شکاف‌های دیوار با هم تداخل می‌کنند و به‌صورت نوارهای تیره و روشن در صفحهٔ عکاسی ظاهر می‌شوند.

تا این‌جا فهمیدیم که در حالت معمول همهٔ ذرات کوانتومی به‌صورت موجی از احتمال‌اند و جسمیت نیافته‌اند و نقطهٔ مشخصی ندارند. اما مسئله این‌جا عجیب‌تر می‌شود که هرگاه کسی این ذرات را مشاهده کند فوراً این

www.takbook.com

ذرات از حالت موج گونه در می‌آیند و به شکل یک ذره در یک جای معین مجسم می‌شوند. علت شگفتی فیزیک‌دانان هم در همین‌جاست که مشاهده باعث تغییر رفتار یک ذره می‌شود. در آزمایش دو شکاف ردیاب‌ها کار مشاهده را انجام می‌دهند. در این آزمایش تا وقتی که ردیابی روشن نباشد تا فوتون‌ها را مشاهده کند، این ذرات مثل یک موج احتمال رفتار می‌کنند اما همین که ردیاب روشن شد و او را مورد مشاهده قرار داد به اصطلاح دانشمندان موج احتمالش فرو می‌ریزد و از حالت موج‌گونه خارج می‌شود و به شکل یک ذره در یک مسیر مشخص به راه خود ادامه می‌دهد و مجبور است از یکی از شکاف‌ها بگذرد و سپس مثل یک توپ بر صفحهٔ عکاسی برخورد کند و آشکار شود.

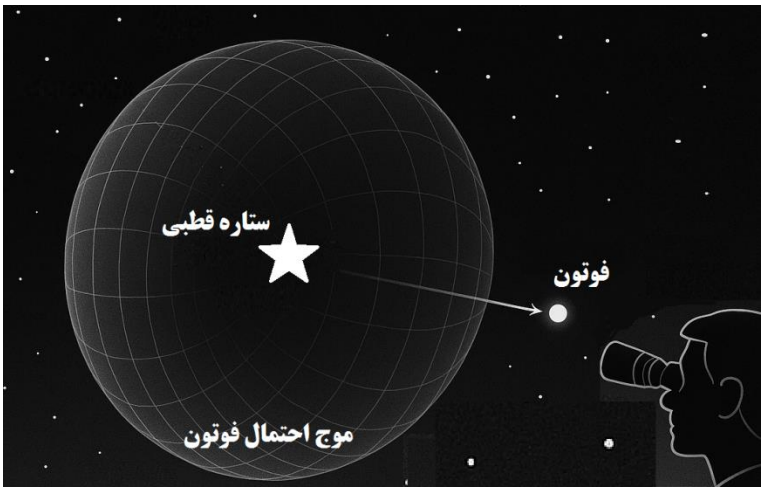
حال می‌خواهیم ماجرا را از نگاه یک فوتون تابیده شده از یک ستاره بررسی کنیم. ستارهٔ قطبی یکی از پرنورترین ستارگان آسمان شب است و در فاصله ۴۳۳ سال نوری از زمین قرار دارد. در نگاه کلاسیک فرض کنید ۴۳۳ سال قبل یک فوتون نور از این ستاره آزاد شده و مثل یک توپ با سرعت ۳۰۰ میلیون متر در ثانیه به طرف زمین آمده است تا این‌که یک شب وقتی به این ستاره در آسمان نگاه می‌کنید این فوتون از راه می‌رسد و با چشم شما برخورد کرده و شما نور آن را می‌بینید.

اما موضوع به این سادگی‌ها نیست. تفسیری که نیلزبور و هایزنبرگ از مکانیک کوانتوم دارند چیز دیگری می‌گوید. بر طبق این تفسیر آن‌چه ۴۳۳ سال پیش آن ستاره را ترک کرد یک ذرهٔ فوتون نبود بلکه یک موج

www.takbook.com

احتمال بود (وقتی می‌گوییم فوتون یک موج احتمال است؛ یعنی این فوتون مثل یک موج در همه جای فضا پخش است و تا قبل از این‌که کسی آن را مشاهده نکرده باشد هم‌زمان در همه جای این موج حضور دارد و فقط در صورت مشاهده شدن احتمال دارد در یکی از نقاط پدیدار شود) این موج با سرعت نور به بیرون حرکت کرد و تنها به سمت زمین نمی‌آمد بلکه به شکل یک کره هر لحظه بزرگ و بزرگ‌تر می‌شد و در فضا گسترش می‌یافت. جبههٔ موج این فوتون در حال انبساط بود و هنوز به زمین نرسیده بود اما اگر کسی از بیگانگان آن طرف‌ها دست به مشاهده می‌زد فوراً موج احتمال از بین می‌رفت و فوتون به شکل یک ذره در چشم آن بیگانه ظاهر می‌شد. سرانجام موج احتمال فوتون به زمین رسید و از اتمسفر گذشت و شما اولین کسی بودید که چشمتان با این موج درگیر شد و آن را مشاهده کردید بنابراین بلافاصله موج احتمال به قطر ۸۶۶ سال نوری این فوتون از میان رفت و به شکل یک ذره در چشمتان مجسم شد و شما تواستید آن ستاره را ببینید. اگر شما در لحظهٔ مناسب به آسمان نگاه نکرده بودید، شاید موج احتمال فوتون، چند ثانیهٔ دیگر، در آن سوی فضا توسط ناظر بیگانه‌ای در یک سیارهٔ دیگر از هم می‌پاشید و فوتون در چشم آن بیگانه عینیت می‌یافت و او آن ذره نور را می‌دید.

www.takbook.com



زمانی که یک ناظر به ستاره نگاه می‌کند، موج احتمال فوتون از بین رفته و به شکل یک ذره پدیدار می‌شود.

فیزیک‌دانان نیز مثل هر فرد دیگری از رفتار عجیب ذرات کوانتومی در شگفت‌اند و سؤالی که مثل ما ذهنشان را درگیر کرده این است که در عمل مشاهده چه اتفاقی می‌افتد که باعث می‌شود موج احتمال به ذره تبدیل شود؟ ما نمی‌دانیم که آیا در عمل مشاهده مغز و آگاهی ما باعث این کار می‌شود یا این‌که ذره خودش دوست دارد چنین تصمیمی بگیرد و هنگام مشاهده شدن شکلش را عوض کند؟ اصلاً آیا به جای یک انسان، یک میمون یا جندار دیگری عمل مشاهده را انجام دهد باز چنین اتفاقی خواهد افتاد؟ این موضوع در لبهٔ دانش ما قرار گرفته و کسی جوابی قطعی برایش ندارد.

www.takbook.com

تفسیر فون نویمان

یکی دیگر از تفسیرهای مهم و معروف برای توضیح دنیای کوانتوم مربوط به دو فیزیک‌دان مجارستانی _ آمریکایی به نام‌های جان فون نویمان و یوجین واگنر است. ایشان نیز مثل همه معتقد بودند که یک سیستم کوانتومی مثل یک الکترون در حالت بر هم نهی (سوپر پوزیشن) است. یعنی مثل یک موج احتمال به‌صورت هم‌زمان در تمام مکان‌ها و حالت‌ها قرار دارد و تا زمانی که کسی آن را مورد مشاهده قرار ندهد تجسم نمی‌یابد و خود را نشان نمی‌دهد. پس برای این‌که خود را نشان دهد باید موج مشاهده قرار گیرد. اما توسط چه کسی یا چه چیزی؟ طبق این تفسیر موج احتمال یک الکترون زمانی از بین می‌رود و زمانی الکترون در یک جا حاضر می‌شود که یک آگاهی مثل آگاهی یک انسان آن را مورد مشاهده قرار دهد نه یک دوربین. پس در آزمایش دو شکاف خود ردیاب کاره‌ای نیست بلکه آن فردی که با ردیاب الکترون را مشاهده می‌کند باعث می‌شود موج احتمال الکترون فرو بریزد و الکترون مثل یک ذره در یک نقطه ظاهر شود. در واقع موج احتمال یک ذره زمانی فرو می ریزد و بوجود می‌آید که اطلاعاتش وارد مغز یک مشاهده‌گر آگاه مثل یک انسان یا یک بیگانهٔ فضایی هوشمند شود. بنابراین می‌توان گفت بدون آگاهی هیچ واقعیت فیزیکی وجود ندارد. یعنی اگر انسان‌هایی مثل ما نباشند که ذرات را ببینند، ذرات وجود نخواهند داشت و چون جهان هستی از ذرات ساخته شده است پس اگر ما نباشیم که به جهان نگاه کنیم

www.takbook.com

پس موج احتمال جهان از بین نمی‌رود و جهان نیز تجسم نمی‌یابد و وجود نخواهد داشت.

در واقع تمام چیزهای دنیای ما از ستارگان گرفته تا درختان و حتی خود ما انسان‌ها مجموعه‌ای از امواج احتمال هستیم که اگر موجودی هوشمند نباشد ما را مشاهده کند ما و کل جهانمان وجود نخواهیم داشت.

دوست واگنر

فرض کنید در خیابانی کاملاً خلوت سگی وجود دارد. این سگ مثل فوتون در حالت بر هم نهی است. یعنی مثل یک روح یا یک موج احتمال است که فعلا تجسم نیافته است. حال فردی به نام واگنر که یک موجود هوشمند و آگاه است آن سگ را مورد مشاهده قرار می‌دهد و در نتیجه موج احتمال سگ فرو می‌ریزد و آن سگ در گوشهٔ خیابان ظاهر می شود. اما در این‌جا خود واگنر نیز مثل همان سگ در حالت بر نهی است و باید کسی مثل دوست واگنر نیز باید او را ببیند تا واگنر بوجود آید و همچنین دوست دوست واگنر تا الی آخر.

یکی از فیزیک‌دانان معروف به نام آندره لیندا در این باره می گوید: من به عنوان یک انسان فکر نمی کنم در نبود یک مشاهده‌گر، جهان این‌جا وجود داشته باشد. جهان و ما هر دو با هم هستیم. جهان نمی‌تواند بدون مشاهده‌گر آگاه وجود داشته باشد.... برای این‌که اتفاق افتادن چیزی را ببینید و به دیگران نیز بگویید که چنین چیزی اتفاق افتاده است، نخست به

www.takbook.com

یک جهان، سپس یک وسیلهٔ ضبط کننده (دوربین) و در نهایت به انسان‌ها نیاز دارید ... در نبود مشاهده‌گر آگاه جهان مرده است.

بر اساس فلسفه لینده در حقیقت تا زمانی که شما به فسیل دایناسورها نگاه نکرده‌اید آن‌ها وجود ندارند. ولی به محض این‌که به آن‌ها می‌نگرید به وجود می‌آیند به گونه‌ای که انگار از میلیون‌ها سال پیش وجود داشته‌اند. با این حال برخی فیزیک‌دانان اعتقادی به آگاهی ندارند و ادعا می‌کنند لازم نیست حتماً یک انسان هوشمند به چیزی نگاه کند تا آن چیز پدید آید در واقع یک دوربین نیز می‌تواند این کار را انجام دهد. مثلاً دوربین از یک درخت فیلمبرداری کند و باعث شود موج احتمال درخت فروریخته و درخت ظاهر شود. ولی مسئله این‌جاست که چه کسی می‌تواند بگوید دوربین وجود دارد؟ به عبارت دیگر تمام چیزهای جهان ما حتی خود دوربین در حالت بر هم نهی هستند و هنوز واقعیت نیافته‌اند. پس باید دوربین دومی باشد که دوربین اول را مشاهده کند تا دوربین اول به وجود آید و او نیز درخت را مورد مشاهده قرار دهد تا درخت نیز بوجود آید. اما این چیزی را حل نمی‌کند چون دوربین سومی نیز لازم است تا دوربین دوم را مشاهده کند و همین طور الی آخر تا بی‌نهایت.

www.takbook.com

برای این‌که موج احتمال درخت فروریزد باید دوربینی باشد تا درخت را مشاهده کند و همچنین دوربین دیگری باشد که دوربین اول را مشاهده کند و همین طور تا بی‌نهایت.

جهان‌های موازی

در سال ۱۹۵۷ فیزیک‌دانی به نام هیو اورت سوم هنگامی که در دانشگاه پرینستون تحصیل می‌کرد در پایان نامهٔ دکتری خود به معرفی جهان‌های موازی کوانتومی پرداخت. در ابتدا تفسیر جهان‌های موازی او با استقبال زیادی روبرو نشد اما با گذشت زمان این تفسیر در بین فیزیک‌دانان و حتی عموم مردم مورد توجه قرار گرفت و هنوز هم یکی از تفسیرهای معتبر و جذاب در فیزیک کوانتوم است.

دیدیم که یک ذرهٔ کوانتومی مثل الکترون تا زمانی که مشاهده نشود در حالت بر هم نهی قرار دارد و به‌طور هم‌زمان در تمام مکان‌ها و حالت‌های

www.takbook.com

ممکن حضور دارد. مثلاً گربه‌ای را به جای این الکترون در نظر بگیرید که در اتاقی ایزوله قرار دارد. این گربه تا زمانی که توسط انسانی یا دوربینی مشاهده نشود در حالت بر هم نهی است. یعنی این گربه به‌طور هم‌زمان در همه جای اتاق دراز کشیده و هم ایستاده است. همچنین این گربه به‌طور هم‌زمان در تمام حالت‌ها نیز هست. یعنی مثلاً این گربه هم‌زمان هم نر و هم ماده است. هم چاق است و هم لاغر. هم به رنگ سفید است هم به رنگ صورتی. این گربه هم‌زمان هم خردسال است و هم پیر شده است. حتی این گربه هم زنده است و هم مرده و هم در بستر بیماری و مرگ قرار دارد. حال یک فرد در اتاق را باز می‌کند و داخل می‌شود. در همین لحظه تابع موج گربه فرو می‌ریزد و در یک گوشهٔ اتاق به یک حالت مشخص در می‌آید. مثلاً فرد می‌بیند که این یک گربهٔ سفید ماده و میانسالی است که در گوشهٔ چپ اتاق دراز کشیده و دستش را لیس می‌زند.

چیزی که اورت می‌گفت این بود که چرا وقتی ذره‌ای را مورد مشاهده قرار می‌دهیم، این ذره مکان مشخص و حالت بخصوصی به خود می‌گیرد و بی‌خیال حالت‌های دیگر می‌شود؟ به عبارت دیگر وقتی فرد وارد اتاق شد چرا تابع موج گربه به شکلی می‌ریزد که او یک گربهٔ سفید باشد نه صورتی؟ چرا گربه به جای این‌که در گوشهٔ چپ اتاق دراز کشیده باشد؛ در گوشهٔ راست به‌صورت ایستاده ظاهر نشد؟ اصلاً چه چیزی یا چه کسی حالت نهایی گربه را تعیین می‌کند و به او می‌گوید که تابع موجش چگونه بریزد و در چه حالتی مجسم شود؟

www.takbook.com

اورت این فرضیه را مطرح کرد که شاید اصلاً موج احتمالی در کار نباشد و تابع موج گربه هیچ‌وقت نریخته باشد. به عبارت ساده‌تر شاید گربهٔ ما هم‌زمان هم مرده و هم زنده، هم جوان و هم پیر، هم سفید و هم صورتی باشد اما در جهان‌های مختلف. پیش‌تر گفتیم که گربهٔ فرضی ما تا قبل از باز شدن در اتاق حالت مشخصی ندارد بلکه در تمام حالات و مکان‌ها قرار گرفته است و این مشاهده است که باعث می‌شود موج احتمال او از بین برود و از بین هزاران حالت مختلف یکی را انتخاب کند. ولی اورت می‌گفت موج احتمال گربه هرگز از بین نمی‌رود. یعنی وقتی که ما او را مشاهده کردیم این‌طور نیست که از بین تمام رنگ‌ها به‌صورت شانسی رنگ سفید را انتخاب کند و بی‌خیال رنگ‌های دیگر شود. در واقع این گربه هم‌زمان هم می‌تواند سفید باشد و هم صورتی و هر رنگ دیگری اما هریک از این حالت‌ها در جهان مربوط به خود اتفاق می‌افتد. یعنی در جهان ما گربه رنگ سفید به خود می‌گیرد و در جهانی دیگر به رنگ صورتی ظاهر می‌شود و در یکی دیگر از جهان‌ها به رنگ بنفش در می‌آید. وقتی ما در اتاق را باز می‌کنیم می‌بینیم گربه در سمت چپ اتاق دراز کشیده و دست خود را لیس می‌زند. اما جهانی نیز وجود دارد که گربه در اتاق راه می‌رود و در جهانی دیگر خوابیده و در یکی دیگر از جهان‌ها گربه در وسط اتاق مرده است. به نظر اورت تمام این جهان‌ها مثل دنیای ما ممکن هستند و هرکدام به اندازهٔ دیگری واقعیت دارند. افرادی که در هرکدام از این دنیاها زندگی می‌کنند ممکن است مثل ما فکر کنند که جهان آن‌ها در

www.takbook.com

اصل واقعی است و جهان‌های دیگر خیالی و توهمی هستند درحالی که این‌گونه نیست.

بر طبق این تفسیر بی‌نهایت جهان دیگری مثل دنیای ما وجود دارند که بعضی از آن‌ها بسیار شبیه به دنیای ماست و برخی کاملاً با جهان ما متفاوت است. شمایی که اکنون نشسته‌اید و این کتاب را می‌خوانید جهانی نیز وجود دارد که دقیقاً فردی کپی شما در خانه‌ای مشابه خانه و خانوادهٔ شما وجود دارد و الان به جای خواندن کتاب در حال نوشیدن چای است و جهانی نیز وجود دارد که شما هرگز در آن به دنیا نیامده‌اید و همچنین جهانی وجود دارد که آلمان‌ها زودتر از آمریکایی‌ها به بمب اتم دست یافته‌اند و با بمباران اتمی نیویورک و مسکو فاتح جنگ جهانی دوم شده‌اند و اکنون حزب نازی بر آن دنیا مسلط است.

مشاهده و انشعاب جهان‌های موازی

طبق تفسیر اورت به جای این‌که موج احتمال ذره به یک حالت خاص فرو بریزد، فروپاشی تابع موج آن باعث می‌شود جهان به دو شاخه تقسیم شود و این فرآیند هر بار تکرار می‌شود و جهان‌ها به‌طور مداوم منشعب می‌شوند. فرض کنید همراه دوست صمیمیتان بیرون رفته‌اید و روی نیمکتی در یک پارک نشسته‌اید. دوست شما پاکت سیگاری را از جیبش در می‌آورد و به شما نیز تعارف می‌کند. حال شما بر سر یک دو راهی قرار گرفته‌اید و باید یکی از دو گزینه را انتخاب کنید یا سیگار را از او قبول کنید یا به او نه

www.takbook.com

بگویید. سیستم مغز شما از میلیاردها نورون و مولکول‌های انتقال دهندهٔ عصبی ساخته شده‌اند که این‌ها نیز به نوبهٔ خود از اتم‌ها و ذرات دیگر ساخته شده‌اند. فرض کنید الکترونی در یکی از سلول‌های مغز شما وجود دارد و اسپین (جهت چرخش) آن مسئول تصمیم‌گیری شما دربارهٔ سیگار است. یعنی اگر در جهت ساعتگرد بچرخد شما تصمیم می‌گیرید سیگار را قبول کنید و اگر در جهت پادساعتگرد بچرخد شما به دوستتان نه می‌گویید و قضیه فیصله پیدا می‌کند. تا قبل از تصمیم‌گیری شما، اسپین (چرخش) این الکترون در حالت بر هم نهی قرار دارد. یعنی هم‌زمان هم در جهت ساعتگرد می‌چرخد و هم در خلاف جهت ساعتگرد. تصور کنید دوستتان پاکت سیگار را به طرف شما می‌گیرد و می‌گوید: بفرما

اسپین الکترون تا قبل از این لحظه در هر دو حالت بر هم نهی قرار داشت ولی در همین لحظه تابع موجش فرو می‌ریزد و تصادفا در جهت خلاف ساعتگرد می‌چرخد بنابراین شما به دوستتان نه می‌گویید و سیگار را نمی‌کشید. از دیدگاه اورت در این‌جا جهان به دو شاخه منشعب می‌شود. یکی از شاخه‌ها همین جهان ماست که شما سیگار را نکشیدید و شاخهٔ دوم یک جهان واقعی دیگری است که درست مثل جهان ماست تنها با این تفاوت که وقتی دوستتان سیگار را به شما تعارف کرد اسپین الکترون در مغز شما در جهت ساعتگرد می‌چرخد و در نتیجه شما در آن جهان سیگار را می‌گیرید می‌کشید و متاسفانه این رفتار شما باعث می‌شود که سیگاری شوید و دو سال بعد از این اتفاق به مواد مخدر و مشروبات الکلی روی آورید.

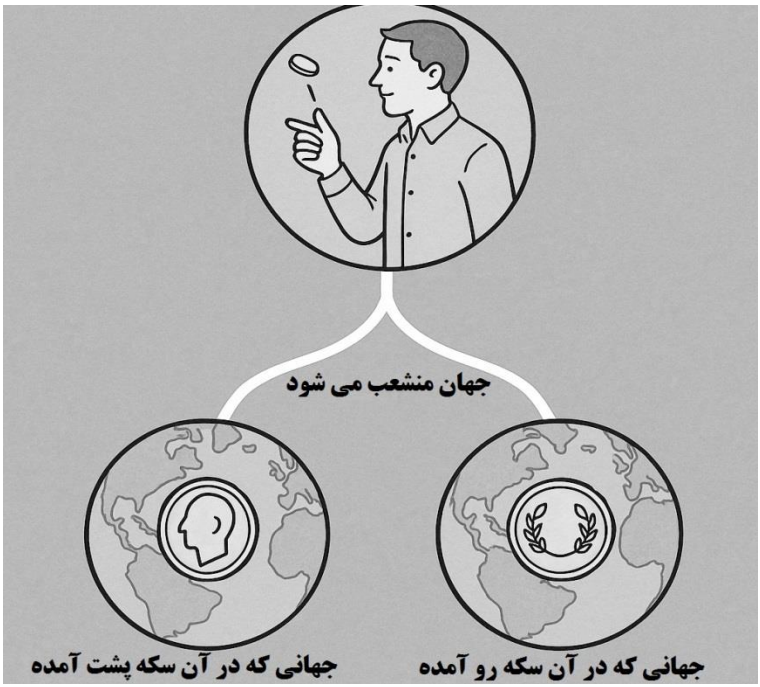
www.takbook.com

طبق این تفسیر هم اکنون بی‌نهایت جهان‌های محتمل و ممکنی وجود دارند که در همین لحظه با ما در حال همزیستی هستند. جهان‌های بسیاری هستند که در آن کرهٔ زمین و نوع بشر پدید نیامده‌اند و جهان‌هایی که تعداد زیادی کپی‌های کمی متفاوت از ما در آن‌ها زندگی می‌کنند و در هر لحظه کپی‌های تکثیر یافتهٔ بیش‌تری از ما منشعب می‌شوند و تعداد زیادی آینده‌های متفاوت از ما ایجاد می‌کنند. طبق این تفسیر تمام احتمالات ممکن در جهان‌های مختلف رخ می‌دهند. مطمئنا جهانی وجود دارد که در آن اینیشتین به جای این‌که یک فیزیک‌دان باشد یک قاتل محکوم به حبس ابد بود که تمام عمرش را پشت میله‌های زندان سر کرد. جهانی وجود دارد که نویسندهٔ این کتاب اکنون رئیس جمهور آمریکاست و دومین دورهٔ ریاست جمهوری‌اش را آغاز کرده و جهانی وجود دارد که در آن لیلی به سرطان پوست دچار شده و زگیل بزرگ و زشتی روی صورتش دارد بنابراین توجه هیچ پسری حتی مجنون را به خود جلب نکرد و مجنون عاشق دختری دیگر شد و سپس با او ازدواج کرده و تا آخر عمر با وی زندگی نمود.

لطیفه‌ای در این باره می‌گوید:

"یک فیزیک‌دان شادمانه تمام ثروتش را در قمار باخت. وقتی از او پرسیدند چرا این کار را کردی؟ گفت: می‌دانم اکنون تمام ثروتم را باختم، اما در عوض در بی‌نهایت جهان موازی دیگر، من برنده شده‌ام!

www.takbook.com



در تفسیر اورت، وقتی شما سکه‌ای را پرتاب می‌کنید جهان به دو شاخه منشعب می‌شود.

تابع موج (ابر احتمال)

برداشت عمومی ما از الکترون براساس تصاویری که بارها در کتاب‌ها یا جاهای دیگر دیده‌ایم به عنوان ذره‌ای است که در مداری حول هستهٔ اتم می‌چرخد. شاید فکر کنید که حرکت الکترون دقیقاً مثل سیاره‌ای در منظومهٔ شمسی است که در مداری دایره‌ای یا بیضوی بر گرد خورشید می‌چرخد. این تصور از فیزیک کلاسیک برای ما به یادگار مانده است. الکترون در این مفهوم کلاسیکی مثل یک ذره یا تکه سنگ یا سیاره‌ای

www.takbook.com

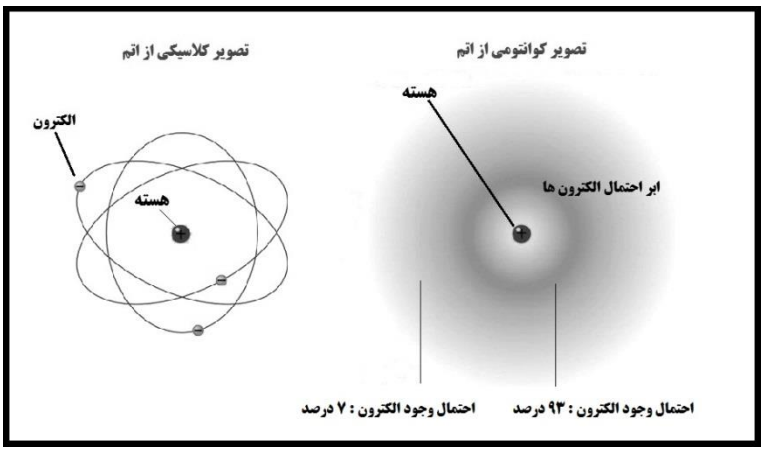
است که سرعت و موقعیت و جهت مشخصی دارد. اما چنان‌که گفته شد ذرات از اصل بر هم نهی تبعیت می‌کنند. بر مبنای اصل بر هم نهی هرگز نمی‌توان با اطمینان مسیر دقیق الکترون در حال چرخش به دور هسته را دانست. این الکترون احتمال دارد در فاصلهٔ خیلی نزدیکی به دور هسته بگردد و همچنین احتمال دارد در مداری دایره‌ای شکل که فاصلهٔ آن از هسته برابر با کل جهان ماست به دور هسته دوران کند و تنها با مشاهده کردن است که می‌توانیم به‌صورت صد در صد به آن پی ببریم.

فیزیک‌دانان مدت‌ها با این مشکل روبرو بودند تا این‌که فردی به نام اروین شرودینگر توانست راه حلی بیابد. او گفت اگرچه ما هیچ‌وقت نمی‌توانیم بدون مشاهده و اندازه‌گیری یک ذره، مکان و سرعت دقیق آن را بدست آوریم اما قادریم تابع موج این ذره را محاسبه کنیم. منظور شرودینگر از تابع موج یک ذره، احتمال وجود آن ذره در مناطق مختلف با سرعت‌های مختلف است. بنابراین ما با این‌که بدون مشاهده نمی‌توانیم جای دقیق الکترون دور هسته را پیدا کنیم، اما حداقل می‌توانیم تابع موج آن را محاسبه کرده و مکان احتمالی الکترون را به درصد بیان کنیم. برای مثال ما با کمک معادلات شرودینگر می‌توانیم بگوییم که فلان الکترون به احتمال ۷۴ درصد در فلان جای اتم و به احتمال ۲۵ درصد در فلان منطقهٔ اتم و به احتمال یک میلیاردم یک درصد در فاصلهٔ هزار سال نوری از هسته به دور آن می‌گردد.

از آن پس فیزیک‌دانان به جای این‌که الکترون را به‌صورت ذره‌ای در حال حرکت حول هسته نشان دهند آن را به‌صورت ابر احتمال الکترونی

www.takbook.com

دور هسته نشان می‌دهند. این ابر احتمال، همان تابع موج نامیده می‌شود و این معنی را می‌دهد که یک الکترون تا زمانی که مورد مشاهده و اندازه‌گیری واقع نشود حالت موج‌گونه داشته و مکان و سرعت و اسپین (جهت چرخش) مشخصی ندارد. یک الکترون تا زمانی که مورد سنجش واقع نشود در همهٔ مکان‌ها و سرعت‌ها و جهت‌های ممکن (با درصدهای احتمالی مختلف) وجود دارد. اما همین که مورد مشاهده و سنجش قرار گیرد آن‌گاه ابر احتمال او از بین می‌رود و الکترون به‌صورت یک ذره در یک مکان خاص با یک سرعت مشخص و در یک جهت معین دور هستهٔ اتم نمود پیدا می‌کند.



ابر احتمال الکترون در همه جای جهان گسترده شده است به عبارت دیگر احتمال وجود الکترون درهمه جای جهان وجود دارد اما غلظت این ابر در همه جا یکسان نیست. برای مثال احتمال یافته شدن الکترون در مکان‌های دور از هسته بسیار ناچیز است هرچند قابل محاسبه می‌باشد. درحالی‌که هر چقدر به هسته نزدیک شویم شانس بیش‌تری برای ظهور الکترون وجود دارد. اما هیچ وقت این شانس به ۱۰۰ درصد نمی‌رسد.

www.takbook.com

اگر تابع موج الکترون در جایی مقدار بزرگی داشته باشد (مثلاً ۹۰ درصد باشد) شانس زیادی وجود دارد که الکترون در آن نقطه حضور داشته باشد. اما اگر مقدار تابع موج آن کم باشد (مثلاً ۱۰ درصد) یعنی شانس کمی وجود دارد که الکترون در آن‌جا حضور داشته باشد. برای مثال در اتم هیدروژن، تابع موج الکترون در نزدیک هسته بسیار بیش‌تر از تابع موج آن یک متر دورتر از هسته است. این یعنی احتمال این‌که الکترون در نزدیک هسته یافت شود بسیار بیش‌تر از احتمال یافته شدن الکترون یک متر دورتر از هسته می‌باشد.

در هم تنیدگی کوانتومی

با این‌که همه چیز مکانیک کوانتوم عجیب است اما در این میان در هم تنیدگی کوانتومی از همه عجیب‌تر بوده و به عنوان غیرقابل باورترین پیش‌بینی مکانیک کوانتوم به شمار می‌آید. درهم تنیدگی به این معناست که وقتی دو ذره خیلی به هم نزدیک شوند و با یکدیگر اندرکنش داشته باشند آن‌گاه ویژگی‌هایشان به هم وابسته می‌شود و اتصالی عمیق میانشان برقرار می‌گردد در این حالت می‌گویند این دو ذره در هم تنیده شده‌اند.

فرض کنید ما یک جفت الکترون در هم تنیده داریم. قبل از هر چیز یادتان باشد که بر اساس اصل بر هم نهی، یک الکترون یا هر ذرهٔ دیگری تا زمانی که مشاهده نشود تمام حالات ممکن را هم‌زمان خواهد داشت. این به این معنی است که یک الکترون هم‌زمان هر دو اسپین ساعتگرد $(-\frac{۱}{۲})$ و

www.takbook.com

اسپین پادساعتگرد ($+\frac{1}{2}$) را دارد. به عبارت دیگر این الکترون هم‌زمان در هر دو جهت می‌چرخد. بنابراین از آن‌جایی که ما دو الکترون داریم پس هر دوی این‌ها به شرط این‌که مشاهده نشوند؛ هم‌زمان هم در جهت راست می‌چرخند و هم در جهت چپ.

اکنون این دو ذرهٔ در هم تنیده را از هم جدا می‌کنیم. یکی از آن‌ها را در خانه می‌گذاریم و دیگری را به آن سر دیگر جهان هستی می‌بریم. طبق قانون عجیب در هم تنیدگی که تاکنون چندین بار امتحان شده است اگر اسپین یکی از الکترون‌های در هم تنیده را مشاهده کنیم بلافاصله اسپین الکترون دیگر در هر فاصله‌ای که باشد تعیین می‌گردد.

پس ما ذره‌ای که در خانه گذاشته‌ایم را مورد مشاهده قرار می‌دهیم؛ و متوجه می‌شویم که اسپین او $-\frac{۱}{۲}$ (ساعتگرد) است. حال طبق قانون بر هم نهی با مشاهده و مشخص شدن اسپین این ذره (ساعتگرد) بلافاصله اسپین ذرهٔ دومی که در آن سر دنیاست معین می‌گردد (پادساعتگرد یا $+\frac{۱}{۲}$) و دیگر لازم نیست کسی آن را مورد مشاهده قرار دهد.

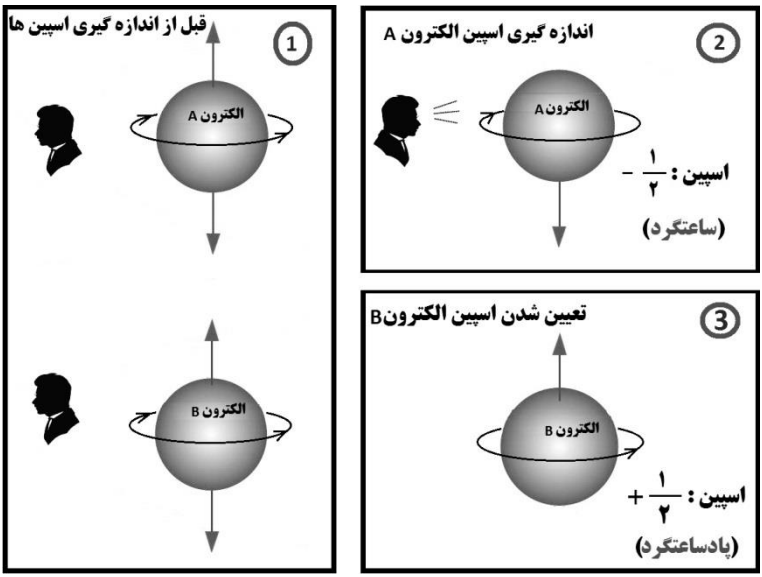
البرت اینیشتین این‌بار هم شدیدا با پدیدهٔ در هم تنیدگی مخالف بود و هر بار سعی می‌کرد به نوعی نادرستی آن را ثابت کند. زیرا طبق نسبیت خاص او هیچ چیزی نمی‌توانست سریع‌تر از نور حرکت کند پس ممکن نبود دو ذرهٔ در هم تنیده که هزاران سال نوری از هم فاصله داشتند بتوانند از وضعیت هم با خبر شوند و به نوعی با سرعت بسیار بیش‌تر از سرعت نور در

www.takbook.com

ان واحد با هم ارتباط برقرار نمایند. در نهایت او نیز پذیرفت که این پدیده بدون این‌که خللی در نظریه نسبیت خاص او وارد کند درست می‌باشد. هرچند تا آخر عمر به دیدهٔ شک و تردید به پدیدهٔ بر هم نهی نگاه می‌کرد و به همین خاطر نام آن را "تاثیر ارتباط شبح وار" گذاشته بود.

سرانجام یک فیزیک‌دان به نام جان کلوسر برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ دستگاهی اختراع کرد که هزاران جفت ذرهٔ در هم تنیده ایجاد می‌کرد و ویژگی‌هایشان را مورد مشاهده قرار می‌داد و از این طریق موفق شد این موضوع را به‌صورت تجربی در آزمایشگاه اثبات نماید و جای اعتراضی باقی نگذارد. جان کلوسر قبل از اختراع این دستگاه بشدت از نظریه کوانتوم بیزار بود ولی وقتی با دستگاهش درستی پدیده درهم‌تنیدگی را اثبات نمود بسیار شگفت‌زده شد. به تدریج دانشمندان دیگری از سرتاسر جهان دقت دستگاه کلوسر را بهبود بخشیدند و درستی در هم تنیدگی را بیش از پیش اثبات کردند. امروزه در هم تنیدگی کوانتومی به‌طور تجربی بر روی فوتون‌ها،نوترینوها، الکترون‌ها، مولکول‌هایی به بزرگی باکی‌بال‌ها و حتی الماس‌های کوچک نیز انجام شده و در بسیاری از آزمایشگاه‌های دنیا حتی در ایران نیز درستی آن توسط فیزیک‌دانان کشورمان تأیید گردیده است.

www.takbook.com



وقتی به الکترون A نگاه می‌کنید و اسپین آن را $-\frac{۱}{۲}$ اندازه می‌گیرید بلافاصله اسپین الکترون B $+\frac{۱}{۲}$) در فاصلهٔ هزاران سال نوری آن طرف‌تر تعیین می‌شود.

www.takbook.com

www.takbook.com

فصل سوم
باغ‌وحش ذرات

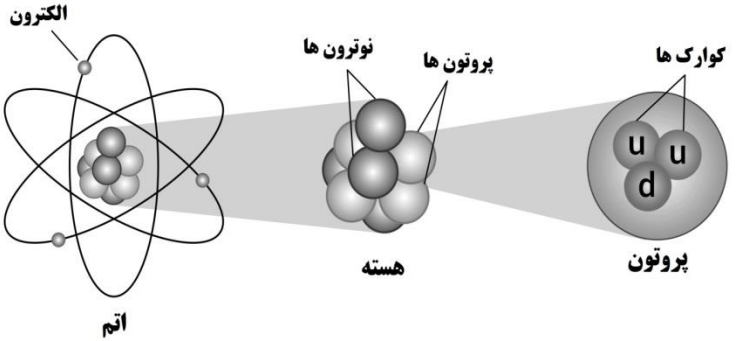
www.takbook.com

www.takbook.com

اتم و تاریخچه کلی

روزگاری در ۴۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، فیلسوفی یونانی به نام دموکریتوس بر این عقیده بود که همه چیز از سنگ‌ها گرفته تا بدن موجودات زنده از ذرات ریزی به نام اتم ساخته شده‌اند. از نظر او اتم‌ها ذراتی بنیادی بودند یعنی از نگاه وی اتم‌ها از ذرات کوچک‌تری ساخته نشده بودند و دیگر نمی‌توانستیم آن‌ها را بشکنیم و به اجزای ریزتری تبدیل کنیم. او در آن زمان بدلیل نبود علم وتکنولوژی لازم هیچ‌گاه نتوانست وجود اتم‌ها را اثبات کند از طرفی نظریه وی از سطح درک و فهم انسان‌های آن روزگار بسیار فراتر بود به همین علت هیچ‌کس آن را جدی نگرفت و نظریه‌اش تا ۲۰۰۰ سال به فراموشی سپرده شد. پس از گذشت ۲۲ قرن دانشمندی انگلیسی به نام جان دالتون بر اساس شواهد و تجربیات علمی‌اش پی برد همان‌طور که دموکریتوس گفته بود همهٔ چیزهای جهان هستی از ذرات ریز و تجزیه ناپذیری به نام اتم ساخته شده‌اند. دالتون معتقد بود اتم‌ها تجزیه ناپذیرند و از اجزای ریزتری ساخته نشده‌اند اما بعد از او دانشمندان دیگری هم‌چون تامسون و رادرفورد و چادویک با آزمایشات خود نشان دادند که اتم‌ها وجود دارند ولی بر خلاف نظر دالتون بنیادی نیستند. یعنی اتم‌ها خود ساختاری درونی دارند و از اجزای ریزتری به نام الکترون و پروتون و نوترون ساخته شده‌اند. اما داستان به این‌جا ختم نمی‌شود. زیرا در دهه‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ فیزیک‌دانان اعلام کردند که پروتون‌ها و نوترون‌ها نیز از ذرات به مراتب کوچک‌تری به نام کوارک تشکیل یافته‌اند.

www.takbook.com



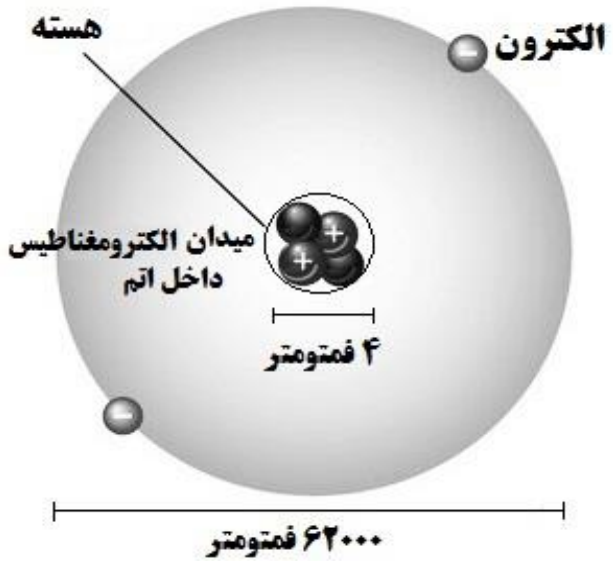
صلابت مواد

دالتون کسی بود که برای اولین بار با روش علمی و تجربی وجود اتم‌ها را اثبات کرد. وی معتقد بود که اتم‌ها مثل توپ‌های بیلیارد ذراتی بنیادی و غیرقابل تقسیم‌اند و ساختار درونی ندارند. اما اکنون می‌دانیم که هر اتم هزار توی پیچیده‌ای از ساختاره‌های درونی است. در مرکز آن هستهٔ فشرده‌ای وجود دارد که تقریباً همهٔ جرم اتم را به خود اختصاص داده و در ناحیهٔ بیرونی اتم در اطراف هسته ذره‌های ریز و بسیار سبکی به نام الکترون‌ها قرار داشته و در مدارهایی فرضی دور هسته در حال چرخش اند. هسته دارای بار مثبت و الکترون‌ها بار منفی دارند. بارهای ناهمنام همیشه یکدیگر را جذب می‌کنند. به همین خاطر هسته با بار مثبت خود، الکترون‌های منفی را به خود جذب کرده و باعث می‌شود الکترون‌ها در فاصلهٔ معینی گرد آن گردش کنند و از اتم فرار نکنند. بین هسته و الکترون‌هایی که دور آن می‌گردند فضای خالی بسیار بزرگی وجود دارد.

www.takbook.com

در این فضای خالی نیروی الکترومغناطیسی بسیار قوی وجود دارد که باعث می‌شود چیزی وارد فضای داخل اتم نشود. یعنی اگر ذره‌ای بکوشد وارد فضای اتم شود مثل یک دیوار نامرئی فورا جلوی آن را می‌گیرد. هستهٔ اتم صد هزار بار کوچک‌تر از کل اتم است. ۹۹.۹۹ درصد حجم اتم را فضای خالی تشکیل داده است چنان‌که اگر هستهٔ اتم را به اندازهٔ یک توپ فوتبال تصور کنیم آن‌وقت الکترون‌ها در فاصلهٔ ۱۲ کیلومتری دور هسته می‌چرخند. به عبارتی اگر هسته را به عنوان یک توپ فوتبال در نظر بگیریم آن‌وقت خود اتم به اندازهٔ یک شهر بزرگ مثل تبریز خواهد بود. اگر بدن یک انسان را فشرده کنیم و فضای خالی اتم‌های آن را از بین ببریم آن‌گاه اندازهٔ یک انسان بسیار کوچک‌تر از یک دانه برنج می‌شود. همچنین اگر همین کار را با کرهٔ زمین انجام دهیم و فضای خالی اتم‌های آن را از بین ببریم این سیاره به کره‌ای با قطر ۱۰۰ متر (به اندازهٔ یک استادیوم فوتبال) تبدیل می‌شود اما جرم آن برابر جرم قبلی خواهد بود. اتم‌ها با این‌که بیش‌تر از فضای خالی تشکیل شده‌اند اما همین فضای خالی باعث استحکام و صلابت ماده می‌شود. وقتی دو جسم جامد را به یکدیگر فشار می‌دهیم اتم‌های دو جسم در هم فرو نمی‌روند بلکه الکترون‌های مدار خارجی آن‌ها یکدیگر را دفع می‌کنند و اجازه نمی‌دهند اتم‌ها به هم نفوذ کنند و هسته‌ها به هم برخورد کنند. در واقع وقتی شما روی پاهای خود می‌ایستید، کف پاهای شما به اندازهٔ یک اتم بالای اتم‌های زمین به‌صورت معلق قرار می‌گیرند.

www.takbook.com



اتم هلیوم ۱۶ هزار بار بزرگ‌تر از هستهٔ خود است. این فضای خالی را میدان الکترومغناطیس قدرتمندی فرا گرفته است.

باغ‌وحش ذرات

اگر بتوانیم جهان را تا کوچک‌ترین مقیاس ممکن زیر ذره‌بین ببریم به دنیایی عجیب و پنهان خواهیم رسید؛ جایی که همه چیز از ذرات بسیار ریز و اسرارآمیز ساخته شده است. این جهان پنهان همان جایی است که مدل استاندارد فیزیک، ساکنانش را یکی یکی به ما معرفی می‌کند. درست مثل یک باغ وحش پر از ذرات گوناگون که هرکدام نقش مهمی در نمایش‌نامهٔ کیهان دارند.

www.takbook.com

دانشمندان از سال ۱۹۳۰ از وقتی که فهمیدند اتم از ذرات کوچک‌تری ساخته شده است، کار کاوش در جهان زیراتمی را شروع کردند و با استفاده از شتاب‌دهنده‌های ذرات آغاز به مطالعه ساختار درونی ماده کردند. این دستگاه‌ها با شتاب دادن به ذرات و کوبیدن آن‌ها به یکدیگر منجر به کشف ذرات بنیادی جدیدی شدند که تا آن زمان ناشناخته بودند. در طول چند دهه و با پیشرفت فناوری فیزیک‌دانان شتاب‌دهنده‌های قدرتمند و پیشرفته‌تری ساختند و ذرات را این‌بار با سرعت و قدرت بیش‌تری به هم برخورد دادند و هرچه پیش رفتند ذرات بیش‌تر با ویژگی‌های متفاوتی را کشف نمودند. ایشان متوجه شدند که بیش‌تر ذراتی که کشف نموده‌اند الگوها و ویژگی‌های مشترکی دارند به همین دلیل سعی کردند آن‌ها را در جدولی دسته‌بندی و سازماندهی کنند. حاصل این تلاش‌ها ساخت یک چارچوب نظری به نام مدل استاندارد بود که توضیح می‌داد دنیا از چه ذراتی ساخته شده و این ذرات چطور باهم تعامل دارند.

در مدل استاندارد؛ ذرات بنیادی به دو دستهٔ کلی فرمیون‌ها و بوزون‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند. فرمیون‌ها سازندگان ماده‌اند ولی بوزون‌ها عامل نیرو هستند.

فرمیون‌ها

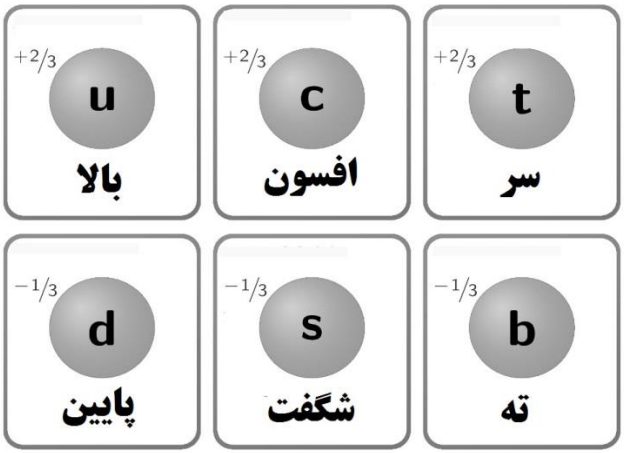
فرمیون‌ها آجرهای سازندهٔ ماده‌اند و به دو دستهٔ کوارک‌ها و لپتون‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند.

www.takbook.com

کوارک‌ها

کوارک‌ها شش نوع هستند و به نام‌های کوارک بالا، کوارک پایین، کوارک افسون، کوارک شگفت، کوارک سر و کوارک ته شناخته می‌شوند. در این بین دو کوارک بالا و کوارک پایین نسبت به هم خانواده‌های خود ذرات سبک و پایداری هستند و طول عمرشان تقریباً نامتناهی است. در واقع تمام پروتون‌ها و نوترون‌های جهان از ترکیب این دو ذره ساخته شده‌اند و آن‌ها نیز به نوبه خود به هم چسبیده و هستهٔ اتم‌ها را بوجود آورده‌اند. اما کوارک‌های دیگر سنگین و ناپایدارند و به همین دلیل طول عمر بسیار کوتاهی دارند. برای مثال کوارک شگفت ۲۰ برابر سنگین‌تر از کوارک پایین است. همچنین کوارک ته از همهٔ آن‌ها سنگین‌تر بوده و ۸۹۰ برابر کوارک پایین جرم دارد. این چهار کوارک به قدری ناپایدارند که در عرض کم‌تر از یک میلیاردم ثانیه بعد از بوجود آمدن واپاشی می‌کنند و فورا به ذرات پایدارتری مثل کوارک‌های بالا و پایین تبدیل می‌شوند. دانشمندان معتقدند که این چهار کوارک تنها در اوایل مهبانگ به وجود آمده و خیلی سریع از بین رفته‌اند و دیگر اثری از آن‌ها نیست. در جهان کنونی این ذرات در موارد نادری در اثر برخورد برخی پرتوهای کیهانی پرانرژی در فضا ایجاد می‌شوند و از آن‌جایی‌که بسیار ناپایدارند بلافاصله در مدت بسیار کوتاهی از بین می‌روند. چنان‌که امروزه هیچ نشانه‌ای از آن‌ها در محیط اطراف خود نمی‌بینیم و در ساختار هیچ ماده‌ای نیز شرکت ندارند.

www.takbook.com



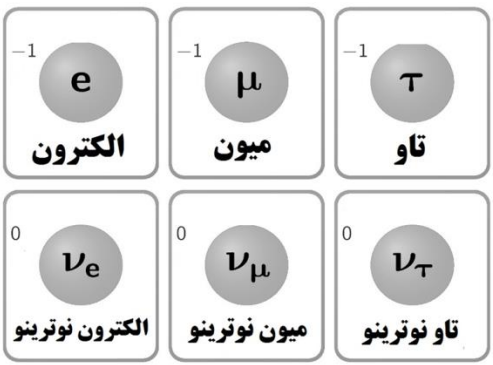
انواع کوارک‌ها و بار الکتریکی آن‌ها

لپتون‌ها

لپتون‌ها نیز شش نوع هستند و به دو دستهٔ بدون بار (خنثی) و باردار تقسیم می‌شوند. لپتون‌های بدون بار شامل سه ذرهٔ نوترینوی الکترون، نوترینوی میون و نوترینوی تاو هستند که از لحاظ بار الکتریکی خنثی بوده و جرم بسیار کمی در حد صفر دارند و به اختصار نوترینو نامیده می‌شوند. این ذرات در اثر واکنش‌های هسته‌ای داخل ستارگان به تعداد بسیار زیاد تولید می‌شوند و سپس با سرعت نور در فضا پراکنده و حرکت می‌کنند. نوترینوها با این‌که پایدار و عمر طولانی دارند اما به خاطر جرم صفر و خنثی بودنشان مثل روح در همه جا گشت می‌زنند و از بین مواد عبور می‌کنند ولی در ساختار هیچ اتم و ماده‌ای شرکت ندارند.

www.takbook.com

در خانوادهٔ لپتون علاوه بر نوترینوها سه نوع ذرهٔ دیگر به نام‌های الکترون، میون و تاو وجود دارند که هر سه دارای بار الکتریکی منفی بوده و جرم دارند. این سه ذره از نظر ویژگی‌های بنیادی شبیه سه خواهرند اما از بینشان فقط الکترون در ساختمان مواد شرکت دارد. در واقع الکترون ذرهٔ سبک و پایداری است که می‌تواند تریلیون‌ها سال عمر کند اما میون و تاو ذرات سنگین و ناپایداری هستند که طول عمر بسیار کوتاهی دارند و فورا واپاشی می‌کنند. برای مثال میون ۲۰۰ برابر سنگین‌تر از الکترون است و تنها می‌تواند ۲.۲ میکرو ثانیه دوام آورد. از طرفی ذره تاو ۳۵۰۰ برابر الکترون جرم دارد و تنها ۰/۳ پیکو ثانیه عمر می‌کند و سپس باید به ذرات سبک‌تر واپاشی کند. در حالی که الکترون به قدری سبک است که دیگر هیچ ذره سبک‌تری وجود ندارد که به آن واپاشی کند و بنابراین هیچ مسیر واپاشی برایش وجود ندارد.

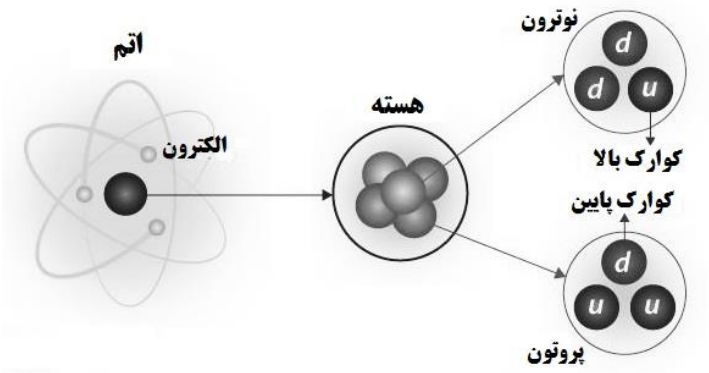


لپتون‌ها و بار الکتریکی آن‌ها

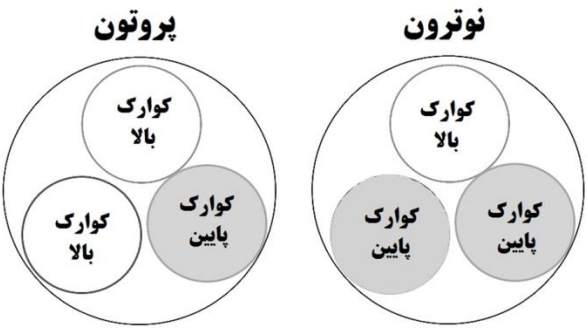
www.takbook.com

دانشمندان در طی آزمایشات مختلف بارها تلاش کرده‌اند که واپاشی احتمالی الکترون را کشف کنند اما تا به امروز هیچ نشانه‌ای از ناپایداری الکترون دیده نشده است. جدیدترین داده‌ها نشان می‌دهند که اگر هم الکترون واپاشی کند، طول عمرش باید بیش‌تر از 10^{43} سال باشد. این موضوع باعث شده است که الکترون‌ها از همان آغاز بیگ‌بنگ در ساختمان اتم شریک شوند و مثل سربازانی دور اتم‌های خود حصار بکشند و با ایجاد نیروی الکترومغناطیسی به هیچ ذره‌ای اجازهٔ ورود به داخل اتم و نزدیک شدن به هسته را ندهند. فیزیک‌دانان معتقدند که در اولین ثانیه‌های مهبانگ همهٔ لپتون‌ها و کوارک‌ها وجود داشتند. اما چند ثانیه بعد و با سرد شدن محیط ذرات سنگین و ناپایدار هم‌چون میون و تاو به همراه کوارک‌های سنگین (افسون، شگفت، سر و ته) از بین رفتند و به ذرات پایدار و سبکی مثل نوترینوها، الکترون‌ها و کوارک‌های بالا و کوارک‌های پایین تبدیل شدند. نوترینوها برای خود ول چرخیدند اما الکترون‌ها به همراه کوارک‌های بالا و پایین با هم ترکیب شده و اتم‌ها را ساختند. در واقع طبیعت از بین ۶ کوارک و ۶ لپتون تنها از سه تا از این ذرات برای ساخت مادهٔ معمولی اطرافمان استفاده کرده و بقیه را کنار گذاشته است. این سه ذره کوارک بالا، کوارک پایین و الکترون هستند.

www.takbook.com



اگر به درون یک اتم سفر کنیم خواهیم دید که پروتون‌ها و نوترون‌ها به هم چسبیده‌اند و هسته را تشکیل داده‌اند و الکترون‌ها نیز در حال گردش به دور هسته هستند. حال اگر با یک ذره‌بین به یکی از پروتون‌ها نگاه کنیم می‌بینیم که خود این پروتون از سه کوارک ساخته شده است. در واقع دو کوارک بالا و یک کوارک پایین توسط نیروی هسته‌ای قوی به هم چسبیده‌اند و پروتون را ساخته‌اند. نوترون نیز از سه کوارک ساخته شده است. این بار دو کوارک پایین و یک کوارک بالا به هم متصل شده‌اند و نوترون را ساخته‌اند.



www.takbook.com

نوترینوها و ردگیری آن‌ها

یکی از مشکلات اساسی دانشمندان فیزیک ذرات مربوط به ذرات شبح مانندی به نام نوترینوهاست که به خاطر برهمکنش بسیار ضعیفی که با ماده دارند، آشکار سازیشان (در سرن و هر جای دیگر) بسیار سخت است. پیشتر دیدید که نوترینوها جزو لپتون‌ها هستند و در سه نوع نوترینوی الکترون، نوترینوی میون و نوترینو ی تاوو وجود دارند و فاقد بارند. این ذرات اگرچه در ساختمان ماده شرکت ندارند اما در اثر واکنش‌های هسته‌ای ستارگان به مقدار بسیار زیادی تولید می‌شوند و در جای جای فضای بیکران هستی با سرعت نور انتشار می‌یابند. می‌توان گفت نوترینوها معمول‌ترین و فراوان‌ترین ذرات موجود در جهان هستند و تعدادشان حتی از تعداد کل فوتون‌های (ذره‌های بنیادی نور) عالم نیز بیش‌تر است. نوترینو علاوه بر این‌که بار الکتریکی ندارد، تقریباً بدون جرم هم هست (کم‌تر از یک ده هزارم جرم یک الکترون) و به تقریب از درون هر چیزی می‌گذرد و به نیروهای الکترومغناطیسی که در مادهٔ انباشته در کارند بی‌توجه است. نوترینوها نخستین بازماندهٔ سنگواره‌ای مهبانگ و پیام‌آور نخستین فرآیندهای عالم‌اند. این ذرات سرعت انبساط عالم و شاید هم چگالی نهایی آن را معین می‌کنند و به همین خاطرگیر انداختن آن‌ها برای دانشمندان بسیار مهم و حیاتی است. فراوانی این ذرات به قدری زیاد است که تنها در خورشید خودمان هر ثانیه ۱۰×۱۰^{۳۸} نوترینو تولید و در فضا پراکنده می‌شوند و بسیاری از آن‌ها به زمین می‌رسند. این در حالی است که

www.takbook.com

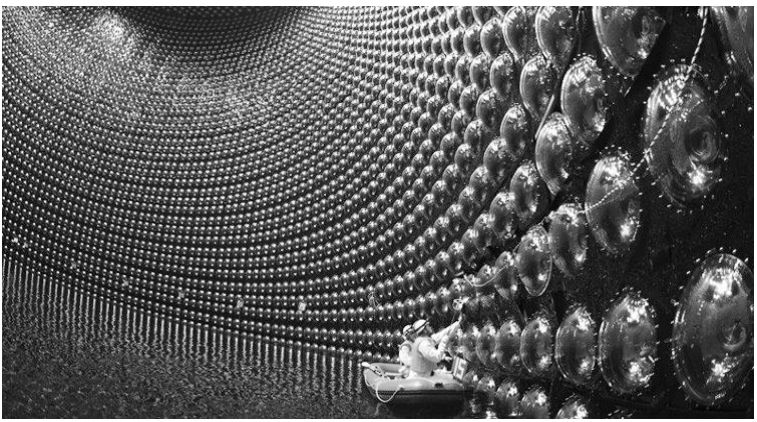
پرتوزایی طبیعی عناصر رادیواکتیو در زمین مانند اورانیوم نیز نوترینو آزاد می‌کند. حدود ۵۰ بیلیون از این نوترینوها در هر ثانیه از ما عبور می‌کنند اما تعدادی که از خورشید در هر ثانیه به ما می‌رسد هشت برابر مقداری است که از همین‌جا از زیر پایمان به ما می‌رسد. به عبارت دیگر در هر ثانیه ۴۰۰ بیلیون نوترینوی آمده از خورشید بی‌آن‌که بدانیم از بدن هرکدام از ما می‌گذرند. جالب است بدانید که خود ما هم پرتو زا هستیم چنان‌که در هر ثانیه حدود ۳۴۰ میلیون نوترینو از طریق واپاشی پتاسیم در استخوان‌هایمان از خود گسیل می‌کنیم.

دانشمندان می‌دانند که نوترینوها تقریباً با هیچ چیزی برهمکنش ندارند و بدون گذاشتن هیچ ردپایی از درون مواد سر راهشان عبور می‌کنند. برای مثال یک نوترینو می‌تواند از قالبی سربی به ضخامت یک سال نوری بگذرد بی‌آن‌که به چیزی برخورد کند. با این حال دانشمندان نا امید نشده‌اند و هر از چند گاهی با آشکارسازهای طبیعی موجود در دل زمین توانسته‌اند نوترینوهای آمده از خورشید را به تعداد اندکی ردیابی کنند و هنوز هم در این آزمایشگاه‌های زیر زمینی در پی شکار این اشباح اند. در زیر به دو تا از این رصدخانه‌ها اشاره شده است:

رصدخانهٔ سوپر کامیوکند: یکی از جاهایی که دانشمندان توانستند برای نخستین بار شواهدی مستحم از نوترینوها و وجود جرم در آن‌ها را بدست آورند رصدخانهٔ کامیوکاند است که در عمق ۹۱۴ کیلومتری زمین در زیر کوهستان‌های غرب ژاپن واقع شده است. این ردیاب طبیعی بزرگ حاوی

www.takbook.com

۵۰ هزار تن آب خالص است و نزدیک به ۱۱۲۰۰ ردیاب نوری آن را احاطه کرده‌اند که در صورت خرابی مهندسان مجبورند این ردیاب‌ها را با کمک قایق تعمیر نمایند. زمانی که نوترینوها با مولکول‌های آب موجود در آن جا برخورد می‌کند، انفجارهایی پرانرژی از ذرات زیراتمی ایجاد می‌شود که می‌توانند تا وسعت زیادی پراکنده شوند. این ذرات به اندازه‌ای سریع حرکت می کنند که مقدار ناچیزی نور مخروطی شکل از خود متصاعد می‌کنند. بدین‌ترتیب حسگرها این نور را تشخیص داده و مسیر نوترینوها را ردیابی کنند.



نمایی داخلی از رصدخانه سوپرکامیوکند ژاپن که مهندسان با قایق در حال تعمیر حس گرهای نوری آن هستند.

دیدیم که از میان ۶ لپتون فقط الکترون در ساختمان اتم شرکت دارد و از میان ۶ کوارک نیز فقط دو کوارک بالا و پایین در اتم حضور دارند.

www.takbook.com

شاید سؤال پیش آید که چرا بقیه فرمیون‌ها مثل کوارک افسون و شگفت یا ذرات میون و تاو در طبیعت وجود ندارند؟ اگر این ذرات در ساختار ماده نیستند پس فیزیک‌دانان چگونه به وجود آن‌ها پی برده‌اند؟

ذرات بیکار

باید گفت که همه چیزهایی که دور و بر ماست از بدن ما گرفته تا کوه و دریا و ستاره‌ها فقط از این سه ذره (کوارک بالا، کوارک پایین، الکترون) ساخته شده‌اند. این سه ذره سبک و پایدار هستند و می‌توانند میلیاردها سال عمر کنند درحالی‌که ذرات دیگر سنگین و ناپایدار هستند و طول عمر بسیار کوتاهی کم‌تر از یک ثانیه دارند. برای مثال در اوایل انفجار بزرگ ذرات سنگینی هم‌چون تاو و میون و کوارک سر و ته بوجود آمدند اما از آن‌جایی‌که سنگین و ناپایدار بودند بلافاصله بعد از بوجود آمدن از بین رفتند و به ذرات سبک و پایداری هم‌چون الکترون و کوارک بالا و پایین تبدیل شدند. این ذرات سنگین اکنون در دنیای ما وجود ندارند و فقط هنگام انفجار ستارگان بوجود می‌آیند و خیلی زود از بین می‌روند اما اگر بخواهیم آن‌ها را به‌صورت مصنوعی در آزمایشگاه درست کنیم به یک شتاب‌دهندهٔ ذرات نیاز خواهیم داشت. بزرگ‌ترین شتاب‌دهندهٔ ذرات در جهان در مرز کشور فرانسه و سوئیس در زیر زمین ساخته شده است. این دستگاه به شکل یک لولهٔ دایره‌ای شکل طراحی شده و طول تونل آن ۲۷ کیلومتر است. مهندسان هزاران آهنربای ابرقدرتمند را دور این لولهٔ ۲۷

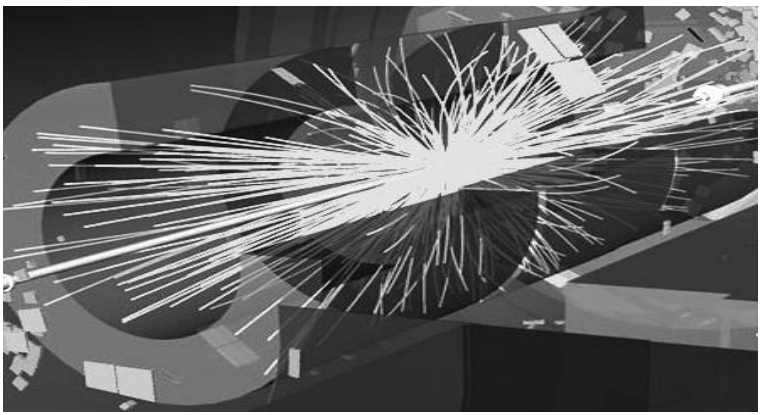
www.takbook.com

کیلومتری به کار بسته‌اند تا با ایجاد میدان مغناطیسی قوی، به ذرات شتاب دهند و آن‌ها را به حرکت در آورند. این شتاب دهنده با جریان برق بسیار قوی معادل برق مصرفی یک شهر کار می‌کند. در این آزمایشگاه دانشمندان ذرات بارداری هم‌چون پروتون‌ها را که بار مثبت دارند وارد این دستگاه می‌کنند و سپس جریان برق را وصل می‌کنند. آهنرباها به کار می‌افتند و در سرتاسر لوله میدان مغناطیسی بسیار قدرتمندی ایجاد می‌کنند و پروتون‌ها را با سرعتی نزدیک به سرعت نور (۹۹/۹۹ درصد سرعت نور) به حرکت در می‌آورند. دو باریکهٔ پروتون در دو جهت مخالف همدیگر شتاب می‌گیرند و با سرعت نزدیک به سرعت نور با هم برخورد می‌کنند.

در داخل این لوله پروتون‌ها با سرعت نزدیک به نور شتاب داده می‌شوند و به هم برخورد می‌کنند.

www.takbook.com

سرعت برخورد پروتون‌ها به قدری بالاست که همهٔ جرمشان به انرژی خالص در می‌آید. مقدار انرژی بوجود آمده در نقطهٔ برخورد به قدری است که انگار دو لوکوموتیو با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت با هم شاخ به شاخ شده‌اند. انرژی و دمای بوجود آمده در نقطه برخورد بسیار زیاد است و مثل یک ابر در یک نقطه متمرکز می‌شود اما این وضعیت زودگذر است. همان‌طور که ابر با سرد شدن به قطرات باران و دانه‌های برف تبدیل می‌شود؛ این انرژی نیز (طبق رابطه mc^2 اینیشتین) در کسری از ثانیه سرد شده و فورا به شکل ذرات سنگینی مثل میون و تاو یا کوارک سر و ته و ... منجمد می‌شود. این ذرات سنگین و ناپایدارند و فقط برای مدت زمان کوتاهی (کم‌تر از یک میلیاردم ثانیه) عمر می‌کنند و سپس فرو می‌پاشند و انرژی و جرمشان به شکل ذرات پایدارتر مثل الکترون و کوارک بالا و پایین در می‌آیند. این‌ها همان ذراتی هستند که اتم‌ها و مادهٔ معمولی جهان ما را می‌سازند.



تصویری فرضی از لحظهٔ برخورد شاخ به شاخ پروتون‌ها به یکدیگر در شتاب دهنده ذرات

www.takbook.com

شبیه‌سازی مهبانگ

شتاب دهنده‌ها به دانشمندان کمک می‌کنند که شرایط مهبانگ را در آزمایشگاه شبیه‌سازی کنند و بفهمند که در ۱۳/۷ میلیارد سال پیش جهان ما چگونه از انرژی خالص به ماده تبدیل شده است. ایشان می‌دانند که در لحظهٔ مهبانگ شرایط فوق العاده افراطی بود. در آن حالت تمام ماده و انرژی کل جهان در یک نقطهٔ بسیار کوچک به نام تکینگی متمرکز شده بود. دمای جهان در این نقطه میلیاردها بار داغ‌تر از داغ‌ترین ستاره‌گان امروزی در حدود $۱۰^{۳۲}$ کلوین بود (یعنی عدد یک با ۳۲ صفر جلوی آن) و همچنین چگالی و دمای انرژی در نقطهٔ تکینگی به قدری بالا بود که فضا، زمان، ماده و حتی نیروهای طبیعت در هم ادغام شده بودند و قابل تمایز نبودند. ایشان برای بازسازی لحظات داغ و اولیه مهبانگ دست به دامان برخورد دهنده‌های ذرات شده‌اند و با برخورد دادن ذرات به یکدیگر سعی دارند آن تکینگی اولیه را شبیه‌سازی کنند. وقتی ذرات ماده در داخل برخورد دهنده‌ها با سرعت نزدیک به سرعت نور به یکدیگر برخورد می‌کنند؛ ذرات در نقطهٔ برخورد حالت مادی خود را از دست می‌دهند و به انرژی خالص و بسیار داغ (با دمای تریلیون‌ها درجه) و فشرده‌ای تبدیل می‌شوند اما این انرژی زیاد دوام نمی‌آورد و بلافاصله سرد شده و دوباره به شکل ذرات مادی در می‌آید.

این نقطهٔ پر از انرژی خالص و داغ چیزی شبیه به لحظهٔ آغازین مهبانگ یا تکینگی اولیه است. دانشمندان امروزه با کمک شتاب دهنده‌های ذرات فهمیده‌اند که جهان در لحظات اولیه پر از انرژی خالص بود. در ابتدا این

www.takbook.com

انرژی ناپایدار و مثل حیوانی وحشی و افسار گسیخته بود. مدتی به همین منوال گذشت تا این‌که جهان در اثر انبساط سردتر شد و دمای انرژی کاهش یافت. همان‌طور که ابر با سرد شدن هوا به دانه‌های برف تبدیل می‌شود این انرژی نیز با سرد شدن خود به شکل انواع ذرات مادی در آمد. دانشمندان فهمیدند که شکل‌گیری یک ذره به مقدار دما و انرژی محیط بستگی دارد. در اوایل مهبانگ میزان دما و انرژی محیط بالا بود و هر لحظه تریلیون‌ها ذره سنگین و عجیب و غریب از این انرژی بوجود می‌آمدند و نابود می شدند. این ذرات مثل تاو و میون و کوارک ته بسیار سنگین و ناپایدار بودند و بعد از بوجود آمدن فقط برای لحظه‌ای کوتاه عمر می‌کردند و خیلی سریع فروپاشی کرده و به ذرات سبک‌تر تبدیل می‌شدند. مدتی به همین وضع گذشت تا این‌که فضا به اندازهٔ کافی منبسط و جهان سرد شد و دیگر هیچ ذرهٔ سنگینی متولد نشد و فقط ذرات سبک‌تر و پایدارتر مثل الکترون و کوارک‌های بالا و کوارک‌های پایین باقی ماندند. با گذشت زمان کوارک‌های بالا و پایین به هم متصل شدند و نوترون‌ها و پروتون‌ها را ساختند. (مثلاً دو کوارک بالا و یک کوارک پایین پروتون را ساختند و همچنین دو کوارک پایین و یک کوارک بالا نوترون را ساختند). نوترون‌ها و پروتون‌ها به هم چسبیده و هستهٔ اتم‌ها را تشکیل دادند و الکترون‌ها نیز به این هسته‌ها ملحق شدند و اتم‌ها را کامل کردند و این‌گونه شد که ماده بوجود آمد. برای مثال اتم دوتریوم(هیدروژن سنگین) هسته‌ای دارد که از یک پروتون و یک نوترون ساخته شده و یک الکترون

www.takbook.com

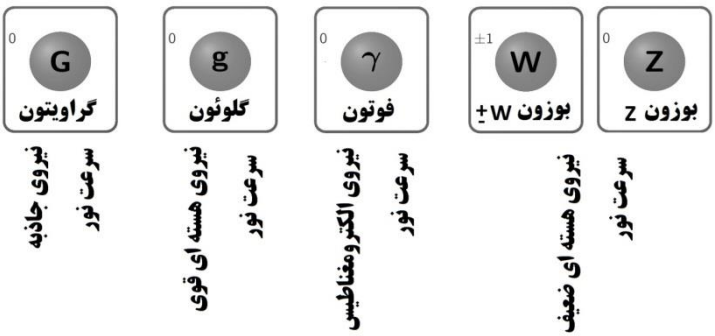
نیز در حال گردش به دور هسته آن است. حال برای ساختن اتم دوتریوم به سه ذره بنیادی نیاز خواهیم داشتیم. اولین ذره الکترون است که دور هسته در حال گردش است. دو ذرهٔ دیگر کوارک‌های بالا و پایین هستند که برای ساختن پروتون و نوترون هسته لازم داریم. مثلاً یک کوارک پایین با دو کوارک بالا پروتون را می‌سازند همچنین دو کوارک پایین و یک کوارک بالا نوترون را می‌سازند. بنابراین اگر سه کوارک بالا، سه کوارک پایین و یک الکترون داشته باشیم می‌توانیم اتم دوتریوم را بسازیم.

بوزون‌ها

پیشتر دیدیم که همهٔ اتم‌ها و مواد اطرافمان از به هم پیوستن سه نوع ذرهٔ بنیادی به نام‌های کوارک‌های بالا، کوارک‌های پایین و الکترون‌ها تشکیل شده‌اند. حال اگر جهان را به عنوان یک ساختمان تصور کنید آن‌گاه این سه ذره به عنوان آجرهای سازندهٔ این ساختمان هستند. اما همان‌طور که می‌دانید این آجرها به خودی خود به هم وصل نمی‌شوند بلکه باید توسط مواد دیگری مثل سیمان و گچ به هم متصل گردند و با تشکیل نمای بیرونی و داخلی ساختمان و ساختن ستون‌ها و دیوارها به آن شکل دهند. در جهان ما چهار نیروی اصلی وجود دارند که در حکم سیمان و گچ لای آجرهای ساختمان هستند و باعث می‌شوند که همه چیز از اتم‌ها گرفته تا کهکشان‌ها به شکل امروزی خود وجود داشته باشند. همان‌طور که مواد از سه ذرهٔ بنیادی (الکترون و کوارک بالا و پایین) ساخته شده‌اند؛ هریک این نیروها

www.takbook.com

نیز از ذرهٔ خاصی ساخته شده‌اند که بوزون نامیده می‌شوند. در واقع هرکدام از چهار نیروی گرانش، هسته‌ای قوی، هسته‌ای ضعیف و الکترومغناطیس بوزون مخصوص به خود را دارند. بوزون‌ها ذراتی هستند که این نیروها را منتقل می‌کنند و به آن‌ها ذرات حامل نیرو نیز گفته می‌شود.



هر بوزون نیروی مربوط به خود را به وجود می‌آورد و آن را منتقل می‌کند.

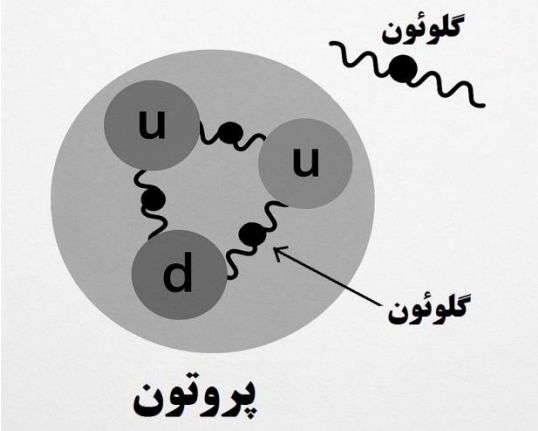
نیروی هسته‌ای قوی

نیروی هسته‌ای قوی همان نیرویی است که سه کوارک را در کنار هم نگه می‌دارد و باعث ساخته شدن پروتون و نوترون می‌شود. همچنین این نیرو مثل چسبی قوی پروتون‌ها و نوترون‌های داخل هستهٔ اتم را به هم می‌چسباند و باعث انسجام هسته اتم می‌شود. بوزون مربوط به نیروی هسته‌ای قوی گلوئون نام دارد. این همان ذره‌ای است که این نیرو را بوجود می‌آورد و آن را حمل می‌کند. در واقع کوارک‌ها به خودی خود به هم متصل نمی‌شوند بلکه این گلوئون‌ها هستند که بین سه کوارک (بالا، بالا، پایین)

www.takbook.com

رد و بدل می‌شوند تا آن‌ها را به هم بچسبانند و پروتون (یا نوترون) را بسازند. همچنین پروتون‌ها و نوترون‌های داخل هستهٔ اتم نیز به وسیلهٔ تبادل گلوئون‌ها به هم می‌چسبند و هسته را تشکیل می‌دهند. از چهار نیروی موجود در طبیعت نیروی هسته‌ای قوی قدرتمندترین نیرو بین آن‌هاست اما برد بسیار کوتاهی دارد. در واقع این نیرو فقط در محدوده‌ای به کوچکی هسته اتم (۱۰ به توان منفی ۱۴ متر) عمل می‌کند و وقتی اثر دارد که ذرات خیلی نزدیک به هم باشند. برای مثال کوارک‌های داخل پروتون در فاصلهٔ یک میلیون میلیاردم یک متر کنار هم قرار گرفته‌اند. این فاصله به قدری کم است که گلوئون‌ها می‌توانند به راحتی بین آن‌ها منتقل شوند و آن‌ها را با قدرت به هم وصل کنند. این نیرو علاوه بر کوارک‌ها قادر است پروتون‌ها و نوترون‌های داخل هسته را نیز به هم وصل کند. اما اگر تعداد پروتون‌های هسته بیش‌تر از ۸۲ عدد باشد، آن‌گاه دافعهٔ بین پروتون‌ها شدیدتر شده و اندازهٔ هسته بزرگ‌تر می‌شود و این نیرو قادر نخواهد بود آن‌ها را کنار هم نگه دارد. برای درک بهتر این موضوع دو آهنربای خیلی قوی را در نظر بگیرید. اگر این دو را در فاصلهٔ یک میلی متری از هم قرار دهید به شدت همدیگر را جذب می‌کنند اما اگر فاصله را به یک سانتی متر افزایش دهید جاذبهٔ بین شان ضعیف‌تر می‌شود حال اگر آن‌ها را در فاصله دو سانتی متری هم قرار دهید دیگر اثری روی هم نخواهند داشت.

www.takbook.com



ذرات گلوئون مثل یک چسب قوی، سه کوارک را به هم متصل می‌کنند و پروتون را می‌سازند.

بوزون‌ها نیز هم‌چون کوارک‌ها و لپتون‌ها در هنگام مهبانگ بوجود آمدند و چهار نیروی بنیادی گیتی را ساختند. فیزیک‌دانان معتقدند قدرت این نیروها به‌طور خیلی دقیق تنظیم شده است چنان‌که اگر شدت این نیروها ذره‌ای فرق داشت آن‌گاه جهانی که اکنون می‌بینیم وجود نداشت. برای مثال اگر قدرت و برد نیروی هسته‌ای قوی اندکی از حالت امروزی کم‌تر بود کوارک‌ها نمی‌توانستند به هم متصل شوند و پروتون و نوترون‌ها را بسازند و اگر هم این ذرات ساخته می‌شدند نمی‌توانستند در هسته کنار هم بمانند در نتیجه هستهٔ اتم متلاشی می‌شد. آن‌گاه هیچ اتمی وجود نداشت و بدون اتم‌ها هیچ ستاره، سیاره و انسانی هم نبود. از سویی اگر نیروی هسته‌ای قوی کمی قوی‌تر از الان بود آن‌گاه به جای سه کوارک ممکن بود ده‌ها

www.takbook.com

کوارک به هم بچسبند و همچنین هزاران پروتون و نوترون به هم متصل شوند و هسته‌های اتمی بیش از حد بزرگ و عجیبی بسازند.

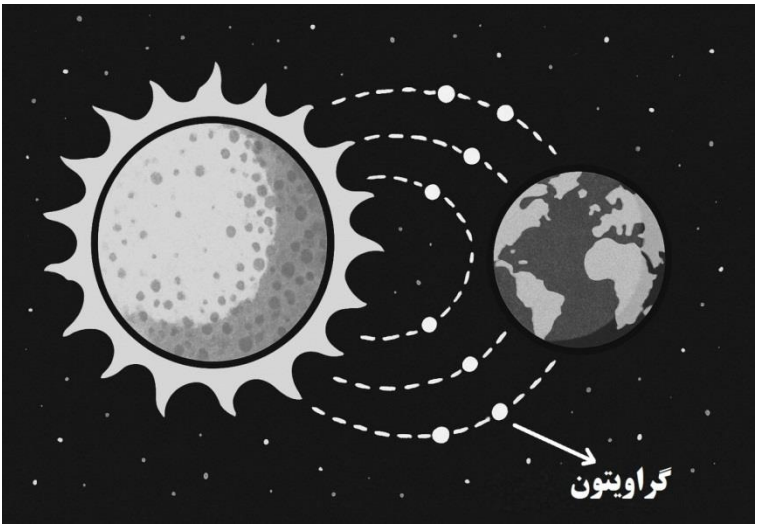
نیروی گرانش

نیروی گرانش نیرویی است که اجسام دارای جرم را به سمت یکدیگر جذب می‌کند. مثلاً زمین ما را به سمت خود می‌کشد و ماه را در مدار خود نگه می‌دارد. همچنین این همان نیرویی است که با جذب گرد و غبار و گازهای میان ستاره‌ای باعث تولد ستارگان و سیارات می‌شود. در واقع در برخی از مناطق فضا ابرهای بزرگی از گازها و گرد و غبار کیهانی پخش شده‌اند که به آن‌ها سحابی گفته می‌شود. این گازها عمدتا از هیدروژن و هلیوم تشکیل شده‌اند و در برخی نواحی چگال‌ترند. نیروی گرانش باعث می‌شود این گازها آرام آرام به سمت مناطق چگال‌تر جذب شوند و توده‌های کوچکی از گاز در جای جای فضا شکل بگیرند. این توده‌ها مواد بیش‌تری را از اطراف خود جذب می‌کنند و رفته رفته بزرگ‌تر می‌شوند. نیروی گرانش به تدریج آن‌ها را فشرده‌تر می‌کند تا جایی که دمایشان به میلیون‌ها درجه افزایش می‌یابد و واکنش گداخت هسته‌ای در آن‌ها شکل می‌گیرد. در نهایت هرکدام از آن‌ها به یک ستاره تبدیل می‌شوند. باقی مانده‌های گاز و گرد و غبار اطراف ستاره‌ها نیز به همین شیوه به هم می‌چسبند و سیارات و قمرها و سیارک‌ها را بوجود می‌آورند.

www.takbook.com

اینیشتین در نظریه نسبیت خود نشان داد که نیروی گرانش همان خمیدگی فضا زمان است که باعث می‌شود اجسام سبک به سمت اجسام سنگین کشیده شوند. اما دانشمندان به تازگی فهمیده‌اند این نیرو نیز هم‌چون نیروهای دیگر بوزون مخصوص به خود را دارد که گراویتون نامیده می‌شود. در واقع نیروی گرانش نیز مثل نیروهای دیگر توسط یک ذره منتقل می‌شود و باعث جذب اجسام به سمت یکدیگر می‌شود. گراویتون‌ها هنوز به‌صورت تجربی دیده نشده‌اند اما اعتقاد بر این است که این ذرات جرم صفر دارند و با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند. برای نمونه ذرات گراویتون با سرعت نور بین زمین و ماه رفت و آمد کرده و بین آن دو مبادله می‌شوند و این باعث می‌گردد این دو جرم آسمانی به سمت همدیگر جذب شوند. نیروی گرانش در بین چهار نیروی بنیادی طبیعت از همه ضعیف‌تر است ولی در عوض برد تقریباً نامحدودی دارد. مثلاً پلوتو در فاصلهٔ ۵/۶ میلیارد کیلومتری خورشید واقع شده است با این حال نیروی گرانش خورشید آن را در مدار خود نگه داشته است. قدرت این نیرو با افزایش فاصله ضعیف‌تر می‌شود اما هیچ گاه به صفر نمی‌رسد. مثلاً ستاره‌ای که در فاصلهٔ یک میلیارد سال نوری از خورشید قرار گرفته است، باز هم نیروی جاذبه بسیار ناچیزی را از آن فاصله به خورشید وارد می‌کند.

www.takbook.com



گراویتون‌ها بین خورشید و زمین مبادله می‌شوند و باعث جذب آن‌ها به هم می‌شوند.

تنظیم دقیق گرانش

دانشمندان معتقدند هرچند گرانش نیروی ضعیفی است اما از همان آغاز بیگ‌بنگ به قدری دقیق تنظیم شده است که اگر تنها یک درصد از وضع کنونی خود قوی‌تر یا ضعیف‌تر بود جهان به این شکل امروزی شکل نمی‌گرفت. برای مثال اگر نیروی گرانش اندکی قوی بود آن‌گاه گازهای موجود در سحابی‌ها خیلی زودتر به سمت هم کشیده می‌شدند و ستاره‌ها خیلی سریع شکل می‌گرفتند. گرانش شدیدتر ستاره‌ها را با شدت بیش‌تری به هم می‌فشرد و این باعث می‌شد زودتر بسوزند و در عرض چند میلیون

www.takbook.com

سال سوخت خود را تمام کنند. در این صورت فرصت کافی برای شکل‌گیری سیارات دور آن‌ها و تشکیل حیات نبود. (برای مثال بعد از تشکیل خورشید، ۵ میلیارد سال زمان گذشته است که زمین گرد آن بوجود آید و به شکل امروزی خود درآید و حیات را در خود ایجاد کند) همچنین گرانش قوی باعث می‌شود سیاراتی که شکل گرفته‌اند به خورشید نیز بچسبند و یا در مدار بسیار نزدیکی هم‌چون سیاره عطارد دور آن گردش کنند. قوی بودن نیروی جاذبه حتی بر روی جثه و بدن موجودات زنده نیز تاثیر می‌گذارد. مثلاً اگر گرانش چهار برابر قوی‌تر از الان بود آن‌گاه وزن همه چیز چهار برابر می‌شد و در واقع یک فرد ۸۰ کیلویی باید ۳۲۰ کیلوگرم را تحمل می‌کرد. بنابراین همهٔ کارهای روزمره حتی نشستن، ایستادن و راه رفتن خیلی سخت می‌شد. در این صورت بایستی اسکلت موجودات بسیار قوی‌تر و جثهٔ آن‌ها کوچک‌تر می‌شد بود تا بدنشان بتواند وزن چندین برابر خود را تحمل کنند (مثل مورچه). بنابراین طبیعت مجبور بود در طول تکامل، موجودات کوچک‌تر، کوتاه‌تر و سبک‌تری هم‌چون حشرات را به وجود آورد. در چنین وضعی اندازهٔ بزرگ‌ترین دایناسورهای زمین در حد جثهٔ یک مارمولک یا آفتاب پرست بود.

در جهان ما ستارگان و سیارات از ابرهای بزرگ گاز و غبار در درون سحابی‌ها متولد می‌شوند. در واقع نیروی گرانش این ذرات را به سمت هم می‌کشد و آن‌ها را به‌صورت توده‌های بزرگ و متراکم در می‌آورد. هرکدام از این توده‌ها در ابتدا یک پیش ستاره‌اند و برای این‌که به یک

www.takbook.com

ستاره سوزان تبدیل شوند باید مواد بیش‌تری را به خود جذب کنند و آن‌قدر بزرگ شوند که دما در مرکزشان به چندین میلیون درجه افزایش یابد و همجوشی هسته‌ای در آن‌ها آغاز گردد. حال اگر نیروی گرانش اندکی ضعیف‌تر بود نمی‌توانست ذرات را به سمت هم جذب کند و آن‌ها را به شکل یک تودهٔ کروی در آورد. ذرات و گازها در چنین جهانی در فضا پخش باقی می‌ماندند و هیچ ستاره‌ای تشکیل نمی‌شد. حتی اگر گرانش می‌توانست این ذرات را جمع کرده و به شکل توده در آورد قدرت آن به اندازه‌ای نبود که آن‌ها را به اندازهٔ کافی متراکم سازد. در این صورت فشار و دمای مرکز این توده‌ها به قدر کافی نبود تا واکنش‌های گداخت هسته‌ای در آن‌ها اتفاق افتد و ستاره‌ها برافروخته شوند. همچنین نیروی گرانش قادر نبود ذرات گرد و غبار را متراکم ساخته و سیارات سنگی مثل زمین را پدید آورد و اگر هم سیاره‌ای شکل می‌گرفت ممکن بود بسیار کوچک و شکلی ناهمگون شبیه به شهاب سنگ‌ها داشته باشد. می‌دانیم در چنین جهانی اگر ستاره‌ها و سیارات شکل نگرفته باشند قاعدتا حیاتی نیز نخواهد بود اما فرض کنید که سیاره‌ای وجود دارد که گرانش آن ۴ برابر ضعیف‌تر از حالت کنونی است و انواع مختلف حیات را در خود پدید آورده است. برای مثال موجودی که در روی زمین ۸۰ کیلوگرم است در آن سیاره ۲۰ کیلوگرم وزن خواهد داشت. بنابراین موجودات این سیاره وزن کمی تحمل می‌کنند و فشار کم‌تری بر بدنشان وارد می‌شود. به جای این‌که عضلات و استخوان‌های این موجودات قوی‌تر و ضخیم‌تر باشد طبیعت در طول دورهٔ

www.takbook.com

تکامل موجوداتی به وجود می‌آورد که جثهٔ بلندتر، بزرگ‌تر و کشیده‌تری داشته باشند. برای مثال دایناسورهای چنین سیاره‌ای می‌توانستند چندین برابر بزرگ‌تر از دایناسورهایی باشند که زمانی روی زمین می‌زیسته‌اند. شاید انسان‌ها قدی شبیه به زرافه پیدا می‌کردند و می‌توانستند با یک پرش کوچک چند متر آن طرف‌تر بپرند. در چنین سیاره‌ای می‌توانستیم ساختمان‌های به مراتب بلندتری بسازیم و حتی درختان و کوه‌ها نیز قادر بودند چندین برابر بلندتر از حالت کنونی باشند.

نیروی الکترومغناطیس

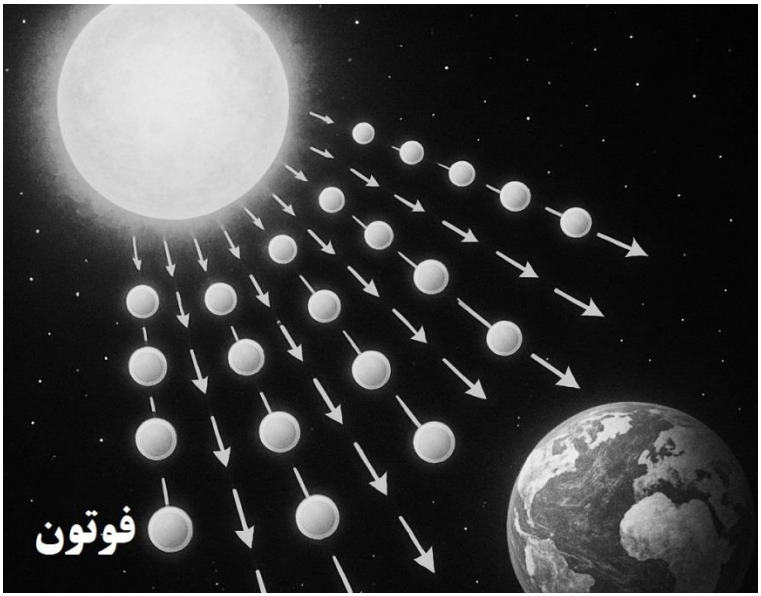
الکترومغناطیس نیرویی است که بین ذرات باردار بوجود می‌آید و باعث می‌شود ذرات هم نام یکدیگر را دفع کنند و ذرات ناهمنام همدیگر را جذب کنند. برای مثال همهٔ الکترون‌ها دارای بار منفی هستند و یکدیگر را می‌رانند از طرفی پروتون‌ها دارای بار مثبت‌اند و هنگامی که با الکترون‌ها (با بار منف) روبرو می‌شوند یکدیگر را به سمت خود جذب می‌کنند. پیشتر دیدید که هر نیروی بنیادی ذرهٔ (بوزون) مخصوص به خود را دارد که آن را حمل می‌کند. ذرهٔ مربوط به نیروی الکترومغناطیسی نیز فوتون نام دارد که با سرعت نور حرکت می‌کند و این نیرو را بین ذرات باردار منتقل می‌کند. برای مثال فوتون‌ها بین هستهٔ مثبت اتم و الکترون‌های منفی مبادله می‌شوند و باعث می‌گردند هسته، الکترون‌ها را به خود جذب کرده و آن‌ها را کنار خود نگاه دارد و اجازه ندهد از اتم فرار کنند. همچنین وقتی

www.takbook.com

قطب‌های هم نام دو آهنربا یکدیگر را می‌رانند در واقع این فوتون‌ها هستند که بینشان رفت آمد می‌کنند و باعث دفع آن‌ها می‌شوند. فوتون‌ها ذراتی هستند که پرتوهای نور و امواج الکترومغناطیس دیگر هم‌چون امواج رادیویی، پرتوهای فروسرخ و فرابنفش و ... را نیز منتقل می‌کنند. برای مثال پرتوهای نوری که از خورشید به زمین می‌آیند از تریلیون‌ها فوتون تشکیل شده‌اند و این فوتون‌ها هستند که نور را می‌سازند و باعث روشنایی می‌شوند. به عنوان مثالی دیگر وقتی به بخاری نزدیک می‌شوید پوستتان احساس گرما می‌کند. این گرما به خاطر پرتوهای فرو سرخی است که از بخاری به سمت شما ساطع می‌شود. شما این تابش نامرئی را نمی‌بینید ولی در واقع این پرتوها از فوتون‌هایی نامرئی ساخته شده‌اند که از جسمی داغ مثل بخاری ساطع شده و انرژی و گرما را به پوست صورتتان می‌رسانند. فوتون‌ها بدون جرم‌اند به همین علت می‌توانند به راحتی با سرعت نور (۳۰۰ میلیون متر در ثانیه) حرکت کنند و تا فواصل بی‌نهایت دور سفر کنند. دانشمندان معتقدند هیچ چیزی در جهان نمی‌تواند با سرعت بیش‌تر از سرعت نور حرکت کند بنابراین فکر می‌کنند که این ذرات بهترین راه برای برقراری ارتباط با تمدن‌های بیگانه باشند. در واقع امواج رادیویی که ما برای ارتباط در گوشی‌های موبایل استفاده می‌کنیم از جنس فوتون‌ها هستند. این فوتون‌های رادیویی از جنس فوتون‌های نور هستند اما به خاطر انرژی کمی که دارند دیده نمی‌شوند. امروزه دانشمندان از این فوتون‌های رادیویی در تلسکوپ‌های رادیویی استفاده می‌کنند و پیام‌هایی را (به شکل تصویر یا

www.takbook.com

صوت) به اعماق فضا می‌فرستند تا شاید تمدن‌های بیگانه آن را دریافت کرده و از وجود ما با خبر شوند.



تنظیم دقیق نیروی الکترومغناطیس

فیزیک‌دانان معتقدند که در هنگام مهبانگ شدت نیروی الکترومغناطیس نیز هم‌چون نیروهای دیگر به نحوی دقیق تنظیم شده است. اگر قدرت این نیرو تنها اندکی کم یا زیاد بود جهانی که ما می‌بینیم شکل نمی‌گرفت. برای مثال اگر نیروی الکترومغناطیس ذره‌ای قوی‌تر از الان بود آن‌گاه الکترون‌ها بیش از حد به هسته نزدیک می‌شدند و بنابراین اندازهٔ اتم‌ها بسیار کوچک‌تر از اکنون بود. در این صورت واکنش‌های شیمیایی کندتر یا سخت‌تر انجام

www.takbook.com

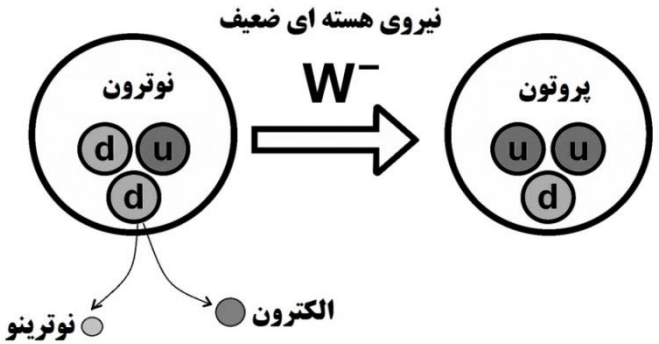
می‌شد و در نتیجه مولکول‌های پیچیده‌ای هم‌چون دی ان ای که پایه‌گذار حیات‌اند به وجود نمی‌آمدند. از طرفی اگر نیروی الکترومغناطیس ضعیف‌تر بود، هستهٔ اتم‌ها نمی‌توانستند الکترون‌ها را کنار خود نگه دارند و اتم‌ها را بسازند. حتی اگر اتم‌ها ساخته می‌شدند، اندازهٔ بسیار بزرگ‌تری داشتند. در این حالت الکترون‌ها با کوچک‌ترین ضربه‌ای از اتم فرار می‌کردند و در نتیجه اتم‌ها نمی‌توانستند پایدار باقی بمانند. از طرفی پیوندهای شیمیایی بین اتم‌ها نیز ضعیف‌تر بود و مولکول‌ها به راحتی از هم می‌پاشیدند و نمی‌توانستند شکل بگیرند. در چنین وضعی مولکول‌های بسیاری هم‌چون آب و پروتئین که پایه و اساس اصلی حیات‌اند شکل نمی‌گرفتند و موجودات زنده‌ای هم‌چون گیاهان و جانوران به وجود نمی‌آمدند.

نیروی هسته‌ای ضعیف

نیروی هسته‌ای ضعیف یکی دیگر از چهار نیروی بنیادی طبیعت است که در درون هستهٔ اتم‌ها عمل می‌کند و کارش تبدیل یک ذره به ذرهٔ دیگر است. در واقع این نیرو قادر است نوترون‌ها را در هستهٔ اتم به پروتون‌ها تبدیل کرده و باعث تبدیل آن اتم به اتم دیگر شود. برای مثال این نیرو در اتم کربن۱۴ یکی از نوترون‌ها را به پروتون تغییر می‌دهد و باعث تبدیل آن اتم به نیتروژن ۱۴ می‌شود. نیروی ضعیف نیز هم‌چون نیروهای دیگر ذرهٔ مخصوص به خود را دارد. در واقع سه ذرهٔ منفی W و مثبت W و Z ذرات سازندهٔ این نیرو هستند و کارشان تبدیل نوترون‌ها به پروتون‌هاست. برای

www.takbook.com

مثال می‌دانیم که در نوترون دو کوارک پایین و یک کوارک بالا به هم چسبیده‌اند و این ذره را ساخته‌اند. در این حالت بوزون منفی دبلیو در داخل نوترون وارد عمل می‌شود و یکی از کوارک‌های پایین را به کوارک بالا تغییر می‌دهد و با این کار سبب می‌شود این نوترون به پروتون (دو کوارک بالا +یک کوارک پایین) تبدیل شود و در اثر آن یک الکترون و نوترینو از آن آزاد شوند.



نیروی هسته‌ای ضعیف باعث تبدیل نوترون به پروتون می‌شود.

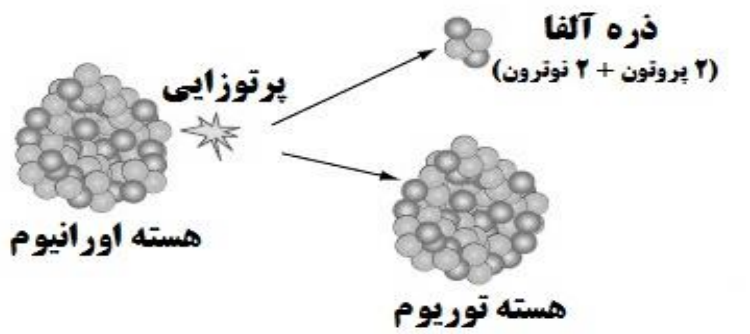
پرتوزایی

پیش‌تر دیدید که هستهٔ اتم از دو نوع ذره به نام‌های پروتون و نوترون ساخته شده است. پروتون‌ها دارای بار الکتریکی مثبت و نوترون‌ها بدون بار (خنثی) هستند. در هر اتم تعداد خاصی پروتون و نوترون توسط نیروی قوی هسته‌ای به هم می‌چسبند و هسته اتم را تشکیل می‌دهند. مثلاً در هستهٔ اتم آهن ۲۶ تا پروتون و ۳۰ تا نوترون وجود دارد. این یعنی روی هم رفته ۵۶

www.takbook.com

پروتون و نوترون به وسیلهٔ نیروی قوی هسته‌ای در کنار هم قرار گرفته‌اند و هستهٔ اتم آهن را ساخته‌اند. می‌دانیم که پروتون‌های هسته سعی دارند بخاطر دافعه‌ای که بینشان است از هم دور شوند و فرار کنند. اما نیروی قوی هسته‌ای اجازهٔ چنین کاری را نمی دهد و آن‌ها را در هسته کنار هم نگه می‌دارد. اما این موضوع همیشه به همین روال نیست. اگر تعداد پروتون‌های هسته بیش‌تر از ۸۲ عدد باشد آن‌گاه دافعهٔ الکتریکی بین‌شان شدیدتر می‌شود و در نتیجه نیروی قوی هسته‌ای دیگر نمی‌تواند بیش‌تر از این، پروتون‌ها را کنار هم نگه دارد. در این حالت می‌گوییم هسته ناپایدار است. بنابراین هستهٔ اتم مجبور به واپاشی می‌کند. یعنی ذرات و پرتوهایی را از خود آزاد می‌کند و این کار را تا زمانی که به تعادل برسد انجام می‌دهد. در این صورت می‌گوییم این عنصر رادیو اکتیو است. یعنی هسته‌اش از خود پرتوهایی به بیرون ساطع می‌کند تا به تعادل برسد. برای مثال اتم اورانیوم ۲۳۸ (u۲۳۸) در هستهٔ خود ۹۲ پروتون دارد و از این رو یک عنصر ناپایدار و رادیواکتیو است. این اتم برای این‌که به پایداری برسد حاضر می‌شود ۲ پروتون و ۲ نوترون چسبیده به هم (هستهٔ هلیوم) را از هستهٔ خود به بیرون پرتاب کند و به اتم توریوم که ۹۰ پروتون دارد تبدیل شود. حال مسئله این‌جاست که توریوم هم در هستهٔ خود بیش‌تر از ۸۲ پروتون دارد به همین دلیل یک عنصر ناپایدار است پس او نیز باید پرتوهایی را از خود ساطع کند و در نتیجه به عنصری سبک‌تر از خود تبدیل می‌شود. این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که تعداد پروتون‌ها به ۸۲ برسد تا اتم کاملاً پایدار شود و پرتوزایی تمام شود.

www.takbook.com



ما از غبار ستارگان ساخته شده‌ایم

اتم‌هایی که اکنون در دور و بر ما وجود دارند زمانی در ستارگان ساخته شده‌اند. در واقع مدت کمی بعد از مهبانگ اولین و ساده‌ترین اتم‌ها مثل هیدروژن و هلیوم ساخته شدند. این اتم‌ها مثل غباری در فضا پراکنده شده بودند. نیروی گرانش در جای جای فضا با دستان نامرئی خود این اتم‌های ساده را کنار هم جمع کرد و فشرد و به‌صورت کرهٔ آتشینی که ستاره می‌نامیم در آورد. در این ستاره‌ها هم‌جوشی هسته‌ای آغاز شد. درون ستاره‌ها مثل آشپزخانه‌ای بود و همجوشی هسته‌ای مثل آشپزی ماهر، مواد اولیه (یعنی هیدروژن و هلیوم) را پخت و غذایی لذیذ هم‌چون اتم‌های سنگین و پیچیده (اکسیژن، نیتروژن و ...) را پدید آورد. بعد از مدتی این ستاره‌ها منفجر شدند و اتم‌هایی که ساخته بودند را به فضا پراکنده کردند. این غبار کیهانی دوباره توسط نیروی گرانش کنار هم جمع شده و سیاره‌ها را پدید آوردند. چنان‌که کرهٔ زمین ۵ میلیارد سال پیش از این غبار پدید

www.takbook.com

آمد و حیات را در خود ایجاد کرد. در واقع اتم‌هایی که میلیاردها سال پیش در ستاره‌ها ساخته شده‌اند اکنون به هم پیوسته‌اند و کرهٔ زمین و همه موجودات زنده را پدید آورده‌اند. برای مثال ۹۹ درصد بدن ما از به هم پیوستن شش نوع اتم اکسیژن، کربن، نیتروژن، فسفر، کلسیم و هیدروژن ساخته شده است. معلوم نیست که هرکدام از این اتم‌های بدن ما چند میلیارد سال پیش در کدام ستاره‌ها و در کجای کیهان به وجود آمده‌اند و اکنون کنار هم جمع شده و ما را ساخته‌اند.

www.takbook.com

www.takbook.com

فصل چهارم
نظریه ریسمان

www.takbook.com

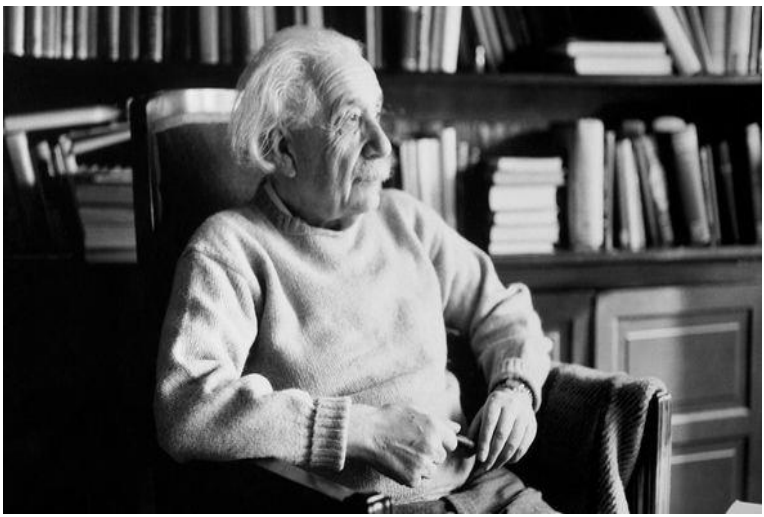
www.takbook.com

آرزوی اینیشتین

تصور کنید چراغ جادوی علاءالدین را داشتید که اگر دستتان را روی آن می‌کشیدید؛ جن درون آن بیرون می‌آمد و می‌توانست سه آرزویتان را برآورده کند. طبیعتا آرزوهایتان مربوط به داشتن ثروت، موقعیت، رسیدن به معشوقتان و چیزهایی از این قبیل بود. اما اگر به جای شما یک فیزیک‌دان نظری این چراغ آرزو را داشت مطمئنا اولین آرزویی که می‌کرد، رسیدن به نظریه همه چیز و یافتن قانونی کامل و فرمولی جامع بود که چگونگی کارکرد و ماهیت جهان را برای همیشه روشن کند. اینیشتین بعد از یافتن نظریه نسبیت خود شهرت بسیاری یافت و توجه همهٔ دانشمندان و مردم عادی را به خود جلب کرد. وی در حوزهٔ کیهان‌شناسی کار بسیار بزرگی کرده بود اما در ته قلبش راضی نبود و آرزوی او نیز رسیدن به یک نظریهٔ کامل برای توصیف جهان بود. او نام آن را "نظریه میدان وحدت یافته" گذاشته بود و ۳۰ سال آخر عمرش را حریصانه برای یافتن این نظریه صرف کرد ولی هیچ‌وقت موفق به یافتنش نشد. آرزوی بزرگ وی آن بود که چارچوبی ریاضیاتی بیابد تا با آن تمام نیروی‌های طبیعت و پدیده‌های ریز و درشت جهان را توضیح دهد و یک نظریهٔ توصیف کنندهٔ همه چیز خلق نماید. همه به دانش و نبوغ وی ایمان آورده بودند و یقین داشتند که روزی وی جام مقدس فیزیک را خواهد یافت. هر روز ده‌ها خبرنگار و ژورنالیست علمی جلوی در خانه‌اش صف می‌کشیدند و منتظر بودند وی در را باز کند و موفقیت خود را در کشف نظریهٔ میدان وحدت یافته به دنیا اعلام نماید.

www.takbook.com

بارها و بارها این اتفاق افتاد و مردم تصور کردند که او در آستانهٔ این دستاورد نهایی می‌باشد. اما خواندن ذهن طبیعت به این راحتی‌ها نبود و اکنون بعد از گذشت ۷۰ سال از مرگ اینیشتین رسیدن به چنین کشفی هنوز هم در بین فیزیک‌دانان یک آرزو است.



من می‌خواهم ذهن خدا (درباره آفرینش جهان) را بدانم، بقیه همه جزییات هستند (آلبرت اینیشتین).

اتحاد دو قلمرو

در دنیای ما دو قلمرو متفاوت وجود دارد که همهٔ اجسام و پدیده‌های جهان در یکی از این دو قلمرو قرار دارند. قلمرو اول مربوط به پدیده‌های بزرگ مقیاس هم‌چون فضا زمان، ستارگان و سیارات می‌شود و قوانین نظریه

www.takbook.com

نسبیت بر آن حاکم است. قلمرو دوم مربوط به دنیای میکروسکوپی ذرات ریز هم‌چون اتم‌ها، الکترون‌ها و فوتون‌ها است و قوانین مکانیک کوانتوم بر آن حکمرانی می‌کند. اکنون تمام علم فیزیک بر روی این دو ستون محکم قرار گرفته است و هر پدیده‌ای را می‌توان با کمک یکی از این دو نظریه فهمید و توضیح داد. نظریه نسبیت جهان بزرگ مقیاس را توضیح می‌دهد. در واقع نسبیت عام اینیشتین ماهیت نیروی گرانش را توضیح می‌دهد و برای این کار فضازمان را مثل پارچهٔ پلاستیکی کشسانی فرض می‌کند که جرم سنگینی مثل یک ستاره روی آن انحنا ایجاد می‌کند این انحنای فضا زمان همان نیروی گرانش است و باعث می‌شود که جرم سبکی مثل یک سیاره به طرف آن کشیده شود و دور آن گردش کند. از طرفی نظریه مکانیک کوانتوم رفتار و ویژگی‌های جهان میکروسکوپی را توضیح می‌دهد و قوانین آن با دنیای بزرگ مقیاس به کلی متفاوت است. نظریه کوانتوم ذرات را بررسی می‌کند و مثلاً می‌گوید الکترون‌هایی که به دور هستهٔ اتم گردش می‌کنند با سیاراتی که به دور خورشید می‌گردند فرق دارند. الکترون‌ها موج‌گونه رفتار می‌کنند و برخلاف سیارات منظومهٔ شمسی مکان و سرعت مشخصی ندارند. مکانیک کوانتوم توضیح می‌دهد که یک ذره می‌تواند هم‌زمان در هرجایی از جهان حضور داشته باشد و ما به جای این‌که جای دقیق آن را بدانیم فقط می‌توانیم احتمالات مربوط به حضور آن در نقاط مختلف را حساب کنیم.

www.takbook.com

قلمروهای متفاوت

هرکدام از دو نظریه نسبیت و مکانیک کوانتوم در حوزه خود عملکرد بی‌نقصی دارند و پدیده‌های مربوط به قلمرو خود را به‌صورت دقیق توضیح می‌دهند. اما مشکل این‌جاست که این دو نظریه به خاطر قلمروهای متفاوتی که دارند در تضاد با یکدیگرانند و از اتحاد با یکدیگر سرپیچی می‌کنند. در فصل پیش دیدیم که جهان ما و همه چیز آن با چهار نیروی اصلی الکترومغناطیس، هسته‌ای قوی، هسته‌ای ضعیف و گرانش کار می‌کنند. سه تای اول از این نیروها (نیروهای هسته‌ای قوی، هسته‌ای ضعیف و الکترومغناطیس) هرکدام دارای ذره‌ای خاص هستند. هریک از این ذرات (بوزون‌ها) نیروی خود را بوجود می‌آورند و رفتار آن‌ها به حوزهٔ کوانتوم مربوط می‌شوند اما نیروی چهارم یعنی گرانش ذره‌ای ندارد و به انحنای فضازمان ربط دارد و به نسبیت مربوط می‌شود. (طبق نظریه نسبیت، نیروی گرانش همان خمیدگی فضازمان است. مثلاً وقتی توپ سنگینی را روی پارچه می‌گذارید پارچه فرو می‌رود و توپ‌های سبک به طرفش می‌غلتند و طبق نظریه نسبیت عام نیروی گرانش همین خمیدگی و فرورفتگی پارچهٔ فضازمان است که اجسام سبک مثل سیارات را به سمت اجسام سنگین هم‌چون ستارگان می‌کشاند.) بنابراین مکانیک کوانتوم تنها می‌تواند سه نیروی اول را توضیح دهد و از طرفی نظریه نسبیت نیز فقط می‌تواند گرانش را توضیح دهد و از توضیح سه نیروی اول عاجز است.

www.takbook.com

تا به حال فیزیک‌دانان زیادی نهایت سعی خود را کردند تا دو جهان بزرگ مقیاس نسبیت (گرانش) و ریزمقیاس کوانتوم (سه نیروی الکترومغناطیس و هسته‌ای قوی و هسته‌ای ضعیف) و نیروهای آن‌ها را باهم آشتی دهند اما همگی در نهایت شکست خوردند و دلیل آن نیز معلوم است چون قلمروهای مربوط به هر نظریه با دیگری کاملاً متفاوت بوده و ترکیب کردن این دو مانند آن است که یک فیل را با یک مورچه دوست کنید.

اکنون شاید سؤال پیش آید که اصلاً چرا فیزیک‌دانان در آرزوی اتحاد این دو نظریه‌اند؟ هر دو نظریه به نوبهٔ خود قلمرو مربوط به خود را خیلی خوب توصیف می‌کنند پس چرا فیزیک‌دانان در تلاش‌اند این دو را با همدیگر ترکیب کنند؟

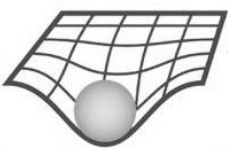
www.takbook.com

نظریه‌ای برای توضیح تکینگی

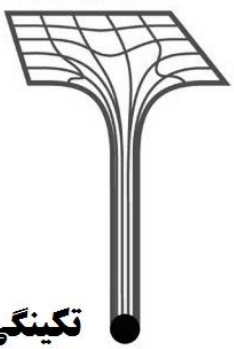
با این که دو نظریه نسبیت و کوانتوم در قلمروهای خود موفق‌اند و جهان را در هر دو قلمرو به خوبی توصیف می‌کنند اما مسئله این‌جاست که طبیعت در بعضی مناطق مثل سیاه‌چاله‌ها دو قلمرو ماکروسکوپی و میکروسکوپی جهان را در هم آمیخته و بنابراین برای توضیح آن تنها نسبیت یا تنها نظریه کوانتوم کارساز نیست بلکه به نظریهٔ کامل‌تری نیاز داریم. سیاه‌چاله‌ها اجساد ستارگان مرده هستند که وقتی تمام سوخت خود را مصرف می‌کنند خاموش شده و زیر وزن خود فرو می‌رمبند و تمام جرمشان در محدوده‌ای کوچک‌تر از اتم فشرده می‌شود. به این نقطه بسیار کوچک‌تر از اتم که چگالی بی‌نهایت دارد تکینگی سیاه‌چاله می‌گویند. حال مسئله این‌جاست که تکینگی سیاه‌چاله ریز و در حد ابعاد کوانتومی است و به قلمرو کوانتوم مربوط است اما در عین حال جرمی در حد یک ستاره دارد و مثل تیله‌ای در پارچهٔ کشسان فضازمان فرو رفته است. این نقطه با خمیدگی فضا زمان اطراف خود نیروی گرانش بسیار عظیمی ایجاد می‌کند و برای توصیف آن به نظریه نسبیت نیاز است. مشکل این‌جاست که این نقطه فضا زمان را آن‌قدر خمیده می‌کند که معادلات نسبیت عام دیگر نمی‌توانند آن را توصیف کنند و از طرفی این ذره کوچک گرانش بی‌نهایت دارد و مکانیک کوانتوم نیز نمی‌تواند آن را توصیف کند. به همین دلیل دانشمندان دنبال نظریهٔ جامع تری به نام گرانش کوانتومی هستند که بتواند نیروی گرانش را نیز مثل یک ذره در حوزهٔ کوانتوم بررسی کند و آن را با سه نیروی دیگر که دارای ذره‌اند و به کوانتوم

www.takbook.com

ربط دارند ترکیب کند. چنین نظریه‌ای در واقع نسبیت را با کوانتوم دوست کرده و با کمک آن می‌تواند پدیدهٔ تکینگی مرکز سیاه‌چاله‌ها را توضیح دهد. البته باید گفت که سیاه‌چاله‌ها تنها اجرام ناشناختهٔ جهان نیستند و پدیده‌های دیگری هم‌چون تکینگی انفجار بزرگ نیز یکی دیگر از پدیده‌های ناشناخته‌ای است که دانشمندان سالهاست با آن روبرو هستند و نظریه‌ای برای توضیح آن ندارند. جهان ما ۱۳.۸ میلیارد سال پیش از نقطه‌ای تکین آغاز شده است که تمام انرژی و جرم جهان در آن نقطه جمع شده بود و چگالی بی‌نهایت و اندازهٔ تقریباً صفری داشت. دانشمندان معتقدند در لحظهٔ مهبانگ هر چهار نیروی طبیعت به شکل یک نیروی واحد و یکپارچه بودند. این نیروها با انبساط فضا و سرد شدن جهان از همدیگر جدا شدند و به شکل‌های امروزی در آمدند. در واقع تکینگی انفجار بزرگ نیز هم‌چون تکینگی سیاه‌چاله جایی است که قوانین امروزی نسبیت و کوانتوم در آن کاربردی ندارند و برای توصیف آن به نظریه‌ای نیاز داریم که هر چهار نیروی بنیادی را در هم ادغام کرده و گرانش و کوانتوم را هم‌زمان توضیح دهد.



انحنای خورشید در فضا زمان



تکینگی سیاهچاله

www.takbook.com

شتاب‌دهنده‌ها و آجرهای بنیادی طبیعت

اگر لیوانی شیشه‌ای را از ارتفاع یک متری روی زمین رها کنید شاید این لیوان بشکند به ۱۰ الی ۲۰ تکهٔ کوچک‌تر تبدیل شود. حال اگر این لیوان را با قدرت تمام به یک دیوار بکوبید خرد می‌شود و به صدها خورده شیشهٔ ریزتر تبدیل می‌شود. دانشمندان وقتی می‌خواهند ساختار درونی یک ماده را بررسی کنند کاری شبیه به این انجام می‌دهند. آن‌ها مواد مختلف را با کمک دستگاه‌های عظیمی به نام برخورددهندهٔ ذرات به هم دیگر یا مانعی سخت می‌کوبند تا به ساختمان درونی ماده و ذرات تشکیل‌دهندهٔ آن پی ببرند. مثلاً آن‌ها اتم‌های هیدروژن سنگین (دوتریوم) را با کمک شتاب دهنده‌ای ساده شتاب می‌دهند و هنگامی که به سرعت کافی رسیدند آن‌ها را به مانعی سخت مثل یک صفحهٔ فلزی نازک برخورد می‌دهند. می‌دانیم که یک اتم دوتریوم در هستهٔ خود از یک پروتون و یک نوترون ساخته شده و یک الکترون به دور هسته می‌گردد. بنابراین این اتم بعد از برخورد با مانع به نوعی می‌شکند و به ذرات تشکیل‌دهندهٔ خود یعنی پروتون، نوترون و الکترون تبدیل می‌شوند. سیکلوترون یکی از نخستین شتاب دهنده‌های ذرات بود که در سال ۱۹۳۱ توسط ارنست لارنس ساخته شد. این دستگاه شکلی دایره‌ای و قطری به اندازهٔ یک بشقاب داشت. این دستگاه بر پایه اصل استفاده از یک میدان مغناطیسی قوی طراحی شده بود و باعث می‌شد ذرات بارداری مثل هسته‌های دوتریوم (یک پروتون و یک نوترون) را در مسیری دایره‌ای

www.takbook.com

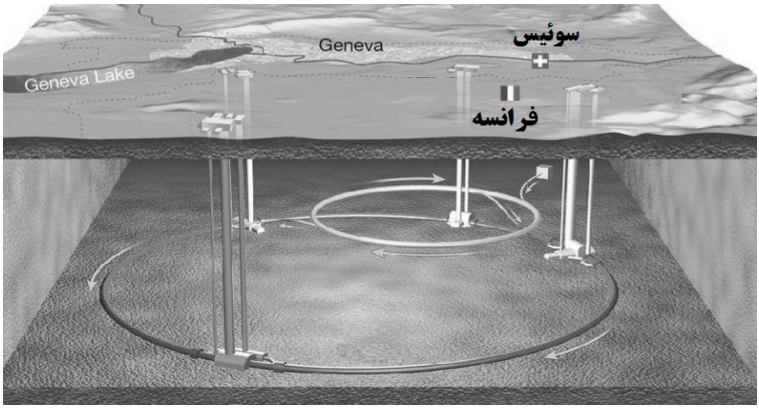
حرکت دهد. این ذرات چندین بار در این مسیر دایره‌ای حرکت می‌کردند و در هر بار چرخش شتاب و سرعت بیش‌تری می‌گرفتند. هسته‌های دوتریوم بعد از این‌که به انرژی لازم رسیدند از مسیر دایره‌ای خود خارج می‌شدند و به سمت یک صفحهٔ فلزی از جنس طلا یا نقره برخورد می‌کردند. انرژی برخورد سبب می‌شد هسته‌های دوتریوم شکسته شود و ذرات سازنده‌اش یعنی پروتون و نوترون آشکار گردد. چنین دستگاه‌هایی برای دانشمندان آن زمان بسیار با ارزش و مهم بودند چون کمک می‌کرد ساختار هستهٔ اتم‌ها و نیروهای هسته‌ای که پروتون‌ها و نوترون‌ها را به هم پیوند می‌داد بهتر شناخته شوند. لارنس با ساخت سیکلوترون موفق شد جایزهٔ نوبل فیزیک را در سال ۱۹۳۹ دریافت کند ولی این آغاز ماجرا بود. بعد از لارنس فیزیک‌دانان و مهندسان دیگری نیز دست به همکاری دادند و انواع دیگری از شتاب‌دهنده‌ها را در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ توسعه دادند. همان‌طور که در شکستن لیوان دیدید اگر یک جسم در هنگام برخورد با هدف سرعت کمی داشته باشد به تکه‌های بزرگی می‌شکند اما هر چقدر که انرژی برخورد جسم به هدف زیاد باشد با شدت بیش‌تری می‌شکند و به قطعات ریزتری تبدیل می‌شود. شتاب‌دهنده‌های اولیه اندازه‌ای کوچک و فناوری ساده‌ای داشتند و انرژی برق کم‌تری مصرف می‌کردند. این موضوع باعث می‌شد این دستگاه‌ها انرژی کمی (حداکثر یک میلیون الکترون ولت) داشته باشند و ذرات را با سرعت‌های پایینی به اهداف بکوبند. فیزیک‌دانان با این

www.takbook.com

دستگاه‌ها می‌توانستند هستهٔ اتم را بشکنند و آن را به نوترون‌ها و پروتون‌های سازنده تجزیه کنند و بدین‌ترتیب ساختار هسته را مطالعه کنند. ایشان تا دههٔ ۱۹۶۰ فکر می‌کردند که الکترون‌ها و پروتون‌ها و نوترون‌ها بنیادی‌ترین ذرات سازنده ماده‌اند و چیزی کوچک‌تر از این ذرات در طبیعت وجود ندارد. در واقع ایشان تصور می‌کردند که این سه ذره ساختاری درونی‌تر ندارند و به عبارتی نمی‌توان آن‌ها بیش‌تر از این خورد کرد و به اجزای ریزتر تبدیل نمود. این تصور غالب آن زمان بود تا این‌که این دیدگاه با ظهور شتاب‌دهنده‌های جدید و پیشرفته تغییر کرد. این بار با گذر زمان و پیشرفت تکنولوژی دانشمندان شتاب‌دهنده‌های پیشرفته‌ای ساختند که ابعادی به بزرگی چند کیلومتر داشتند و به قدری قدرتمند بودند که با جریان برقی معادل برق مصرفی یک شهر معمولی کار می‌کردند. دانشمندان در حین ساختن این دستگاه‌های قدرتمند آن را طوری طراحی کردند که ذرات به جای برخورد به یک مانع ثابت با یکدیگر برخورد کنند تا انرژی برخورد قوی‌تری داشته باشند. برای مثال در شتاب‌دهندهٔ دایره‌ای آل اچ سی پروتون‌ها در یک مسیر دایره‌ای ۲۷ کیلومتری شتاب می‌گیرند و بعد از چندین بار چرخش در این دستگاه به سرعت ۹۹.۹۹ درصد سرعت نور می‌رسند. اگر این ذرات به یک مانع ثابت برخورد کنند انرژی برخورد آن‌ها ۷ تریلیون الکترون ولت خواهد بود. این انرژی بزرگی است اما فیزیک‌دانان برای این‌که انرژی برخورد را به دوبرابر یعنی ۱۴ تریلیون الکترون ولت افزایش دهند دو باریکه از این

www.takbook.com

پروتون‌ها را در دو جهت مخالف حرکت می‌دهند و بعد از رسیدن به سرعت نزدیک به نور آن‌ها را به یکدیگر برخورد می‌دهند.



برخورد دهنده بزرگ ذرات (LHC) در زیر مرز بین فرانسه و سوئیس

یکی دیگر از برخورد دهنده‌های پیشرفته‌ای که آن سال‌ها ساخته شده بود شتاب‌دهندهٔ خطی slac در آمریکا بود. این دستگاه به شکل خطی بود و طولی به اندازهٔ ... کیلومتر داشت. فیزیک‌دانان در سال ۱۹۶۸ زمانی که در آزمایشگاه slac در حال برخورد پروتون‌ها با نوترون‌ها بودند به نتیجهٔ شگفت‌آوری رسیدند. آن‌ها پی بردند که پروتون‌ها (همچنین نوترون‌ها) برخلاف چیزی که قبلا تصور می‌شد ذرات بنیادی ماده نیستند. مشخص شد که این ذرات ساختار درونی ریزی دارند و خود از اجزای ریزتری به نام کوارک ساخته شده‌اند. با تحلیل و بررسی بیش‌تر مشخص شد که یک پروتون هرچند به‌صورت ذره‌ای نقطه‌ای دیده می‌شود اما در واقع از سه ذره

www.takbook.com

متصل به یکدیگر به نام کوارک ساخته شده است. فیزیک‌دانان هنوز هم در شتاب دهنده‌های مختلف این برخوردها را انجام می‌دهند ولی تا به حال موفق به شکستن کوارک‌ها نشده‌اند. اکنون مشخص شده است که کوارک‌ها هزار برابر کوچک‌تر از پروتون‌ها و نوترون‌ها هستند و ساختار درونی ریزتری از خود ندارند. در واقع کوارک‌ها نیز هم‌چون الکترون‌ها ذراتی بنیادی و کوچک‌ترین آجرهای ساختمان ماده‌اند که اتم‌شکن‌های امروزی قادر به شکستن آن‌ها به اجزای ریزتر را ندارند. البته باید گفت که هنوز هیچ دانشمندی در این باره با قطعیت کامل حرف نمی‌زند. شاید الکترون‌ها و کوارک‌ها نیز ساختاری درونی داشته باشند که هنوز کشف نشده است. در مثال لیوان اگر چکشی برداریم و به جای پرتاب آن به دیوار آن را زیر ضربات مداوم چکش قرار دهیم لیوان به ذراتی بسیار ریزتر مثل دانه‌های شکر تبدیل می‌شود. اکنون قوی‌ترین برخورددهندهٔ حال حاضر جهان یعنی ال اچ سی می‌تواند ذرات را با حداکثر انرژی ۱۴ تریلیون الکترون ولت به همدیگر برخورد دهد. این انرژی به اندازه‌ای است که می‌تواند ماده را تا ابعاد $۱۰^{-۱۸}$ متر خرد کند. این اندازه ۱۰۰ هزار برار کوچک‌تر از یک اتم و ده برابر کوچک‌تر از یک کوارک است. به عبارت ساده‌تر اتم شکن‌های ما فعلا قادرند ماده را تا اندازه ۱۰ برابر کوچک‌تر از یک کوارک بشکنند. و از آن‌جایی که کوارک قابل‌پذیر تقسیم نیست بنابراین ما هنوز ذره‌ای کوچک‌تر از کوارک و الکترون نیافته‌ایم اما اگر این ذرات ساختاری درونی‌تر داشته باشند زمانی در آینده با

www.takbook.com

ساخت شتاب دهنده‌های قدرتمندتر شاید بتوانیم آن‌ها را به ذرات کوچک‌تر تبدیل کنیم.

نیاز به یک نظریه کامل

در فصل قبل دیدیم که طبق مدل استاندارد، ما روی هم رفته ۱۲ ذرهٔ بنیادی (شش نوع کوارک و شش نوع لپتون) داریم و همچنین چهار ذرهٔ دیگر(فوتون، گلوئون، W و Z) نیز به عنوان بوزون وجود دارند که مسئول یا حامل نیروهای جهان ما هستند. تک‌تک این ذرات در برخوددهنده‌ها کشف شده‌اند و دانشمندان با بررسی آن‌ها پی برده‌اند که این‌ها ذراتی بنیادی هستند و ساختاری درونی ندارند. به عبارت دیگر این ذرات مثل توپ‌های بیلیارد بسیار کوچکی شبیه نقطه‌اند و ساختاری درونی ندارند و اگر هم ابعادی داشته باشند اندازه شان کوچک‌تر از $۱۰^{-۱۸}$ متر است. مسئله این‌جاست که این ذرات هرچند مثل نقطه‌هایی شبیه به یکدیگرند اما هریک جرم و بار الکتریکی و ویژگی‌های مخصوص به خود را دارند. مثلاً الکترون ذره‌ای با بار منفی یک و اسپین یک دوم است در حالی که کوارک سر ذره‌ای با بار مثبت دو سوم بوده و ۲۵۰۰ برابر یک الکترون جرم دارد. اما یک جای کار می‌لنگد. چگونه ذره‌هایی که هیچ ساختار داخلی ندارند می‌توانند خصوصیات مختلفی داشته باشند؟ برای این‌که بهتر متوجه شوید یک تخم‌مرغ و یک کیوی را در نظر بگیرید. تخم‌مرغ ما واقعاً یک تخم‌مرغ است چون وقتی پوستهٔ

www.takbook.com

آن را می‌شکنیم از یک سفیده و یک زردهٔ پر از پروتئین ساخته شده است و طعم خاصی دارد. اما وقتی پوست کیوی را می‌کنیم یک میوهٔ سبز آبدار را می‌بینیم که از فیبر غذایی، قندهای طبیعی و ویتامین‌ها تشکیل شده است و طعم نسبتاً ترشی دارد. حال فرض کنید این دو ذره‌ای بنیادی بوده و ساختاری داخلی ندارند. پس چگونه می‌توانیم بگوییم که یکی تخم‌مرغ و دیگری کیوی است؟ اگر این‌ها هم‌چون ذرات بنیادی مثل توپ‌های بیلیارد شبیه هم باشند پس چگونه هریک ویژگی و خصوصیات متفاوتی دارند؟

دانشمندان اکنون با کمک مدل استاندارد، ذرات بنیادی را به خوبی شناسایی کرده‌اند و به ویژگی‌های هریک پی برده‌اند. اما هنوز دو سؤال اساسی باقی مانده است. اول این که نمی‌دانند چرا این ذرات نقطه‌ای با این که ساختار درونی ندارند اما هریک ویژگی متفاوتی نسبت به دیگری دارد. در مثال کیوی و تخم‌مرغ دیدیم که این دو به خاطر این که ساختار درونی متفاوتی دارند، ویژگی‌هایشان نیز باهم فرق می‌کند. اما یک کوارک سر و یک کوارک ته هر دو نقطه‌ای بیش نیستند و ساختاری نیز ندارند پس چرا بارهای الکتریکی متفاوتی دارند و یکی از آن‌ها سنگین‌تر از دیگری است؟

www.takbook.com

مدل استاندارد ذرات بنیادی

دوم این‌که دانشمندان هنوز نتوانسته‌اند نیروی گرانش را نیز هم‌چون نیروهای دیگر وارد مدل استاندارد کنند. در مدل استاندارد هرکدام از نیروهای بنیادی دارای ذرهٔ (بوزون) خاصی هستند که آن نیرو را حمل می‌کند. مثلاً نیروی الکترومغناطیس توسط فوتون‌ها حمل می‌شود. یعنی وقتی دو آهنربا همدیگر را می‌کشند؛ این فوتون‌ها هستند که بین این دو

www.takbook.com

آهنربا رد و بدل می‌شوند و باعث جذب آن‌ها به سمت هم می‌شوند. یا این‌که ذرهٔ گلوئون مسئول نیروی هسته‌ای قوی است و آن را حمل می‌کند. مثلاً وقتی در هستهٔ اتم، پروتون‌ها و نوترون‌ها بوسیله نیروی هسته‌ای قوی به هم می‌چسبند در واقع این گلوئون‌ها هستند که بین این ذرات رد و بدل می‌شوند و آن‌ها را به هم جذب کرده و کنار هم نگه می‌دارند.

دانشمندان برای هرکدام از نیروهای هسته‌ای قوی، هسته‌ای ضعیف و الکترومغناطیس ذره‌ای کشف کرده‌اند که آن نیرو را حمل می‌کند اما هنوز نتوانسته‌اند برای نیروی گرانش ذره‌ای کشف کنند که این نیرو را حمل کند. اینیشتین در نظریهٔ نسبیت خود نشان داد که نیروی گرانش با نیروهای دیگر فرق می‌کند. این نیرو به جای این‌که یک ذره باشد در واقع خمیدگی خود فضازمان است. مثلاً وقتی توپ سنگینی را روی پارچه می‌گذارید پارچه فرو می‌رود و توپ‌های سبک به طرفش می‌غلتند. فضازمان نیز مثل پارچهٔ پلاستیکی کشسانی است که جرم سنگینی مثل یک ستاره روی آن انحنا ایجاد می‌کند. در واقع این انحنای فضا زمان همان نیروی گرانش است که باعث می‌شود اجرام سبکی مثل سیارات به طرف آن ستاره جذب شوند.

فیزیک‌دانان سال‌ها با این دو سؤال مهم کلنجار رفتند تا این‌که تصادفاً نظریه‌ای یافت شد که می‌توانست به هر دو سؤال پاسخ دهد. این نظریه اکنون به نظریه ریسمان معروف است و توضیح می‌دهد که چرا ذرات بنیادی ویژگی‌های متفاوتی دارند؟ همچنین برای نیروی گرانش نیز هم‌چون نیروهای دیگر، ذره‌ای در نظر می‌گیرد که دانشمندان نام آن را گراویتون

www.takbook.com

گذاشته‌اند. این ذره فعلا در شتاب‌دهنده‌ها کشف نشده است اما طبق نظریه ریسمان وجود دارد و ذره‌ای است که نیروی جاذبه بین اجرام آسمانی را در فضا حمل می‌کند. نظریه ریسمان اگر درست باشد می‌تواند نیروی گرانش را نیز با سه نیروی دیگر متحد کند و به نظریهٔ همه چیز تبدیل شود. این همان آرزوی اینیشتین بود که می‌خواست نسبیت را با مکانیک کوانتومی درهم آمیزد و به نظریه‌ای دست یابد که بتواند تکینگی انفجار بزرگ را توضیح دهد و ذهن خدا را بخواند.

اتم‌های یونانی یا ریسمان‌ها

تاریخ به ما نشان داده است که هر بار اجزای ماده را کاوش کرده و عنصر میکروسکوپی بنیادی‌تری یافته‌ایم درک مان از جهان هستی عمیق‌تر شده است. پیشرفته‌ترین شتاب‌دهنده‌های ذرات امروزی مثل میکروسکوپی هستند که قادرند ماده را تا ابعاد ۱۰ به توان منفی ۱۹ متر کنکاش کنند. ما در این بررسی به اجزایی برخورده‌ایم که اندازه‌ای در این حدود و حتی کوچک‌تر دارند و نام آن‌ها را ذرات بنیادی (مثل کوارک‌ها) گذاشته‌ایم. اکنون سؤال اساسی این‌جاست که اگر شتاب دهنده‌های ما قدرتمندتر بودند و می‌توانستند ماده را تا ابعاد مثلاً ۱۰ به توان منفی ۲۵ متر کاوش کنند آیا ممکن بود این ذرات، ساختاری درونی‌تر داشتند؟ آیا ممکن بود مثلاً خود الکترون از دو ذرهٔ ریزتر ساخته شده باشد؟

www.takbook.com

ابعاد ریسمان‌ها

وقتی که نظریه ریسمان کشف شد و بر سر زبان‌ها افتاد غوغایی بین فیزیک‌دانان برپا شد. این نظریه می‌گوید تمام ذرات بنیادی جهان که زمانی آن‌ها را به‌صورت ذرات نقطه‌ای و بدون ساختار داخلی می‌شناختیم چیزی جز ریسمان‌های مرتعش نیستند. در واقع اگر میکروسکوپی داشتیم که می‌توانست ابعاد کوچکی به اندازهٔ $۱۰^{-۳۵}$ متر را نشان دهد و با آن به ذرات بنیادی می‌نگریستیم، آن‌ها را به شکل رشته‌های یک بعدی بسیار ریزی می‌دیدیم که مدام به جلو و عقب نوسان می‌کنند. بر خلاف یک ریسمان یا طناب معمولی که از مولکول‌ها و اتم‌ها تشکیل شده است، این ریسمان‌ها خود کوچک‌ترین و بنیادی‌ترین اجزای سازندهٔ جهان هستند و از ذراتی ریزتر از خود ساخته نشده‌اند. فیزیک‌دانان اکنون با کمک پیشرفته‌ترین شتاب‌دهنده‌های جهان قادرند ذره‌ای مثل کوارک را که صد هزار بار کوچک‌تر از یک اتم است تشخیص دهند. مثلاً اگر کوارک به عنوان توپ فوتبال باشد آن‌وقت اتم به اندازهٔ کرهٔ زمین خواهد بود. اما طول این ریسمان‌ها به مراتب کوچک‌تر از این‌ها بوده و در حدود طول پلانک ($۱۰^{-۳۵}$) است. یعنی یک ریسمان اندازه‌ای در حدود یک تریلیون تریلیون مرتبه کوچک‌تر از یک اتم دارد. به عبارت دیگر اگر ریسمان را به اندازهٔ توپ فوتبال در نظر بگیریم آن‌گاه یک اتم به اندازهٔ کهکشان راه شیری خواهد بود. فیزیک‌دانان تقریباً همهٔ ذرات بنیادی را با کمک شتاب دهنده‌های ذرات و برخورد دادن آن‌ها به یکدیگر شناسایی کرده‌اند و به‌صورت تجربی وجود

www.takbook.com

تک‌تک آن‌ها و ویژگی‌هایشان را اثبات کرده‌اند. با این حال این دستگاه‌های عظیم قادر به کشف ریسمان‌های بنیادی نیستند و انرژی لازم برای چنین کاری را ندارند. برخورددهندهٔ بزرگ هادرونی (LHC) حال حاضر جهان به شکل حلقه‌ای به طول ۲۷ کیلومتر است که در عمق ۱۰۰ متری زیر زمین در بین مرز فرانسه و سوئیس قرار دارد. در این حلقه پروتون‌ها با سرعت نزدیک به نور شتاب می‌گیرند و با مجموع انرژی ۱۴ تریلیون الکترون ولت به هم برخورد می‌کنند. این دستگاه عظیم الجثه برای شتاب دادن پروتون‌ها تا این سرعت به برقی معادل برق مصرفی ۱۰۰ هزار خانه نیاز دارد و ماده را با چنان انرژی به هم می‌کوبد که قادر است ذراتی به ابعاد $۱۰^{-۱۸}$ متر را شناسی کند. این در حالی است که ریسمان‌ها در مقیاس پلانک زندگی می‌کنند و برای دیدن و آشکارسازی آن‌ها باید انرژی‌هایی تولید کنیم که طول پلانک را هدف بگیرد. طول پلانک در حدود $۱۰^{-۳۵}$ متر است و برای دیدن آن به صد تریلیون تریلیون الکترون ولت انرژی برخورد نیاز داریم. این مقدار انرژی به انرژی پلانک معروف است و ده میلیون بار بزرگ‌تر از انرژی است که در LHC تولید می‌شود. دانشمندان محاسبه کرده‌اند که برای دیدن ریسمان‌ها به شتاب‌دهنده‌ای دایره‌ای نیاز داریم که یک میلیارد بار قوی‌تر از LHC باشد. اگر چنین دستگاهی ساخته شود قطری برابر منظومه خواهد داشت و برق لازم برای به کار انداختن آن معادل انرژی کل منابع زمین خواهد بود.

www.takbook.com

ریسمان به جای ذره

فیزیک‌دانان قبل از ظهور نظریه ریسمان تفاوت بین ذرات بنیادی را نتیجهٔ تفاوت در ساختار تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها می‌دانستند. مثلاً الکترون و نوترینو دو ذره بنیادی هستند ولی با این حال ویژگی‌های متفاوتی دارند. الکترون دارای بار منفی است اما نوترینو از نظر بار الکتریکی خنثی است. حال اگر قبل از ظهور نظریه ریسمان از یک فیزیک‌دان می‌پرسیدیم چرا این دو ذره باهم فرق دارند در جواب می‌گفت: "چون جنسشان با یکدیگر فرق می‌کند" اما هنگامی که نظریه ریسمان پا به میدان گذاشت عنوان کرد جنس تمام مواد موجود در جهان یکسان است. هر ذرهٔ بنیادی مثل الکترون یا کوارک از یک ریسمان ساخته شده است. در واقع هر ذره یک ریسمان است و تمام این ریسمان‌ها دقیقاً مشابه یکدیگرند. تفاوت‌های این ذرات از آن جا ناشی می‌شود که هریک از این ریسمان‌ها به گونه‌ای خاص به خود می‌پیچند و نوسان می‌کنند. ریسمان‌ها مثل تارهای گیتار هستند که هریک با الگوهای متفاوتی ارتعاش می‌کنند و در نتیجه ذرات متفاوتی را بوجود می‌آورند. به بیان بهتر ذرات مختلف در حقیقت نت‌های مختلفی هستند که این ریسمان‌ها می‌نوازند. بنابراین جهان که از تعداد بسیار زیاد این ریسمان‌ها ساخته شده است به راستی نوعی سمفونی بزرگ است.

ارتعاش‌های متفاوت و ذرات مختلف

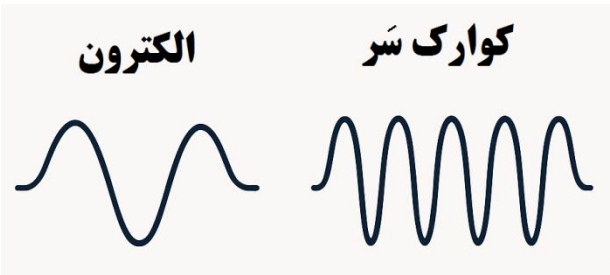
طبق نظریه ریسمان اگر ذره‌ای مثل کوارک سر را زیر یک میکروسکوپ قرار دهیم آن را به شکل یک نقطه خواهیم دید اما اگر بیش‌تر زوم کنیم آن

www.takbook.com

را به شکل یک ریسمان در حال ارتعاش می‌بینیم که طولی برابر طول پلانک (یک میلیارد تریلیون تریلیونم یک سانتی متر) دارد. در واقع هر ذرهٔ بنیادی (مثل الکترون، کوارک شگفت و نوترینو) مثل یک ریسمان لرزان است اما چون هریک از این ریسمان‌ها به شکلی خاص ارتعاش می‌کنند به همین دلیل ذراتی که از این ریسمان‌ها ساخته می‌شوند با یکدیگر متفاوت‌اند و هریک ویژگی خاصی دارند. برای مثال تارهای گیتار را در نظر بگیرید. هر تار می‌تواند به شکل‌های مختلف بلرزد و حالت‌های مختلفی از الگوهای نوسانی داشته باشد که به هریک از این الگوهای نوسانی رزونانس می‌گویند. فرض کنید یک نوازنده شروع به نواختن می‌کند و با انگشت خود یکی از تارها را به نرمی به ارتعاش در می‌آورد آن‌گاه گوش‌های ما موسیقی خاصی را از رزونانس این تار می‌شنوند. همین نوازنده این بار با نوک انگشت خود محکم به سیم ضربه می‌زند و آن را با رزونانس متفاوتی نوسان می‌دهد بنابراین صدایی که ایجاد می‌شود متفاوت از قبلی خواهد بود. ریسمان‌های نظریه ریسمان نیز همین خصوصیت را دارند. در واقع همان‌طور که الگوهای نوسانی خاص در تارهای گیتار باعث تولید صداهای مختلف می‌شوند؛ الگوهای نوسانی ریسمان‌ها نیز ذرات گوناگون با ویژگی‌های مختلف را به وجود می‌آورند. مثلاً الکترون و کوارک سر را در نظر بگیرید. این دو ذره طبق نظریه ریسمان از یک جنس‌اند و هرکدام از یک تار مرتعش ساخته شده‌اند. یعنی هر دو ذره در ریزترین حالت خود از دو ریسمان کاملاً مشابه ساخته شده‌اند. اما چیزی که

www.takbook.com

باعث تفاوت بین این ذرات می‌شود، نحوهٔ ارتعاش ریسمان‌هاست. برای مثال ریسمان مربوط به الکترون مثل موجی ساده نوسان می‌کند که دو قله و دو دره دارد. اما ریسمان کوارک سر نوسان پیچیده‌ای دارد و مثل یک موج از ۵ قله و ۵ دره ساخته شده است. در واقع نحوهٔ ارتعاش ریسمان‌های آن‌ها تعیین می‌کنند که این ذرات چه ویژگی‌هایی داشته باشد. در واقع نحوهٔ ارتعاش ریسمان الکترون سبب می‌شود این ذره بار منفی و جرم سبکی داشته باشد به همین ترتیب ریسمان کوارک سر نیز به خاطر ارتعاش خاصی که دارد باعث می‌شود این ذره سنگین‌تر بوده و بار مثبت پیدا کند.



ریسمان‌های بنیادی ارتعاش‌های متفاوتی دارند و باعث بوجود آمدن ذرات مختلف می‌شوند.

ارتعاش ریسمان‌ها و جرم ذرات

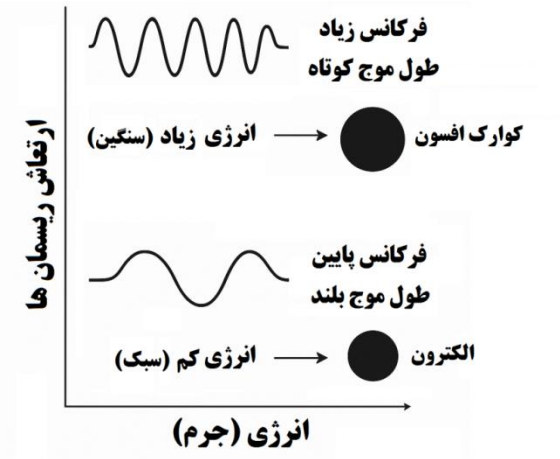
اکنون شاید سؤال پیش آید که اگر همهٔ ذرات از ریسمان‌های مشابه ساخته شده باشند پس چگونه ممکن است نوع ارتعاش یک ریسمان باعث ایجاد ذرات سبک یا سنگین شود؟

www.takbook.com

فرض کنید یک سر طنابی را در دست گرفته‌اید و آن را به نوعی تکان می‌دهید که موج‌هایی روی آن ظاهر می‌شوند. اگر شما این طناب را آرام تکان دهید موج‌های کشیده و بلندی روی طناب ظاهر می‌شوند اما اگر همین طناب را محکم و با سرعت بیش‌تری تکان دهید آن‌گاه موج‌های کوتاه و فشرده‌ای روی طناب ایجاد می‌شوند. ریسمان‌های موجود در نظریه ریسمان نیز خاصیتی شبیه به همین طناب دارند. برای مثال اگر یک ریسمان بنیادی به شکل یک موج آرام و کش دار با فرکانس پایین نوسان کند، انرژی پایینی تولید می‌کند اما اگر ریسمانی مثل یک موج تیز و فشرده با سرعت و فرکانس بالا ارتعاش کند انرژی بالایی خواهد داشت. از طرفی می‌دانیم که انرژی و جرم طبق نسبیت خاص اینیشتین دو روی یک سکه‌اند و قابلیت تبدیل شدن به هم هستند. بنابراین ریسمانی که آرام و با فرکانس پایینی ارتعاش می‌کند انرژی پایینی داشته و در نتیجه جرم کمی خواهد داشت و ذره‌ای که ایجاد می‌کند یک ذرهٔ سبک خواهد بود اما ریسمانی که با سرعت و امواج تند و تیز نوسان می‌کند انرژی بالایی داشته و در نتیجه جرم بالایی خواهد داشت و ذره‌ای که ایجاد می‌کند یک ذرهٔ سنگین خواهد بود. پس اگر کسی از شما بپرسد چرا کوارک افسون ۲۵۰۰ بار سنگین‌تر از الکترون است؛ در جواب می‌گویید «چون ریسمان کوارک افسون ۲۵۰۰ برابر سریع‌تر و با شدت و فرکانس بیش‌تری نسبت به ریسمان الکترون ارتعاش می‌کند». به‌طور کلی باید گفت که نه تنها جرم ذرات بلکه ویژگی‌های دیگر مثل بار الکتریکی و اسپین ذرات نیز به نحوهٔ ارتعاش

www.takbook.com

ریسمان‌های آن‌ها بستگی دارد. در واقع نحوهٔ ارتعاش یک ریسمان تعیین می‌کند که ذرهٔ مورد نظر چه نوع بار و اسپینی داشته باشد.



نظریه ریسمان و ابعاد اضافه

نظریه ریسمان بیان می‌کند تمام ذرات جهان هستی در بنیادی‌ترین حالت خود به شکل ریسمانهایی لرزان از جنس انرژی هستند. هریک از این ریسمان‌ها با لرزش‌های خاص خود باعث بوجود آمدن ذرات مختلف با ویژگی‌های متفاوتی می‌شوند. فیزیک‌دانانی که به این نظریه علاقه پیدا کرده بودند بعد از سال‌ها کار با این نظریه متوجه شدند نظریه ریسمان برای این‌که درست کار کند به ابعادی بیش‌تر از سه بعد نیاز دارد. در واقع جهان ما با این‌که ظاهرا جهانی سه بعدی است اما ریسمان‌ها برای ارتعاش در آن به فضایی بیش‌تر از سه بعد نیاز دارند و باید در یک فضای ده بعدی نوسان

www.takbook.com

کنند تا ذرات مختلف را پدید آورند. بنابراین دنیای ما باید به جای یک جهان سه بعدی یک جهان ده بعدی باشد.

قبل از پرداختن به ادامهٔ موضوع بهتر است ابتدا با مفهوم بعد آشنا شوید. جهانی که ما در آن زندگی می‌کنیم یک دنیای سه بعدی است و از سه مولفهٔ طول، عرض و ارتفاع تشکیل شده است. تمام موجودات این جهان قادرند در هر سه جهت از این ابعاد حرکت کنند. برای مثال یک پرنده را در آسمان در نظر بگیرید. این پرنده می‌تواند در جهت بعد اول به چپ و راست برود، در جهت بعد دوم به جلو و عقب پرواز کند و در جهت بعد سوم یعنی ارتفاع به پایین و بالا بپرد. در واقع همهٔ موجودات دنیای ما مثل این پرنده سه درجه آزادی حرکت دارند و می‌توانند هم‌زمان در هر سه بعد حرکت کنند. ما از زمانی که متولد شده و جهان را شناخته‌ایم غیر از این سه بعد جهت دیگری نمی‌شناسیم و حتی نمی‌توانیم وجود آن را درک کنیم اما نظریه پردازان ریسمان معتقدند که ابعاد اضافی دیگری نیز غیر از این سه بعد وجود دارند. برای مثال فرض کنید شما در جای خود ایستاده‌اید و یک نظریه پرداز ریسمان به شما یک آدرس می‌دهد تا بسته‌ای را به آن‌جا ببرید. تصور کنید او از شما می‌خواهد (ابتدا در جهت بعد اول ۴۰ متر به سمت راست بروید سپس در جهت بعد دوم ۱۰۰ متر عقب‌تر روید و سپس در جهت بعد سوم یعنی ارتفاع ۸ متر از یک نردبان پایین بروید) شما آدرس او را تا این‌جا ادامه می‌دهید و به یک زیرزمین می‌رسید اما ممکن است او در ادامه از شما بخواهد مسیرتان را ادامه داده و در جهت بعد چهارم (یعنی

www.takbook.com

ناکجا آباد) ۱۵ متر به فلان طرف بروید و بسته را آن‌جا تحویل دهید. این‌جاست که شما به مشکل می‌خورید چون شما غیر از سه بعد آشنای روزمره جهت دیگری نمی‌شناسید و مغزتان درکی از بعد چهارم و همچنین بعدهای دیگر ندارد و بنابراین مسیری نیز برای این ابعاد دیگر متصور نیست.

آن سال‌ها نظریه نوپای ریسمان از دید بسیاری از فیزیک‌دانان نظریه جامع و نامزد خوبی برای یک نظریهٔ همه چیز بود. این نظریه می‌توانست دو غول نسبیت و مکانیک کوانتوم را آشتی داده و بسیاری از پدیده‌های ناشناخته جهان هم‌چون سیاه‌چاله‌ها را توضیح دهد. اما مشکل بزرگی که داشت وجود ابعاد اضافه بودند. این نظریه به‌صورت تئوری و بر روی کاغذ وجود ۷ بعد اضافهٔ دیگر را (غیر از سه بعدی که می‌شناسیم) پیش‌بینی می‌کرد اما مشکل این‌جا بود که هیچ‌کس تا به حال در دنیای واقعی ابعاد دیگری غیر از سه بعد طول و عرض و ارتفاع را ندیده بود و این برای فیزیک‌دانان سؤال بود که چگونه ممکن است در جهان ما بعدهای اضافی بیش‌تری غیر از این سه بعد وجود داشته باشند؟

اسکار کلاین و ابعاد اضافی ریز

موضوع ابعاد اضافه در آغاز ایده‌ای عجیب و احمقانه به نظر می‌رسید با این حال در سال ۱۹۲۶ ریاضی دانی سوئدی به نام اسکار کلاین این ایده را اثبات نمود و عنوان کرد جهان می تواند هر دو نوع ابعاد بزرگ و ابعاد کوچک را در خود داشته باشد. وی با کمک معادلات ریاضی به این نتیجه

www.takbook.com

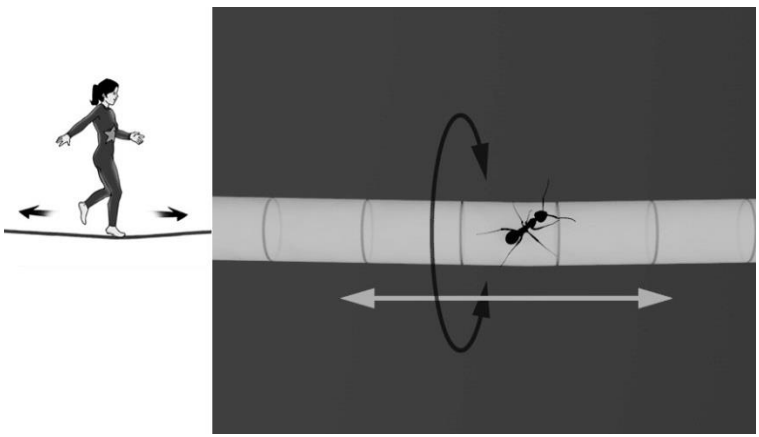
رسید که جهان دارای سه بعد بزرگ و گسترده و آشکاری است که همه آن‌ها را می‌شناسیم با این حال دارای ابعاد دیگری نیز هست که در فضای بسیار کوچکی به هم پیچیده شده‌اند و آن‌قدر کوچک‌اند که تاکنون از دید دقیق‌ترین ابزارهای اندازه‌گیری ما پنهان مانده‌اند.

در واقع وی معتقد بود که ما در فضای اطراف خود فقط سه بعد طول، عرض و ارتفاع را می‌بینیم درحالی‌که علاوه بر این‌ها ابعاد ریز و فشرده‌ای وجود دارند که در اندازه‌هایی به کوچکی طول پلانک وجود دارند و به قدری کوچک‌اند که تا به حال متوجه آن‌ها نشده‌ایم.

برای درک بهتر این موضوع فرض کنید یک کابل طویل مطابق شکل زیر از دو سوی دره‌ای آویزان شده است و شما از فاصله‌ای دور به آن نگاه می‌کنید. شما از این فاصله طول کابل را می‌بینید اما تشخیص ضخامت آن برایتان غیرممکن است. این کابل از نگاه شما یک جهان تک بعدی است که تنها یک بعد برای حرکت در آن وجود دارد. یعنی اگر مورچه‌ای در روی این کابل زندگی کند از نگاه شما تنها می‌تواند در یک بعد (طول) قدم بردارد و به چپ یا راست برود. حال اگر با دوربینی قوی به این کابل نگاه کنید متوجه می‌شوید که این کابل ضخامت نیز دارد. به عبارت دیگر پی می‌برید این کابل علاوه بر این‌که یک بعد بزرگ و قابل مشاهده به نام طول دارد یک بعد کوچک و دایره‌ای به نام ضخامت دارد که مشاهدهٔ آن برای ما دشوار است اما اگر موجودی به اندازهٔ کافی کوچک باشد می‌تواند آن را ببیند و روی این بعد دوم به جلو و عقب

www.takbook.com

حرکت کند و کابل را دور بزند. در واقع این کابل از دور به شکل یک خط سیاه به نظر می‌رسد و در حکم دنیای یک بعدی است اما اگر به اندازهٔ کافی ریز شویم و روی این جهان قدم بگذاریم متوجه بعد دوم و کوچکی می‌شویم که به شکل دایره‌ای به دور شیلنگ پیچیده است. بنابراین این کابل در واقع یک دنیای دارای دو بعد به نام‌های طول و عرض (ضخامت) است. جانوری ریز مثل مورچه در این جهان می‌تواند هر دو بعد را ببیند و در هر دو جهت حرکت کند. در واقع او نه تنها می‌تواند در جهت بعد اول یعنی طول به چپ و راست برود بلکه در جهت بعد دوم یعنی ضخامت به جلو و عقب نیز قدم بردارد و کابل را در یک مسیر دایره‌ای شکل دور بزند و به جای اولش باز گردد.

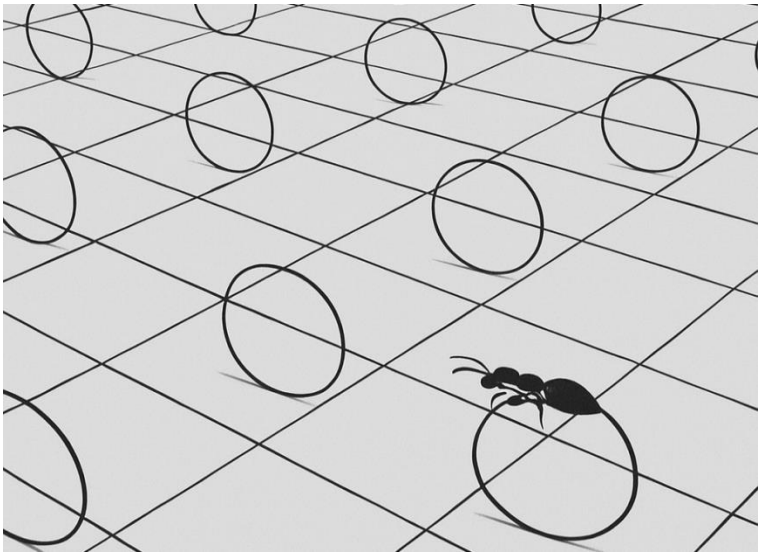


کابل سیم در نگاه ما تک بعدی است و تنها می‌توانیم به چپ یا راست برویم اما یک جانور ریز مثل مورچه می‌تواند بعد دوم آن را نیز ببیند و علاوه بر چپ و راست به جلو و عقب نیز حرکت کند.

www.takbook.com

اسکار کلین معتقد بود که دنیای ما نیز ممکن است مثل کابل دارای ابعاد بسیار کوچکی باشد که از چشم ما پنهان مانده‌اند. در واقع همان‌طور که کابل از دور به شکل یک خط تک بعدی دیده می‌شود جهان ما نیز از دور و به ظاهر به شکل یک جهان سه بعدی به نظر می‌رسد. وقتی با دوربین به کابل نگاه می‌کنیم متوجه می‌شویم این کابل یک بعد کوچک و دایره‌ای دیگری نیز دارد که مورچه می‌تواند در جهت آن حرکت کند و کابل را دور بزند به‌طور مشابه اگر با یک میکروسکوپ بسیار قدرتمند به فضای اطرافمان نگاه کنیم متوجه می‌شویم که ۷ بعد اضافی دیگر در اندازهٔ بسیار کوچک (یک تریلیونم تریلیونم یک متر) در فضا وجود دارند که مثل حلقه‌هایی بسیار کوچک در هم پیچیده‌اند و اگر مورچه‌ای به اندازهٔ کافی ریز باشد می‌تواند در همهٔ این هفت بعد جابجا شود و آن‌ها را دور بزند. این ابعاد اضافه در اتاقمان و هر جای جهان وجود دارند و وقتی ما دستمان را در هوا به گردش در می‌آوریم آن را نه تنها در سه بعد، بلکه در هفت بعد پنهان دیگر نیز حرکت می‌دهیم. در واقع جهان ما یک جهان (ده بعد فضا و یک بعد زمان) یازده بعدی است.

www.takbook.com



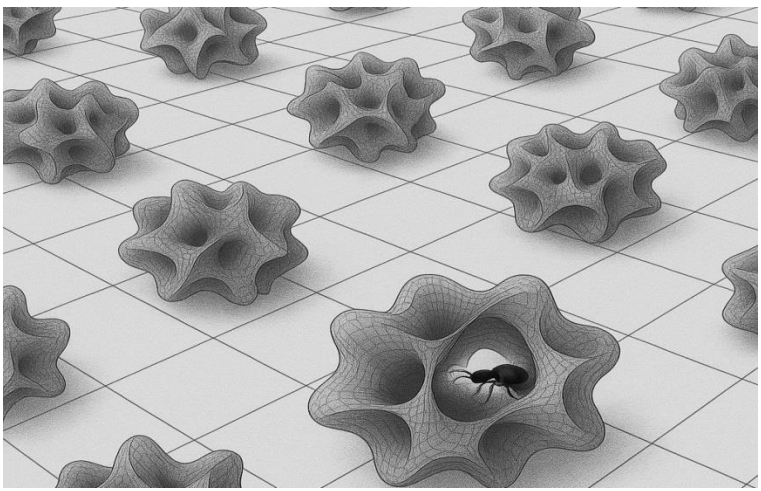
در این تصویر برای درک بهتر به جای هفت بعد اضافه، فقط یک بعد اضافه را که به شکل دایره در هم پیچیده است نشان داده‌ایم. یک مورچه در ابعاد پلانک ($۱۰^{-۳۵}$ متر) قادر است علاوه بر سه بعد بزرگ در این بعد چهارم کوچک نیز حرکت کند.

خمینه‌های کالابی یائو

در بخش قبل دیدیم که ما فقط سه بعد فضا را می‌بینیم اما اگر به اعماق بسیار ریز آن سفر کنیم هفت بعد اضافه‌ای را خواهیم دید که بر خلاف سه بعد قبلی بسیار کوچک‌اند و از نگاه ما پنهان هستند. دانشمندان معتقدند این هفت بعد اضافه در محدودهٔ ریزی به همدیگر پیچ و تاب خورده‌اند و فضای هفت بعدی پنهانی به نام خمینهٔ کالابی یائو را بوجود آورده‌اند. بر طبق نظریه ریسمان این خمینه‌های هفت بعدی در هر نقطه از فضای اطراف ما

www.takbook.com

حضور دارند بنابراین وقتی شما دستتان را در هوا تکان می‌دهید، دست شما نه تنها در سه بعد بلکه در هفت بعد پنهان دیگر نیز حرکت داده می‌شود اما از آن‌جا که این هفت بعد در فضایی بسیار کوچک گسترده شده‌اند دست شما بی‌آن‌که بدانید حلقه‌های در هم پیچیدهٔ این ابعاد را میلیاردها بار می‌پیماید و با هر بار پیمودن محیط یکی از این ابعاد به جای اول خود بر می‌گردد. این مانند آن است که یک تار مو را در میان دستانتان مالش دهید. از آن‌جا که بعد طولی این مو بزرگ است شما متوجه طول آن می‌شوید اما از آن‌جا که بعد عرضی (ضخامت) آن ناچیز است بنابراین دستانتان چندین بار پیرامون قطر این تار مو به گردش در می‌آید ولی شما چیزی نمی‌فهمید و خیال می‌کنید که این یک جسم یک بعدی بوده و فقط دارای درازا است.



اگر مورچه‌ای به کوچکی طول پلانک وجود داشت می‌توانست در فضای هفت بعدی این خمینه‌ها جابه جا شود. به عبارتی او می‌تواند در راستای هر ده بعد فضا قدم بردارد.

www.takbook.com

خمینه‌ها و ذرات

طبق نظریه ریسمان، همهٔ مواد موجود در جهان جنس یکسانی دارند. همهٔ این مواد از ذرات بنیادی ساخته شده‌اند و هرکدام از این ذرات نیز از یک ریسمان از جنس انرژی ساخته شده‌اند. در واقع هر ذره یک ریسمان است و این ریسمان‌ها دقیقاً شبیه یکدیگرند. همان‌طور که تارهای گیتار با ارتعاش خود نت‌ها را بوجود می‌آورند، ریسمان‌های بنیادی نیز در جای خود نوسان می‌کنند و ذرات را پدید می‌آورند. از آن‌جایی که این ارتعاش‌ها یکسان نیستند بنابراین نوع ذراتی که بوجود می‌آیند نیز یکسان نخواهند بود. در واقع هریک از این تارها به نحوی خاص نوسان می‌کنند و به همین دلیل ذراتی که بوجود می‌آورند متفاوت بوده و هریک ویژگی خاصی دارند.

حال سؤال این‌جاست که چه چیزی یا چه کسی نحوهٔ ارتعاش ریسمان‌ها را تعیین می‌کند؟ چه کسی به آن‌ها می‌گوید که چگونه ارتعاش یابند و چه ذراتی را بوجود آورند؟ آیا این ریسمان‌ها به‌صورت تصادفی نوسان می‌کنند و ذراتی با ویژگی‌های شانسی را پدید می‌آورند؟

فیزیک‌دانان معتقدند که ریسمان‌های بنیادی در داخل خمینه‌های هفت بعدی کالابی یائو نوسان می‌کنند و ذرات مختلف را پدید می‌آورند. از طرفی این خمینه‌ها به یک شکل نیستند و اشکال هندسی متفاوتی دارند. بنابراین ریسمان‌ها نمی‌توانند به هر شکلی که می‌خواهند نوسان کنند بلکه شکل هندسی این خمینه‌ها تعیین می‌کنند که ریسمان‌ها چگونه ارتعاش کنند و چه ذراتی را پدید آورند.

www.takbook.com

برای درک بهتر فرض کنید این خمینه‌ها مثل جعبه‌هایی هفت ضلعی هستند که هر ریسمان مثل ماری داخل فضای این جعبه خم و راست شده و می‌رقصد. با این‌که همهٔ این جعبه‌ها هفت ضلعی‌اند اما زاویه اضلاع و شکلشان باهم فرق می‌کند. برای مثال برخی عریض، برخی طویل و برخی شکل منظمی دارند. بنابراین ریسمان‌هایی که در داخل هریک از این جعبه‌ها هستند به خاطر محدودیت جعبه و شکل محیط مجبورند به شکل‌های متفاوتی برقصند و در نتیجه ذرات گوناگونی مثل الکترون کوارک و نوترینو را بوجود آورند.

طبق نظریه ریسمان خمینه‌های کالابی یائو می‌توانند به بی‌نهایت شکل هندسی ممکن وجود داشته باشند. اما به دلایلی که هنوز معلوم نیست در جهان ما تنها یک نوع خاصی از این خمینه‌ها وجود دارد که ریسمان‌ها اجازه دارند در آن نوسان کنند و ذرات دنیای ما را بوجود آورند. در واقع اگر خمینه‌های دنیای ما به بی‌نهایت شکل هندسی ممکن وجود داشتند؛ آن‌گاه هریک از ریسمان‌های درون آن‌ها نیز می‌توانستند به بی‌نهایت صورت ممکن نوسان کنند در نتیجه در دنیای ما بی‌نهایت ذرهٔ مختلف با ویژگی‌های گوناگون بوجود می‌آمدند. یعنی به جای این‌که تنها ذرات مدل استاندارد دنیایمان را بسازند میلیاردها نوع مختلف از ذراتی شبیه به الکترون‌ها و کوارک‌ها پدید می‌آمدند و چنان هرج و مرجی به پا می‌شد که جهانی که اکنون می‌بینیم شکل نمی‌گرفت.

www.takbook.com

فیزیک‌دانان معتقدند تریلیون‌ها نوع خمینهٔ مختلف با اشکال گوناگون وجود دارند که هریک بر جهانی حکمفرمانی می‌کنند. به عبارت دیگر جهان‌های بسیار هم‌چون جهان ما وجود دارند که هریک خمینه مخصوص به خود را دارند. این خمینه‌ها مثل دی ان ای یک جهان هستند و تعیین می‌کنند که ریسمان‌ها چگونه مرتعش شوند و چه ذراتی را بوجود آورند. برای مثال ممکن است جهانی وجود داشته باشد که در اتم‌های آن دو نوع الکترون مختلف به دور هسته گردش می‌کنند یا این‌که جهانی وجود دارد که فوتون‌ها در آن بوجود نیامده‌اند و نیز جهانی مثل جهان ما وجود دارد که در آن شش لپتون و شش کوارک به همراه چهار نیروی بنیادی آن را ساخته‌اند و موجوداتی مثل ما را پدید آورده‌اند.

www.takbook.com

فصل پنجم
انفجار بزرگ

www.takbook.com

www.takbook.com

جهان از دید نیوتون

نیوتون یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان تاریخ معتقد بود که جهان بی‌نهایت، ساکن و ثابت است و ستارگان بی‌حرکت در جای خود ایستاده‌اند و در یک تعادل پایدار هستند. ریچارد بنتلی الهی دان و فیلسوف انگلیسی می‌دانست که بر اساس قوانین نیوتون ستاره‌ها به یکدیگر نیروی گرانشی وارد می‌کنند و سعی دارند به سمت همدیگر جذب شوند بنابراین او متوجه شد اگر جهان ثابت و ایستا باشد پس نیروی گرانش باید همهٔ ستارگان را به سمت یکدیگر بکشد و باعث شود آن‌ها در نهایت به یک نقطه جمع شوند و روی هم فروبریزند. وی در نامه‌ای این موضوع را به نیوتون گفت و نیوتون در جواب گفت؛ اگر جهان اندازهٔ محدودی داشته باشد و تعداد ستارگان متناهی باشند ستارگان روی هم سقوط می‌کنند ولی اگر اندازهٔ جهان بی‌نهایت باشد و تعداد بی‌نهایت ستاره به‌صورت یکنواخت در فضا پراکنده باشند چنین اتفاقی نمی‌افتد چون در جهانی بی‌نهایت بزرگ با بی‌نهایت ستاره نقطه‌ای مرکزی وجود ندارد و هر نقطه‌ای را می‌توان مرکز پنداشت بنابراین جای وسطی وجود ندارد که ستاره‌ها به سمت آن سقوط کنند. نیوتون معتقد بود که همهٔ ستاره‌ها در حالت تعادل قرار دارند اما باز هم اشتباه فکر می‌کرد. این چنین تعادلی ناپایدار است چون اگر ستاره‌های یک منطقه فقط اندکی به یکدیگر نزدیک شوند نیروی جاذبهٔ بین آن‌ها قوی‌تر شده و به سوی یکدیگر سقوط می‌کنند. این موضوع مثل این است که مدادی روی

www.takbook.com

نوکش به حالت تعادل قرار دارد. حال اگر ذره‌ای به یک طرف خم شود آن‌وقت نیروی جاذبه زمین بر او غلبه می‌کند و مداد به‌طور قطع بر زمین می‌افتد. پس ستارگان نباید ساکن باشند.

جهانی با یک آغاز

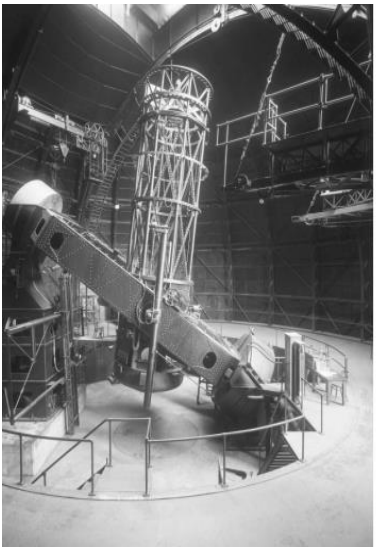
فیلسوفانی مثل ارسطو و بسیاری از مکاتب فلسفی یونان باستان معتقد بودند که جهان از گذشته‌های بی‌نهایت دور همیشه وجود داشته و هیچ نقطهٔ آغازی در گذشته نداشت. از طرفی برخی مکاتب دینی و فلسفی مانند ادیان ابراهیمی (اسلام، یهودیت و مسیحیت) و برخی فلاسفه مانند افلاطون معتقد بودند که جهان آغازی دارد. یعنی خالقی در گذشته در لحظه‌ای خاص دنیای ما را آفریده است. آگوستین قدیس یکی از این افراد بود که می‌گفت جهان آغازی داشته است. به اعتقاد وی خداوند ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح جهان را آفریده بود.

هر دوی این سؤالات بی‌پاسخ مانده بود تا این‌که ستاره‌شناسی به نام ادوین هابل پاسخ هر دو سؤال را یافت. او در سال ۱۹۲۹ با استفاده از تلسکوپ رصدخانهٔ کوه ویلسون که آن زمان مجهزترین تلسکوپ به شمار می‌رفت به این نتیجه رسید که به هر طرف که نگاه کنید کهکشان‌های دوردست به سرعت از ما دور می‌شوند. به عبارت دیگر عالم در حال انبساط است. شاید در نگاه اول این‌گونه به نظر آید که ما در مرکز انبساط جهان قرار داریم و همه چیز در حال دور شدن از ماست درحالی‌که این‌طور

www.takbook.com

نیست. در واقع این کهکشان‌ها نیستند که از هم دور می‌شوند بلکه خود فضاست که منبسط می‌شود و کش می‌آید و هر ثانیه بزرگ و بزرگ‌تر می‌شود. برای درک بهتر فضا را مثل یک بادکنک در نظر بگیرید و کهکشان‌ها را به شکل نقطه‌هایی روی بادکنک رسم کنید. حال وقتی بادکنک را باد می‌کنید بزرگ و بزرگ‌تر می‌شود درست مثل فضا که هر لحظه کشیده‌تر می‌گردد. اگر به نقطه‌ها توجه کنید می‌بینید که آن‌ها هم هرلحظه با بزرگ شدن بادکنک از هم فاصله می‌گیرند. حال اگر به عنوان مورچه‌ای روی یکی از نقطه‌ها بایستید فکر می‌کنید که شما در وسط بادکنک ایستاده‌اید و همهٔ نقطه‌ها از شما دور می‌شوند درحالی‌که اگر مورچه‌ای دیگر از نقطه‌ای دیگر به این موضوع نگاه کند او نیز فکر می‌کند که در وسط ایستاده و همه چیز از او دور می‌شوند. این به آن معناست که هیچ نقطهٔ مرکزی در بادکنک وجود ندارد و همهٔ نقطه‌ها به‌صورت یکنواخت از هم دور و دورتر می‌شوند. در جهان ما نیز همین موضوع صدق می‌کند. فضا هر لحظه در حال انبساط و بزرگ شدن است و کهکشان‌های آن نیز مثل نقاط روی بادکنک به‌صورت یکنواخت از هم دور می‌شوند و هیچ نقطهٔ وسطی در فضا وجود ندارد.

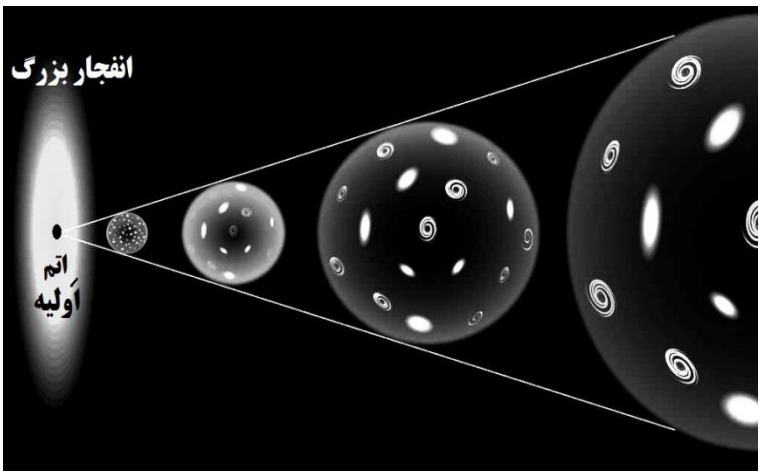
www.takbook.com



بعد از کشف هابل فیزیک‌دانی بلژیکی به نام جرج لومتر این نظریه را مطرح کرد که اگر کهکشان‌های امروزی در حال دور شدن از یکدیگر باشند پس حتماً زمانی در گذشته به هم نزدیکتر بودند. او به این نتیجه رسید که تمام مواد و ستارگان و کهکشان‌هایی که امروزه می‌بینیم حتماً در گذشته‌ای بسیار دور در یک نقطهٔ بسیار کوچکی به نام اتم اولیه جمع شده بودند. تا این‌که انفجاری عظیم (مهبانگ) رخ داد و طی آن فضا منبسط شد و آن ماده و انرژی را از هم دور کرد. سؤال این‌جاست که چطور ممکن است تمام کهکشان‌ها و جهانی که امروزه می‌بینیم زمانی در گذشته در یک نقطهٔ بسیار کوچک انباشته شده باشند. راستش این سؤال هنوز هم یکی از پرسش‌های حل نشدهٔ فیزیک مدرن است. وقتی می‌گوییم تمام ماده و

www.takbook.com

انرژی در یک نقطه متمرکز بودند به این معنا نیست که یک تودهٔ کوچک از ماده در وسط یک فضای خالی قرار داشت و ناگهان منفجر شد و آن مواد را از هم دور کرد.



در واقع مهبانگ به معنی انفجار یک شی درون یک فضا نبود. بلکه در زمان مهبانگ هیچ فضای خالی وجود نداشت. در واقع تمامی مواد و همچنین خود فضایی که اکنون می‌بینیم در یک وضعیت بسیار متراکم و بی‌نهایت کوچک قرار داشتند. دانشمندان این وضعیت را تکینگی می‌نامند. تکینگی جایی است که مقدار دما و چگالی و جرم بی‌نهایت‌اند و قوانین فیزیک کلاسیک قادر به توصیف آن نیستند. بنابراین تمام جهانی که اکنون می‌بینیم به همراه فضا و زمان همگی به یکباره در لحظهٔ مهبانگ از هیچ بوجود آمدند. فکر کردن به قبل از مهبانگ نیز بی‌معناست. چون نه تنها فضا

www.takbook.com

بلکه خود زمان نیز در هنگام مهبانگ به وجود آمد به عبارت دیگر قبل از مهبانگ هیچ کدام از فضا و زمان وجود نداشتند. بنابراین اگر بپرسید قبل از مهبانگ چه بوده است؟ مثل این است که بپرسید شمال‌تر از قطب شمال کجاست؟ پاسخ این است که؛ شمال‌تر از قطب شمال وجود ندارد. پس قبل از مهبانگ زمانی وجود ندارد. حتی اگر قبل از مهبانگ اتفاقی افتاده باشد آن اتفاق هیچ ربطی به ما ندارد و هیچ تاثیری بر جهان ما نخواهد داشت. چرا که جهان ما و زمان ما از مهبانگ شروع شده است.

جهان در حال فرار

موضوع دیگری که هابل به آن پی برد این بود که سرعت دور شدن کهکشان‌ها با فاصله شان رابطهٔ مستقیمی دارد. یعنی هر چقدر یک کهکشان به ما نزدیکتر باشد با سرعت کمی از ما دور می‌شود از طرفی هرچقدر فاصلهٔ یک کهکشان از ما دورتر باشد با سرعت بیش‌تری از ما دور می‌شود. وی متوجه شد که سرعت انبساط جهان تقریباً در حدود ۷۴ کیلومتر بر ثانیه (۲۱۸ ماخ) در مگاپارسک است. یک مگاپارسک برابر با ۳۰ کوادریلیون میلیون کیلومتر (3×10^{19} کیلومتر) است. به عبارت ساده اگر فاصلهٔ دو کهکشان از همدیگر یک مگاپارسک (با ۳۰ کوادریلیون میلیون کیلومتر) باشد این دو کهکشان با سرعت ۷۴ کیلومتر بر ثانیه از هم دور می‌شوند. حال اگر فاصلهٔ دو کهکشان از هم (۶۰ کوادریلیون میلیونکیلومتر) باشد آن‌گاه این دو کهکشان با سرعت ۱۴۸ کیلومتر بر ثانیه از هم دور می‌شوند.

www.takbook.com

با کشف هابل همه دانشمندان پذیرفتند که جهان در حال انبساط است و کهکشان‌ها به سرعت از هم دور می شوند ولی انتظار داشتند که با گذشت زمان این انبساط کند و کندتر شود و برای آن دلیل قانع کننده‌ای نیز داشتند. آن‌ها می‌دانستند که بر اساس قانون نیوتون هر جسمی به جسم دیگر نیروی جاذبه وارد می کند و سعی دارد همه چیز را به سمت خود بکشد. این نیروی جاذبه مرز مشخصی ندارد و می‌تواند تا فواصل بی‌نهایت دور اثر کند ولی هرچه فاصله بیش‌تر شود شدت نیروی گرانش کاهش می‌یابد اما هیچ‌وقت قطع نمی‌شود. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که همهٔ مواد موجود در جهان از ستاره‌ها گرفته تا سیارات و سیاه‌چاله‌ها از خود نیروی گرانشی تولید می کنند و سعی دارند اجسام دیگر را به سمت خود بکشند. با این که جهان در حال انبساط بود ولی فکر می کردند نیروی گرانش آرام آرام بر انبساط جهان غلبه می کند و آن را هر لحظه کند و کندتر می کند. بعضی نیز معتقد بودند که در چند میلیارد سال آینده نیروی گرانش نه تنها انبساط جهان را متوقف می کند بلکه باعث انقباض نیز خواهد شد. یعنی کهکشان‌ها و ستارگان به جای این که از هم دور شوند در نهایت می‌ایستند و سپس دوباره در جهت برعکس به هم نزدیک و نزدیک‌تر می‌شوند و روی هم سقوط می کنند تا جاییکه تمام انرژی و مواد موجود در جهان هستی مثل مهبانگ (اما بر عکس) در یک نقطه تکینگی متمرکز شده و دچار فروپاشی نهایی می‌شوند.

این موضوع مثل آن است که شما از سطح زمین سنگی را به بالا پرتاب کنید اگر سرعت این سنگ کم باشد آن‌گاه نیروی گرانش کم کم بر آن

www.takbook.com

غلبه می‌کند و بعد از این‌که چند متر در هوا اوج گرفت ناگهان می‌ایستد و دوباره به سطح زمین سقوط می‌کند. اما اگر این سنگ را سوپرمن پرتاب کند به شرطی که سرعت آن از سرعت فرار زمین (۱۱ کیلومتر بر ثانیه) بیش‌تر باشد آنگه گرانش نمی‌تواند آن را متوقف سازد بنابراین سنگ از میدان گرانش زمین خارج شده و با همان سرعت اولیه تا ابد به مسیر خود در فضا ادامه می‌دهد. تا آن روز همه فکر می‌کردند که ما سوپرمنی نداریم. بیگ‌بنگ مثل فردی که سنگی را به بالا پرتاب کند کهکشان‌ها را به اطراف پرتاب کرده بود اما گرانش اجازه نمی‌داد کهکشان‌ها زیادی از هم دور شوند. انبساط دنیای ما لحظه به لحظه کاهش می‌یافت و حتی ممکن بود روزی متوقف شده و انقباض رخ دهد. اما در سال ۱۹۹۸ اتفاقی افتاد که همه را انگشت به دهان گذاشت.

در آن سال دو تیم مستقل از اختر فیزیک‌دانان تصمیم گرفتند هریک با تلسکوپ‌های قدرتمند خود دوباره مقدار انبساط جهان را اندازه بگیرند. نتیجه حیرت انگیز بود. آن‌ها متوجه شدند انبساط فضا نه تنها کند نمی‌شود بلکه شتاب نیز می‌گیرد. کهکشان‌ها از هم دور می‌شدند و مثل اتومبیلی که پدال گازش را هر لحظه بیش‌تر فشار دهیم شتاب می‌گرفتند و لحظه به لحظه سرعت دور شدنشان بیش‌تر و بیش‌تر می‌شد. این کشف جایزهٔ نوبل فیزیک را برای کاشفان ان به ارمغان آورد و دیدگاه دانشمندان را دربارهٔ سرنوشت کیهان تغییر داد. بیچاره اینیشتین راست می‌گفت. اینیشتین سال‌ها قبل از کشف هابل به جهانی ایستا باور داشت. وی نیز مثل نیوتون فکر

www.takbook.com

می‌کرد که تمام کهکشان‌ها ثابت‌اند و از هم دور یا به هم نزدیک نمی‌شوند. او وقتی معادلات خود را دربارهٔ جهان می‌نوشت متوجه شد که بر اساس فرمول‌ها نیروی گرانش نمی‌گذارد جهان ثابت بماند و سعی می‌کند کهکشان‌ها را به سمت هم بکشد و باعث انقباض جهان شود. او مجبور شد برای این‌که گرانش کهکشان‌ها را به هم نکوبد نیرویی فرضی به نام لامبدا را وارد معادلات کند. لامبدا چیزی نامرئی در دل فضا بود و برعکس گرانش نیروی دافعه ایجاد می‌کرد و جلوی گرانش را می‌گرفت و نمی‌گذاشت جهان منقبض شود. او فکر می‌کرد که این نیروی مخفی در فضا (لامبدا) جلوی گرانش را می‌گیرد و کهکشان‌ها ثابت می‌مانند و حرکت نمی‌کنند بنابراین مقدار لامبدا را طوری تعیین کرد که نیروی دافعهٔ لامبدا دقیقاً برابر و مخالف جاذبهٔ گرانش باشد تا بتواند اثر گرانش را خنثی کند و جهان در تعادل بماند. بعد از سال‌ها وقتی‌هابل انبساط جهان را کشف کرد بیچاره اینیشتین فکر کرد که چنین نیروی مرموزی در فضا وجود ندارد و لامبدا اشتباه بوده است بنابراین ان را از معادلاتش حذف کرد. او فکر می‌کرد که کهکشان‌ها از لحظهٔ بیگ‌بنگ مثل سنگی که به بالا پرتاب کرده باشد در حال دور شدن هستند ولی کم کم با گذر زمان مثل همان سنگ سرعتشان کم و کم‌تر می‌شود و در نهایت شاید بایستند و دوباره به‌صورت برعکس به سمت هم سقوط کنند. وی در سال ۱۹۵۵ به رحمت خدا رفت و ۴۳ سال از زمان مرگش سپری شد تا این‌که دانشمندان فهمیدند که بیچاره اینیشتین درست می‌گفت. در سال ۱۹۹۸ اخترشناسان متوجه شدند که

www.takbook.com

کهکشان‌ها نه تنها از هم دور می‌شوند بلکه هر ثانیه شتاب می‌گیرند و سرعتشان را بیش‌تر می‌کنند. آن‌ها می‌دانستند که اگر بیگ‌بنگ کهکشان‌ها را مثل سنگ به بالا پرتاب کرده باشد بایستی هر لحظه سرعتشان کم و کم‌تر شود ولی در کمال تعجب دیدند که جهان مثل اتومبیلی که گازش را می‌گیریم با سرعت بیش‌تری در حال شتاب گرفتن است. این مثل آن است که ما سنگی را با سرعت به بالا پرتاب می‌کنیم و در کمال تعجب می‌بینیم که نه تنها سرعت سنگ کم نشد و نه ایستاد بلکه شتاب گرفت و هر لحظه سرعتش بیش‌تر و بیش‌تر شد و به فضا رفت. پس یک جای کار می‌لنگید. باید نیروی مرموزی در فضا وجود داشته باشد تا بتواند کهکشان‌ها را هر لحظه با شتاب بیش‌تر و بیش‌تری از هم دور کند و باعث انبساط شتاب‌دار فضا شود. بنابراین فیزیک‌دانان دوباره لامبدا را وارد معادلات اینیشتین کردند اما این بار نیروی دافعهٔ لامبدا خیلی قوی‌تر از نیروی جاذبهٔ گرانش بود و بر آن پیروز شده بود.

انرژی تاریک

لامبدا اکنون به انرژی تاریک معروف است. نیروی ناشناخته و حیرت‌انگیزی که ضد گرانش است و در همه جای فضا از اتاقتان گرفته تا فضای بین کهکشان‌ها را پر کرده و دافعه ایجاد می‌کند و سعی دارد هر چیزی را از هم دور کند. انرژی تاریک یکی از بزرگ‌ترین معماهای علم امروز است تقریباً هیچ چیزی درباره‌اش نمی‌دانیم. تنها می‌دانیم با این‌که

www.takbook.com

نامرئی است اما ۷۰ درصد فضای جهانمان را پر کرده و چگالی‌اش با انبساط فضا کم نمی‌شود و هم‌چنان تغییر نمی‌کند. به عبارت دیگر فضا هر لحظه بزرگ و بزرگ‌تر می‌شود و به همراه فضا انرژی تاریک نیز بوجود می‌آید. برای درک بهتر یک کپسول پیکنیک را در نظر بگیرید که یک کیلوگرم گاز را در خود نگه داشته است. مولکول‌های گاز به یکدیگر و دیوارهٔ کپسول فشار وارد می‌کنند و سعی دارند کپسول را منبسط کنند. در همین حال اگر اندازهٔ کپسول را دوبرابر کنیم. حجم کپسول بیش‌تر می‌شود اما مقدار گاز همان یک کیلوگرم است. در نتیجه چگالی گاز کم می‌شود و مولکول‌ها به دیوارهٔ کپسول فشار کم‌تری وارد می‌کنند. حال اگر حجم کپسول را به اندازهٔ یک ساختمان ۲۰ طبقه کنیم آن‌وقت چگالی گاز داخل کپسول آن‌قدر کم می‌شود که دیگر مولکول‌های گاز به دیوارهٔ کپسول فشار وارد نمی‌کنند و یا فشارشان به قدری ناچیز است که احساس نمی‌شود. اما انرژی تاریک در مقایسه با گاز رفتار متفاوتی دارد. در واقع چگالی یا غلظت انرژی تاریک با افزایش حجم کم نمی‌شود و همواره ثابت می‌ماند. مثلاً اگر به جای یک کیلو گاز یک کیلو انرژی تاریک را وارد کپسول کنیم. انرژی تاریک نیز مثل گاز به دیوارهٔ کپسول فشار زیادی وارد می‌کند. حال اگر اندازهٔ کپسول را چهار برابر کنیم به طرز معجزه‌آسایی مقدار انرژی تاریک نیز چهار برابر می‌شود و از یک کیلو به چهار کیلو می‌رسد. یعنی غلظت انرژی تاریک کم نمی‌شود و دوباره همان فشار قبلی را به دیواره کپسول وارد می‌کند. حالا اگر کپسول را به اندازهٔ کرهٔ زمین بزرگ کنیم

www.takbook.com

مقدار انرژی تاریک نیز به همان نسبت بیش‌تر می‌شود و باز همان فشار قبلی را به دیواره وارد می‌کند.

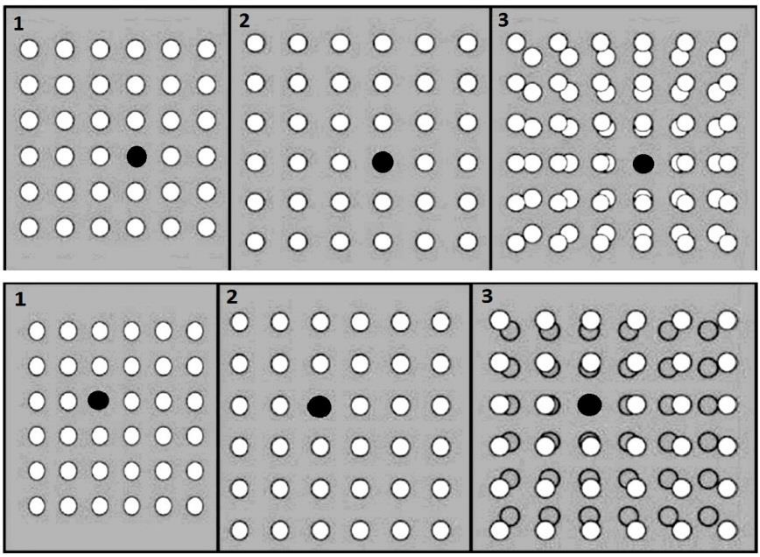
چگالی گاز با بزرگ شدن کپسول کاهش می‌یابد و رقیق‌تر می‌شود. اما چگالی انرژی تاریک با بزرگ شدن حجم کپسول تغییری نمی‌کند. به عبارت دیگر مقدار انرژی تاریک با بزرگ شدن کپسول بیش‌تر می‌شود.

دانشمندان اکنون به این نتیجهٔ حیرت‌آور رسیده‌اند که هر بار که فضای جدیدی به وجود می‌آید همراه آن انرژی تاریک نیز از هیچ بوجود می‌آید و آن فضا را پر می‌کند بنابراین با انبساط کیهان مقدار انرژی تاریک بیش‌تر و بیش‌تر می‌شود. این موضوع باعث می‌شود گرانش مغلوب شود. در واقع با انبساط فضا فاصلهٔ کهکشان‌ها رفته رفته بیش‌تر می‌شوند. وقتی فاصله‌ها زیاد می‌شوند گرانش روز به روز ضعیف و ضعیف‌تر می‌شود. ولی انرژی تاریک که وظیفه‌اش دافعه است با بزرگ شدن فضا از ناکجا خلق می‌شود و فضای جدید را پر می‌کند و همان قدرت دافعهٔ قبلی‌اش را خواهد داشت. گرانش و انرژی تاریک از

www.takbook.com

زمان مهبانگ در حال مچ‌اندازی باهم بودند و هریک می‌خواست دیگری را مغلوب کند. در ابتدا کهکشان‌ها به هم نزدیک بودند و گرانش قدرت زیادی داشت اما با بیش‌تر شدن فاصله‌ها نیروی گرانش بین شان رفته رفته ضعیف‌تر شد و انرژی تاریک بر او پیروز شد. اکنون رانندهٔ کیهان هر لحظه پایش را بیش‌تر روی پدال گاز می‌فشارد و کهکشان‌ها هر لحظه با شتاب بیش‌تری از هم فاصله می‌گیرند. وقتی می‌گوییم کهکشان‌ها از هم دور می‌شوند به این معنا نیست که فضا به‌صورت ثابت در جای خود ایستاده و این کهکشان‌ها هستند که مثل موشک‌هایی در فضا پرواز می‌کنند و از هم دور می‌شوند. بلکه در حقیقت فضا مثل پردهٔ کشسانی است و کهکشان‌ها مثل دکمه‌هایی هستند که روی این پرده چسبانده‌ایم. انرژی تاریک در تار و پود این پردهٔ کشسان پنهان شده و باعث می‌شود فضا خود به خود کش بیاید و لحظه به لحظه کشیده‌تر گردد. بنابراین هر لحظه در دنیای ما فضا مقداری کشیده‌تر و بزرگ‌تر می‌شود و درون این فضای جدید انرژی تاریک جدیدی از هیچ زاده می‌شود. پس کسی که روی یکی از دکمه‌ها بنشیند خیال می‌کند در وسط پرده نشسته و همهٔ دکمه‌ها از او دور می‌شوند درحالی‌که اگر از بالا و همه جانبه نگاه کنیم می‌بینیم که پرده کش می‌آید و همهٔ دکمه‌ها از هم فاصله می‌گیرند.

www.takbook.com



در شکل بالا اگر مورچه‌ای در نقطهٔ سیاه بایستد فکر می‌کند همهٔ نقاط از او دور می‌شوند در حالی که اگر همان مورچه در شکل پایین در نقطهٔ دیگری بایستد باز همان احساس را خواهد داشت.

انرژی تاریک آن‌قدرها هم قوی نیست

انرژی تاریک در همه جای بدنمان، اتاقمان، داخل منظومه شمسی، بین ستارگان و کهکشان‌ها را فرا گرفته است. این انرژی نیرویی دفع کننده دارد و کارش کشیدن فضا و دور کردن اجسام از یکدیگر است ولی تنها در مقیاس‌های بسیار بزرگ و فواصل بسیار دور اثرگذار است و در فواصل کوتاه کاری از دستش بر نمی‌آید. یعنی نمی‌تواند دو جسمی را که در فاصلهٔ چند متری هم هستند از هم دور کند ولی می‌تواند دو کهکشان که

www.takbook.com

در فاصلهٔ یک میلیارد سال نوری هم قرار گرفته‌اند را با سرعتی نزدیک به سرعت نور از هم جدا کند. برای مثال نمی‌تواند اتم به اتم بدن ما را از هم جدا کند چون اتم‌های ما توسط نیروی بسیار قوی الکترومغناطیس به هم چسبیده‌اند که این نیرو $۱۰^{۱۲۰}$ بار از انرژی تاریک قوی‌تر است. حال فاصله‌ها را مقداری زیاد می‌کنیم مثلاً سیارهٔ نپتون ۴.۵ میلیارد کیلومتر از خورشید دور است اما این فاصله نیز برای اثرگذاری انرژی تاریک کم است. به عبارتی انرژی تاریک نمی‌تواند بین نپتون و خورشید جدایی بیندازد چون نیروی گرانش بین خورشید و سیارات در منظومهٔ شمسی ۶۰ میلیون مرتبه از دافعهٔ انرژی تاریک قوی‌تر است به همین دلیل خورشید سیارات را در دام خود اسیر کرده است. باز هم فاصله را زیادتر می‌کنیم. ۴۰۰ میلیارد ستاره در کهکشان راه شیری وجود دارند و هریک به‌طور متوسط ۴ سال نوری از هم فاصله دارند. مثلاً خورشید از پروکسیما قنطورس که نزدیک‌ترین ستاره به ماست ۴۰ تریلیون کیلومتر (۴ سال نوری) فاصله دارد. اما یادتان باشد که در مرکز راه شیری سیاه‌چاله‌ای بسیار پرجرم خوابیده است و تمام این ۴۰۰ میلیارد ستاره را اطراف خود نگه داشته است. تخمین زده می‌شود که قدرت نیروی جاذبهٔ بین ستارگان راه شیری ۱۰ به توان ۲۲ مرتبه از دافعه انرژی تاریک قوی‌تر باشد. پس هیچ‌وقت گرانش اجازه نمی‌دهد یک کهکشان توسط انرژی تاریک از هم گسیخته شود. شاید فکر کنید که همهٔ کهکشان‌ها مثل کهکشان خود ما در حال فاصله گرفتن از بقیه‌اند. درحالی‌که این‌طور نیست. در واقع ۵۰ کهکشان در

www.takbook.com

همسایگی کهکشان ما وجود دارند که نیروی گرانش همهٔ آن‌ها را کنار هم نگه داشته است و به خوشهٔ محلی معروف‌اند. این کهکشان‌ها به‌طور پیوسته بر هم نیروی جاذبه وارد می‌کنند و به‌طور پیچیده‌ای به دور یکدیگر حرکت می‌کنند و هر از گاهی ممکن است به هم برخورد کنند. مثلاً یکی از این‌ها کهکشان آندرومدا است که با سرعت ۱۲۰ کیلومتر در ثانیه به سمت راه شیری می‌آید و در آینده به ما برخورد خواهد کرد. قطر خوشهٔ محلی بیش‌تر از یک میلیون سال نوری است. این فاصلهٔ بزرگی است ولی با این وجود باز هم نیروی جاذبهٔ گرانش بر انرژی تاریک پیروز شده است و نمی‌گذارد کهکشان‌های خوشهٔ محلی از یکدیگر فاصله بگیرند. اما این آخرین حد قدرت گرانش بود. در فاصله‌هایی بیش‌تر از این یعنی در فاصله‌های بین خوشه‌ها فاصله آن‌قدر زیاد می‌شود که گرانش نمی‌تواند از پس انرژی تاریک بر آید. انرژی تاریک با افزایش فاصله‌ها افسار گسیخته‌تر می‌شود و کسی جلودارش نیست. مسافت بین خوشه‌های کهکشانی بیش از حد زیاد است و می‌تواند چند صد میلیون تا چند میلیارد سال نوری فاصله داشته باشند. این‌جاست که انرژی تاریک به صحنه می‌آید و مانند غولی فضا را می‌کشد و باعث انبساط کیهان می‌شود.

نسبیت عام

زمانی نیوتون فضا را مطلق و ثابت فرض می‌کرد. یعنی فضای خلأ مثل صحنه نمایش تئاتر و پس زمینه‌ای بدون تغییر است که ستارگان در آن

www.takbook.com

بازی می‌کنند ولی در خود فضا تغییری ایجاد نمی‌کنند. همچنین وی فکر می‌کرد که نیروی گرانش نیرویی نامرئی است که از جسمی به جسم دیگر وارد می‌شود و آن دو را به سمت هم می‌کشد. این همان تصوری است که ما دربارهٔ فضا داریم. ما فضا را مثل رویهٔ یک میز سخت و ثابت می‌پنداریم که ستارگان و سیارات مثل تیله‌هایی روی آن حرکت می‌کنند و به هم دیگر نیروی جاذبه نامرئی وارد می‌کنند. اما اینیشتین نظر دیگری داشت. او نشان داد که فضا تنها نیست بلکه فضا با زمان در هم آمیخته و مثل تارو و پود یک فرش بافتی به نام فضا زمان را ایجاد کرده‌اند. از نگاه وی فضا زمان مثل صفحهٔ پلاستیکی کشسانی است که همهٔ اجرام آسمانی از ستارگان گرفته تا سیارات مثل تیله‌هایی روی آن شناورند و بسته به جرمی که دارند روی بافت فضا زمان یک خمیدگی یا فرورفتگی ایجاد می‌کنند. هرچقدر ستاره‌ای پر جرم‌تر باشد روی این صفحهٔ کشسان فرو رفتگی بزرگ و عمیق‌تری ایجاد می‌کند و هرچه جرمی سبک‌تر باشد گودی ناشی از آن نیز کم‌تر خواهد بود. او به این نتیجه رسید که نیروی گرانش بر طبق آن‌چه نیوتون می‌گفت نیرویی نامرئی نیست بلکه این خمیدگی‌های فضا زمان است که باعث ایجاد جاذبه می‌شوند. برای درک بهتر فرض کنید که تیله‌ای یک کیلویی را بر روی پارچه‌ای کشسان قرار داده‌ایم. این تیله مقداری در صفحهٔ پلاستیکی فرو می‌رود و یک فرورفتگی ایجاد می‌کند حالا یک تیلهٔ سبک صد گرمی را کنار آن رها کنید. خواهید دید که تیلهٔ سبک به سمت تیلهٔ سنگین کشیده می‌شود انگار که آن را جذب می‌کند. همین موضوع

www.takbook.com

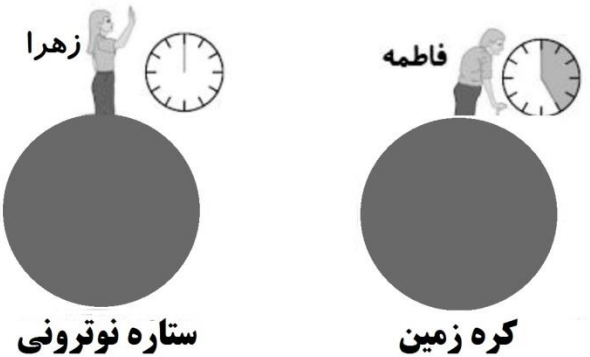
برای فضا زمان نیز صادق است. در واقع خورشید به عنوان تیله‌ای سنگین روی فضا زمان یک گودی بزرگ ایجاد کرده است. حالا ۸ تیلهٔ سبک که همان سیاره‌ها هستند در جهت شیب آن خمیدگی به گرد تیلهٔ سنگین (خورشید) حرکت می‌کنند و این‌طور به نظر می‌رسد که تیلهٔ سنگین (خورشید) می‌خواهد آن‌ها را به سمت خود بکشد. بنابراین هرچه ستاره‌ای پرجرم‌تر باشد گودی ایجاد شده در فضا زمان عمیقتر و شیب آن تندتر خواهد بود. بنابراین هر چیزی که به محدودهٔ این چاله وارد شود با شدت بیش‌تری به سمت آن می‌لغزد در این حالت می‌گوییم جاذبهٔ آن ستاره قوی‌تر است و فکر می‌کنیم با قدرت جاذبهٔ قوی‌تری اجسام را به سمت خود جذب می‌کند. شاید بپرسید که چرا سیاراتی مثل زمین به سمت مرکز گودال خورشید نمی‌روند و روی خورشید سقوط نمی‌کنند. در واقع زمین و بقیهٔ سیارات دوست دارند به سمت گودال خورشید بلغزند و روی آن سقوط کنند اما این اتفاق نمی‌افتد چون وقتی سیاره‌ای به دور خورشید می‌گردد نیروی گریز از مرکزی ایجاد می‌شود که سعی دارد سیاره را از گودی ستاره (جاذبه) دور کند و آن را به اطراف پرتاب کند. بنابراین نیروی گریز از مرکز زمین نیروی گرانش خورشید را خنثی می‌کند و این باعث می‌شود زمین نه به خورشید نزدیک شود و نه از آن دور شده و به فضا پرت شود بلکه در مداری معین دور آن بگردد. پیشتر گفتیم که منظور ما از فضازمان تنها فضای خالی خلأ نیست بلکه زمان را هم شامل می‌شود. به این صورت که اگر فضا دارای سه بعد طول و عرض و ارتفاع باشد

www.takbook.com

آن‌وقت زمان نیز به آن‌ها اضافه می‌شود و بعد چهارم آن حساب می‌شود. پس فضا زمان دارای چهار بعد طول عرض ارتفاع و زمان خواهد بود. جرمی مثل یک ستاره یا سیاره نه تنها بر بافت فضا اثر می‌گذارد و باعث خمیده شدن آن می‌شود بلکه باعث خمیدگی و فرورفتگی زمان نیز می‌شود. شاید بپرسید که خمیدگی زمان به چه معناست؟ وقتی زمان خمیده می‌شود چه اتفاقی می‌افتد؟ باید گفت که خمیدگی زمان باعث کند شدن سرعت گذر زمان می‌شود. در واقع زمان کمیتی ثابت و مطلق نیست و در همه جا به یک شکل نمی‌گذرد. سرعت گذر زمان در نقاط مختلف فضا یکسان نیست و به میزان خمیده بودن بافت فضا زمان ربط دارد. هرجا که جرم سنگین‌تری وجود داشته باشد فضا زمان را بیش‌تر خمیده می‌کند و این باعث می‌شود زمان در آن منطقه کندتر از مناطق دیگر سپری شود. از طرفی هرجا که جرم سبکی وجود داشته باشد و یا اصلاً جرمی نباشد انحنای فضا زمان در آن‌جا جزئی یا صفر بوده و در نتیجه زمان در آن جا نسبت به قبل سریع‌تر می‌گذرد. برای مثال فرض کنید دو خواهر دو قلو به نام‌های فاطمه و زهرا داریم. فاطمه روی زمین می‌ماند و زهرا به یک ستاره نوترونی می‌رود و در آن‌جا ساکن می‌شود. از آن‌جایی که ستاره نوترونی جرم و چگالی بسیار بیش‌تری نسبت به کره زمین دارد، بنابراین نه تنها فضا بلکه زمان اطراف خود را نیز به شدت خمیده می‌کند و باعث می‌گردد زمان در آن‌جا نسبت به زمین کندتر سپری شود. در نتیجه اگر این دو خواهر دوقلو بعد از ده سال یکدیگر را ملاقات کنند خواهیم دید که زهرا جوان‌تر از

www.takbook.com

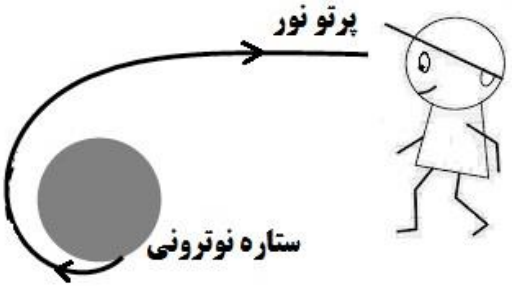
فاطمه است. چون زمان برای زهرا خیلی کندتر از فاطمه گذشته است. برای مثال به ازای هریک سالی که برای فاطمه گذشته، این مدت برای زهرا فقط یک ماه سپری شده است. بنابراین اگر فاطمه ده سال پیرتر شده باشد زهرا فقط ده ماه پیرتر شده است.



ستاره‌های نوترونی یکی از پرچگال‌ترین اجرام کیهان ما هستند. این ستارگان عمدتا از نوترون تشکیل شده‌اند و بیش از حد فشرده‌اند. با این‌که حجم کوچکی در حد یک شهر کوچک دارند اما جرمشان به شدت زیاد (در حد ۱ تا ۲ برابر خورشید) است. این اجرام فضا زمان اطراف خود را به شدت خمیده می‌کنند و گرانش شان به قدری قوی است که می‌توانند بر پرتوهای نور نیز اثر بگذارند و مسیرشان را منحرف کنند. به‌طوری‌که اگر به یک ستاره نوترونی نگاه کنیم می‌توانیم پشت آن را ببینیم. این ستاره‌ها طبق نسبیت عام اینیشتین خمیدگی به شدت بزرگ و عمیقی در فضا زمان ایجاد می‌کنند و میدان جاذبه بسیار قدرتمندی ایجاد می‌کنند که اگر چیزی در آن

www.takbook.com

محدوده قرار بگیرد به سمت خود جذب می‌کنند و آن جسم را مثل یک کاغذ بر روی سطح خود می‌چسبانند.



چنان‌که گفتیم این ستاره‌ها نه تنها باعث خمش فضا می‌شوند بلکه زمان را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند و باعث خمیدگی آن می‌شوند. اگر انسانی روی ستارهٔ نوترونی فرود آید و به شرطی که کشته نشود سرعت گذر زمان برای او نسبت به افراد ساکن زمین کندتر سپری می‌شود. مثلاً به ازای ۵ دقیقه‌ای که آن فرد روی ستاره نوترونی سپری می‌کند ساکنان زمین این مدت را یک ساعت احساس می‌کنند. اگر فردی یک سال بر روی ستارهٔ نوترونی زندگی کند وقتی به زمین بر گردد متوجه می‌شود که برای ساکنین زمین ۱۲ سال سپری شده است.

سرنوشت جهان

الکساندر فریدمان فیزیک‌دان روسی وقتی معادلات نسبیت عام اینیشتین مطالعه می‌کرد به نتیجه‌گیری مهمی رسید. او فهمید که طبق نظریه اینیشتین

www.takbook.com

اجرام آسمانی بر شکل فضا زمان اثر می‌گذارند و باعث خمیدگی آن می‌شوند. حال سؤال بزرگ‌تری در ذهن او شکل گرفته بود. وی از خود پرسید تمامی این صدها تریلیون کهکشانی که در جهان ما وجود دارند به‌طور کلی چه تاثیری بر کل بافت فضا زمان و سرنوشت کیهان دارند؟ آیا آن‌ها نیز باعث خمیدگی فضا زمان کل کیهان می‌شوند یا نه؟

جهان بسته و خردش بزرگ

فریدمان فهمید که اگر غلظت جهان از یک حد معین بیش‌تر باشد بر روی خودش فرو می‌ریزد و نابود می‌شود. در واقع همهٔ مواد موجود در جهان از کهکشان‌ها گرفته تا ستارگان روی هم رفته چگالی معینی دارند. اگر این چگالی بیش از حد بزرگ باشد انبساط آن متوقف شده و انقباض شروع می‌شود. در این جهان هرچند انرژی تاریک باعث انبساط کیهان می‌شود اما مدتی طول نمی‌کشد که گرانش بر انبساط غلبه می‌کند و نمی‌گذارد کهکشان‌ها از هم فاصله بگیرند. نیروی جاذبه کم‌کم کهکشان‌ها را به سمت همدیگر جذب و نزدیک‌تر می‌کند و آن‌قدر این کار را ادامه می‌دهد تا تمام کهکشان‌ها و کل جهان روی هم سقوط کنند و در نهایت در یک نقطهٔ بی‌نهایت چگال و داغ و متراکم (تکینگی) جمع شوند. درست مثل حالتی که در ابتدای مهبانگ بود. به این حالت خردش عظیم (بیگ کرانچ) گفته می‌شود.

www.takbook.com

جهان تخت و انجماد بزرگ

بر طبق معادلات فریدمان اگر چگالی جهان بیش از حد کم یا بیش از حد زیاد نباشد نیروی گرانش سرعت انبساط جهان را کند و کندتر می‌کند ولی نمی‌تواند به کلی آن را متوقف کند. با این‌که کهکشان‌ها از هم دور می‌شوند ولی سرعت دورشدنشان هر لحظه آرام و آرام‌تر می‌شود اما این انبساط آرام تا ابد ادامه می‌یابد. در این حالت کهکشان‌ها کم کم از هم فاصله می‌گیرند و جهان به یک جای سرد و تاریک و بی‌جان تبدیل خواهد شد. امروزه شواهد بدست آمده نشان می‌دهند که جهان ما به احتمال زیاد یک جهان تخت است و در آینده‌هایی بسیار دور، سرنوشتی شبیه به انجماد بزرگ در انتظارمان است.

در این سناریو با گذشت میلیاردها سال خورشید و دیگر ستارگان تمام سوخت هسته‌ای خود را مصرف می‌کنند و در نهایت به کوتوله‌های سفید، ستارگان نوترونی و سیاه‌چاله‌ها تبدیل می‌شوند. هیچ ستاره‌ای متولد نمی‌شود. خورشید خاموش شده و به یک کوتولهٔ سفید تبدیل می‌شود زمین یخ می‌زند و نسل بشر تا آن موقع منقرض می‌گردد اما اگر موجودی هم در کهکشان راه شیری زنده بماند و با تلسکوپ قدرتمند خود به آسمان بنگرد دیگر اثری از کهکشان‌ها نخواهد دید و تاریکی مطلق بر همه‌جا حاکم می‌شود. حتی اجساد ستارگان نیز در امان نخواهند بود. مثلاً کوتوله‌های سفید و ستارگان نوترونی بعد از زمانی بسیار طولانی در حدود یک میلیون میلیارد سال تمام انرژی خود را از دست می‌دهند و به کوتوله‌های سیاه

www.takbook.com

تبدیل می‌شوند. این اجرام هیچ انرژی ساطع نمی‌کنند و کاملاً تاریک و سرد می‌شوند. همچنین سیاه‌چاله‌ها نیز در مدت زمانی بسیار طولانی (۱۰ به توان ۱۰۰ سال) تبخیر می‌شوند. دمای فضا به صفر مطلق نزدیک می‌شود و تنها ذرات بنیادی (الکترون، کوارک، گلوئون و ...) پراکنده در فضای تهی و سرد باقی می‌مانند.

جهان باز و گسست بزرگ

گسست بزرگ یکی دیگر از سناریوهای عجیب و ترسناک برای پایان جهان است که در آن انرژی تاریک به قدری قدرتمند می‌شود که همهٔ ساختارهای فیزیکی از کهکشان‌ها و ستارگان گرفته تا سیارات و حتی اتم‌ها را از هم جدا کرده و جهان به‌طور کامل از بین خواهد رفت. در حال حاضر انرژی تاریک باعث انبساط شتابدار جهان می‌شود اما ممکن است زمانی در آینده (۲۲ میلیارد سال بعد) به دلایلی نامعلوم چگالی انرژی تاریک و مقدار آن به یکباره افزایش یابد. در این حالت نیروی دافعهٔ آن به حدی زیاد می‌شود که نیروی گرانش هیچ شانسی در مقابلش نخواهد داشت. طی چند میلیارد سال کهکشان‌ها از هم دور می‌شوند و از دیدمان خارج می‌شوند جوری که اگر به فضا بنگریم غیر از تاریکی و سکوت چیزی نمی‌بینیم. چند صد میلیون سال بعد انرژی تاریک به قدری قوی می‌شود که کهکشان‌ها را نیز تجزیه کرده و ستاره‌های داخل کهکشان‌ها را از هم جدا می‌کند. بعد از چند ماه گرانش نمی‌تواند سیارات را در مدار ستاره‌ها نگه

www.takbook.com

دارد بنابراین سیاره‌ها از مدار ستارگان خارج می‌شوند. مثلاً زمین و ۷ سیارهٔ منظومهٔ شمسی از خورشید فاصله می‌گیرند و به‌صورت سرگردان به فضا پرتاب می‌شوند. بعد از چند هفته سیارات و ستارگان نیز متلاشی می‌شوند و به مولکول‌ها و اتم‌های سازندهٔ خود تبدیل می‌شوند. بعد از چند دقیقه انرژی تاریک به حدی افسار گسیخته می‌شود که نیروی الکترومغناطیس و نیروی قوی هسته‌ای نیز در برابرش عاجز می‌شوند. اتم‌ها از هم متلاشی می‌شوند و به الکترون‌ها پروتون‌ها و نوترون‌ها تجزیه می‌شوند. در آخرین لحظات پروتون‌ها و نوترون‌ها نیز به ذرات سازندهٔ خود یعنی کوارک‌ها تجزیه می‌شوند و در نهایت خود فضا زمان متلاشی می‌شود.

مهبانگ کلاسیک (اتم اولیه)

در سال ۱۹۲۹ ادوین هابل با بزرگ‌ترین تلسکوپ آن زمان به همگان ثابت کرد که تمام کهکشان‌ها در حال دور شدن از یکدیگرند و جهان در حال انبساط است. جرج لومتر فیزیک‌دان و کشیشی بلژیکی بود که با کشف هابل به وجد آمد و با کمک معادلات ریاضی اینیشتین این احتمال را مطرح ساخت که اگر همهٔ کهکشان‌ها در حال فاصله گرفتن از هم باشند پس اگر می‌توانستیم در جهت عکس به گذشته بر گردیم همهٔ این‌ها به یک نقطهٔ مشترک می‌رسیدند و تمام جهان به یک نقطهٔ بی‌نهایت کوچک، چگال و داغ فشرده شده بود. لومتر این نقطه را اتم اولیه نامید و معتقد بود که زمانی در گذشته تمام ماده و انرژی کیهان در این نقطهٔ ریز متمرکز شده بودند.

www.takbook.com

سپس این نقطه در یک لحظه با سرعت سرسام‌آور شروع به گسترش کرد و جهان را به شکلی که امروزه در حال انبساط است درآورد. زمانی که لومتر این پیشنهاد را مطرح کرد بسیاری از دانشمندان این ایده را غیرمنطقی دانستند و حتی آن را مسخره کردند. بسیاری از فیزیک‌دانان زمان او هم‌چون اینیشتین و فرد هویل به نظریه جهان ایستا معتقد بودند. این نظریه بر خلاف گفته لومتر ادعا می‌کرد جهان آغازی نداشته و پایانی هم نخواهد داشت و همیشه همین‌طور بوده و همین‌طور نیز خواهد ماند.

لومتر علاوه بر این‌که یک فیزیک‌دان بود یک کشیش کاتولیک نیز بود و همین قضیه باعث می‌شد برخی فکر کنند که نظریهٔ او بیش‌تر از این‌که یک مدل علمی باشد به داستان‌های مذهبی دربارهٔ آفرینش جهان شباهت دارد. لومتر وقتی مقاله‌اش را به اینیشتین فرستاد و ایده‌اش را به اینشتین توضیح داد؛ اینیشتین به طعنه گفت: [محاسبات ریاضی شما درست است اما فیزیکتان افتضاح است]

تمسخر ایدهٔ لومتر بین فیزیک‌دانان تا حدی پیشرفت کرده بود که یک روز فیزیک‌دان برجستهٔ بریتانیایی به نام فرد هویل که به نظریه جهان ایستا اعتقاد داشت در یک برنامهٔ رادیویی بی‌بی‌سی حضور یافت و این فرضیه که تمام جهان از یک نقطهٔ کوچک شروع شده است را به باد تمسخر گرفت و گفت: [این ایده که جهان از یک انفجار بزرگ آغاز شده باشد مضحک است]. فرد هویل واژهٔ انفجار بزرگ یا همان بیگ‌بنگ را عمدا و از روی تمسخر ایدهٔ لومتر انتخاب کرده بود و

www.takbook.com

اعتقاد راسخ داشت که جهان به این بزرگی نمی‌تواند از یک نقطه کوچک‌تر از اتم شکل گرفته باشد. از آن روز به بعد واژهٔ بیگ‌بنگ که توسط فرد هویل و از روی تمسخر به فرضیه لومتر داده شده بود روی این نظریه ماند تا این‌که فیزیک‌دانی به نام جرج گاموف نظریه اتم اولیه لومتر را جدی گرفت و پیش‌بینی کرد که اگر بیگ‌بنگ واقعی باشد پس باید بقایای حرارتی آن به‌صورت تابش مایکروویو در همه جای فضا باقی مانده باشد. ۲۵ سال به همین منوال گذشت تا این‌که در سال ۱۹۶۵ دو دانشمند به نام‌های آرنو پنزیاس و رابرت ویلسون در حال کار بر روی یک آنتن رادیویی بزرگ در نیوجرسی بودند که به‌طور تصادفی متوجه یک نویز مزاحم شدند. آنتن آن‌ها یک نویز ضعیف اما دائمی دریافت می‌کرد که از هیچ منبع خاصی از روی زمین یا فضا نمی‌آمد. ایشان دهانهٔ آنتن خود را به هر جایی از فضا که می‌گرفتند این نویز دریافت می‌شد و شدت آن تغییر نمی‌کرد. آن‌ها برای چندین ماه سعی کردند دلیل این نویز را پیدا کنند. پزنزیاس و ویلسون ایرادات آنتن را برای چندین بار متوالی رفع کردند و تداخلات رادیویی که از شهرها و ماهواره‌ها می‌آمد را حذف نمودند و حتی فضلهٔ کبوترهای روی دیش آنتن را نیز پاک کردند ولی این نویز هم‌چنان وجود داشت و هر دو را کلافه کرده بود.

www.takbook.com

آنتن هورن هولمدل که در ابتدا برای ارتباطات رادیویی ساخته شده بود، تابش زمینه را کشف کرد.

آن‌ها تصمیم گرفتند با دانشمندان دیگر مشورت کنند و جریان این نویز مرموز را به ایشان بگویند. در آن زمان رابرت دیک یکی دیگر از افرادی بود که به همراه تیمش ماه‌ها در دانشگاه پرینستون روی نظریه بیگ‌بنگ کار کرده بود و تابش گرمایی باقی مانده از انفجار بزرگ را جست‌وجو می‌کرد. از قضا یک روز پنزیاس با دیک تماس گرفت و ماجرای نویز مزاحم که آن‌ها را کلافه کرده بود را به دوستش گفت. رابرت دیک از گفته‌های پنزیاس فورا متوجه شد که آن‌ها دقیقاً همان چیزی را پیدا کرده‌اند که نظریهٔ بیگ‌بنگ پیش‌بینی کرده بود. دیک بعد از قطع تماس به همکارانش نگاه کرد و گفت: [خب انگار که آن‌ها آن را پیدا کرده‌اند].

www.takbook.com

همان‌طور که گاموف پیش‌بینی کرده بود اگر واقعاً انفجاری در گذشته رخ داده باشد باید هنوز هم نشانه‌هایی از نور، تابش و امواج حاصل از آن انفجار وحشتناک در فضای اطرافمان باقی مانده بود. آنان پیش‌بینی کردند که انفجار بزرگ در حدود ۱۳.۷ میلیارد سال پیش رخ داده است پس نور حاصل از آن انفجار باید تا به حال چندین مرتبه جهان را دور زده و انرژی خود را از دست داده و به شکل تابش مایکروویو در آمده باشد. از قضا نویزی که پنزیاس و ویلسون کشف کرده بودند همان تابش پس زمینهٔ کیهانی بود که به شکل پرتوهای کم انرژی مایکروویو مثل فسیلی از دایناسوری باستانی بیگ‌بنگ در فضا دفن شده بود و سرانجام توسط آن دو کشف گردید و به‌ترتیب نظریه بیگ‌بنگ در بین دانشمندان پذیرفته شد.

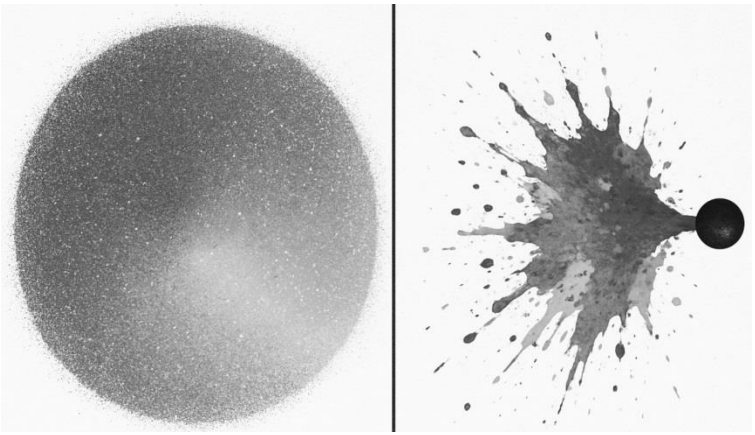
آلن گوث و مهبانگ مدرن

آلن گوث فیزیک‌دان مشهور آمریکایی هرچند نظریه بیگ‌بنگ یا انفجار بزرگ را درباره خلقت جهان پذیرفته بود اما مشکلی اساسی با آن داشت. گوث می‌دانست که جهان ما جهانی همگن است و تمام کهکشان‌ها، ماده و انرژی به‌طور یکنواخت در فضای کیهان پخش شده‌اند و همهٔ نقاط جهان از نظر تراکم مشابه یکدیگرند. تا آن موقع دانشمندان فکر می‌کردند که بیگ‌بنگ هم‌چون انفجار بزرگی بود که ماده را به اطراف پرتاب کرده است. اما سؤالی که فکر گوث را مشغول کرده بود این بود که چگونه یک انفجار می‌تواند مواد را تا این حد یکنواخت در فضا پخش کند؟ فرض

www.takbook.com

کنید بمبی را داخل توپی پر از رنگ قرار داده و سپس آن را روی یک کاغذ سفید منفجر می‌کنیم تا تمام رنگ را به اطراف پرتاب کند. گوث می‌دانست که در انفجار توپ این رنگ هیچ وقت به‌صورت یکنواخت روی کاغذ پخش نمی‌شود. در واقع بعد از انفجار برخی نقاط کاغذ پر از رنگ شده و برخی از نواحی کاغذ تنها چند نقطهٔ رنگی داشته و شاید هم کاملاً خالی و سفید باقی بمانند. پس اگر بیگ‌بنگ نیز مثل انفجارهای معمولی بود آن‌گاه ستارگان و کهکشان‌ها به‌صورت یکنواخت و همگن پخش نمی‌شدند. یعنی ممکن بود بعضی از نقاط فضا پر از ستاره و سیاره باشد و برخی از نواحی آن تا فواصل چند صد میلیون سال نوری خالی بوده و هیچ ستاره و کهکشانی در آن پیدا نشود. گوث متوجه شد که بیگ‌بنگ یک انفجار بزرگ درون یک فضای خالی نبود. در واقع او فهمید که قبل از بیگ‌بنگ هیچ فضایی وجود نداشت. یعنی خود فضای خالی در هنگام بیگ‌بنگ بوجود آمد و لحظه به لحظه انبساط یافت و بزرگ‌تر شد. بر طبق این تفسیر تمام دنیای ما به همراه تمام کهکشان‌ها و موادی که می‌بینیم درون بادکنک بسیار ریزی حتی کوچک‌تر از یک اتم بود که به یکباره با سرعت سرسام‌آوری شروع به انبساط کرد و بزرگ و بزرگ‌تر شد و به همین منوال موادی که داخل این بادکنک بودند نیز در اثر این انبساط از هم فاصله گرفتند و به‌صورت یکنواخت از هم دور شدند. اکنون همهٔ این ستارگان و کهکشان‌هایی که دور و برمان می‌بینیم روزگاری داخل آن بادکنک ریز چپانده شده بودند که با انبساط فضا فاصله گرفتند و از هم دور شدند.

www.takbook.com



سمت راست: یک انفجار معمولی رنگ را به شکل نامنظم پراکنده می‌کند.
سمت چپ: یک انبساط سریع می‌تواند رنگ را به‌صورت یکنواخت در همه جا پخش می‌کند.

آلن گوث فهمیده بود که بیگ‌بنگ نه یک انفجار بزرگ بلکه یک انبساط بزرگ بود اما هنوز یک سؤال اساسی باقی مانده بود و آن این‌که اگر قبل از بیگ‌بنگ مکان و زمان وجود نداشت پس علت خود بیگ‌بنگ چه بود و همهٔ این ماده و انرژی و کهکشان‌ها چگونه از هیچ بوجود آمدند و جهان ما را بوجود آوردند؟ اصلاً چه عاملی باعث بیگ‌بنگ و انبساط فضا شد؟

قبل از پاسخ به این سؤالات باید خلأ را بشناسیم و ببینیم یک فضای پر از هیچ چقدر می‌تواند خالی باشد.

www.takbook.com

خلأ

هر متر مکعب از فضای اطراف ما (اتمسفر) شامل میلیاردها اتم از گازهای نیتروژن و اکسیژن و بخار آب است. حال اگر از اتمسفر زمین خارج شده و به فضای خلأ برویم تقریباً هیچ ماده یا گازی در آن وجود ندارد و به زور می‌توان در هر متر مکعب آن یک اتم پیدا کرد. حال اگر آن اتم را نیز از فضا دور کنیم چیزی به‌جز هیچ‌چیز باقی نخواهد ماند. در فیزیک کلاسیک نیوتونی این خلأ به عنوان فضایی بدون ماده و خالی از هرگونه ذره تصور می‌شد. از دید نیوتون فضای خلأ مثل ظرفی خالی و ثابت و خالی از هر نوع تغییر و نیرویی بود. اما با روی کار آمدن فیزیک کوانتوم اوضاع تغییر یافت و معنای خلأ از آن‌چه در فیزیک کلاسیک تصور می‌شد فراتر رفت. دانشمندان پی بردند که فضای خلأ آن‌قدرها هم خالی نیست. خلأ در این دیدگاه نه یک فضای خالی و بی‌حرکت بلکه جایی پر از نوسانات کوانتومی و دریایی از ذرات مجازی است که به‌طور موقت بوجود می‌آیند و از بین می‌روند. در خلأ کوانتومی هیچ ماده‌ای وجود ندارد اما همین فضای به ظاهر خالی محیطی فعال و پویا است و پر از میدان‌های کوانتومی مثل میدان الکترومغناطیس و میدان گرانشی است که در جای جای آن پخش شده‌اند. برای تجسم بهتر فرض کنید فضا به عنوان اقیانوس بزرگی از آب است که در هر لحظه در سطح آن موج‌های ریزی بوجود می‌آیند و سپس از بین می‌روند. وقتی از دور نگاه می‌کنیم چیزی جز یک سطح صاف از آب دیده نمی‌شود ولی وقتی ریز می‌شویم و با ذره‌بین به سطح آب

www.takbook.com

(فضا) نگاه می‌کنیم متوجه می‌شویم در هر نقطه، موج‌های ریزی تولید می‌شوند و بلافاصله از بین می‌روند. در این تصور میدان‌های کوانتومی خلأ همان آب‌های این اقیانوس‌ها هستند و موج‌های ریز در حکم ذرات مجازی هستند که هر لحظه از هیچ بوجود می‌آیند و بلافاصله در کسری از ثانیه از بین می‌روند و این تلاطم آشفته در فضای خلأ هم‌چنان ادامه دارد.

فضا در مقیاس پلانک هم‌چون دریای خروشانی است که هرلحظه ذرات مجازی مثل موج‌هایی در سطح آن پدید می‌آیند و نابود می‌شوند.

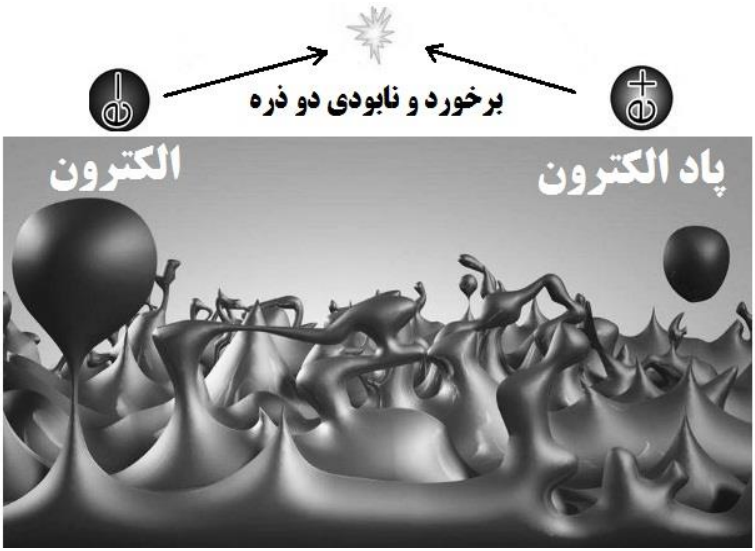
ذرات مجازی

قبل از ادامه باید بدانید که همهٔ ذرات جهان دارای دوقلویی دقیقاً شبیه به خود اما با بار مخالف‌اند (یا ویژگی‌های مخالف‌اند) و به آن‌ها پاد ذره گفته می‌شود. مثلاً الکترون یک ذره دارای بار منفی است که پاد ذرهٔ آن

www.takbook.com

پاد الکترون (پوزیترون) دارای بار مثبت است. همچنین پروتون یک ذره با بار مثبت است و پاد ذرهٔ آن یعنی پاد پروتون دقیقاً هم جرم و دوقلوی پروتون بوده و بار منفی دارد. ذرات مجازی که از دل خلأ بوجود می‌آیند، همیشه به دو شکل ذره و پاد ذره‌اند. این دو ذره ضد هم بوده و هرگاه با هم تماس پیدا کنند نابود شده و به انرژی خالص تبدیل می‌شوند. مثلاً اگر یک نوترون با یک پادنوترون برخورد کند هر دو نابود می‌شوند و تمام جرمشان طبق رابطه $MC2$ اینیشتین به انرژی تبدیل می‌شود. حال اگر یک کیلو آهن با یک کیلو پادآهن تماس یابد مثل یک بمب هسته‌ای بسیار قدرتمند منفجر می‌شوند و انرژی آزاد شده توسط آن‌ها ۳۰۰۰ برابر بمب اتمی هیروشیما خواهد قدرت داشت و این مقدار انرژی عظیم می‌تواند استان‌هایی مثل آذربایجان شرقی و غربی و اردبیل را یکجا از روی صحنهٔ روزگار حذف کند. خوشبختانه همهٔ مواد موجود در جهان ما از ستارگان گرفته تا غبارهای موجود در فضا از مادهٔ معمولی ساخته شده‌اند و دوقلوی پادذره‌ای کنارشان نیست. در واقع دانشمندان تا بحال هیچ پاد ستاره یا پادکهکشانی را در فضا ندیده‌اند که نگرانش باشیم همچنین پادذرات بسیار کم‌تری نیز نسبت به ذرات در طبیعت وجود دارند و آن هم در ذرات کیهانی یا در نواحی خاصی مانند سیاه‌چاله‌ها تولید شده و بلافاصله در تماس با ذرات مادهٔ معمولی نابود می‌شوند پس جای هیچ نگرانی نیست.

www.takbook.com



ذرات مجازی هم‌چون الکترون و پاد الکترون از دل خلأ پدید می‌آیند و بعد از برخورد به هم نابود می‌شوند.

اصل عدم قطعیت و ذرات مجازی

دیدیم که فضا اقیانوس متلاطمی از ذرات و پادذراتی است که به‌طور مداوم از دل فضای هیچ (در اتاقتان یا در فضای بین کهکشان‌ها) زاده می‌شوند و دوباره به هم برخورد کرده و در دل فضا محو می‌شوند. اما چگونه چنین چیزی ممکن است؟ آیا ممکن است چیزی از هیچ بوجود آید؟ آیا طبیعت با این کارش قانون پایستگی انرژی را نقض نمی‌کند؟

هر کسی که اندکی فیزیک بفهمد، می‌داند که قانون پایستگی انرژی یکی از مهمترین اصول اساسی دنیای ماست. طبق این قانون انرژی نه به

www.takbook.com

وجود می‌آید و نه از بین می‌رود بلکه فقط از حالتی به حالتی دیگر تبدیل می‌شود. از آن‌جایی که ماده نیز شکلی از انرژی است پس می‌توان گفت از یک فضای خالی خلأ هیچ ماده و ذره‌ای نمی‌تواند بوجود آید و همچنین اگر سعی کنید ماده‌ای هرچند کم مثل یک اتم هیدروژن را از بین ببرید موفق نخواهید شد چون قانون پایستگی انرژی چنین اجازه‌ای را به طبیعت و هیچ‌کس دیگری نمی‌دهد.

اما صبر کنید شاید قوانین دنیای کوانتوم اجازهٔ چنین کاری را بدهد. دنیای کوانتوم جزئی از جهان ماست و مجبور است اصل قانون پایستگی انرژی را رعایت کند با این حال قادر است به گونه‌ای این قانون را دور بزند و به شکلی معجزه آسا چیزی را از هیچ پدید آورد.

هایزنبرگ فهمید که اگر ریز شویم و به دنیای کوانتوم وارد شویم یک قانون مهم را باید رعایت کنیم و آن این که زمان و انرژی به‌طور هم‌زمان نمی‌توانند دقیقاً مشخص شوند. یعنی اگر زمان را دقیق بدانی آن‌وقت نمی‌توانی مقدار انرژی را هم‌زمان به‌صورت دقیق اندازه بگیری و برعکس اگر بدانی که دقیقاً چقدر انرژی داریم آن‌وقت نمی‌توانی بفهمی که چه مدت از زمان سپری شده است. حال دوباره به خلأ بر می‌گردیم فضای خلائی که اکنون در حالت عادی تجربه می‌کنیم یک محیط ساکت و آرام بخش و پر از هیچ است اما اگر بسیار ریز می‌شویم و به اعماق فضا در مقیاس کوانتوم که کوچک‌تر از یک هزارم قطر پروتون است برسیم فضا دیگر خالی نیست و مثل اقیانوس بسیار شلوغ و پر تلاطمی است که در آن

www.takbook.com

ذرات مجازی مثل موج‌ها به وجود می‌آیند و از سر و کول هم بالا می‌روند و سپس به هم برخورد کرده و محو می‌شوند. در واقع در این‌جا ماده می‌تواند از هیچ سر برآورد و دلیل آن هم مربوط به اصل عدم قطعیت هایزنبرگ است. برای درک بهتر یک مثال می‌زنم. فرض کنید فضای خالی خلأ مثل خزانهٔ یک بانک پر از پول است و کارمندی پشت میز نشسته است. شما پیش او می‌روید و می‌گویید: مقداری به من وام بدهید.

او گردش حسابتان را چک می‌کند و بیند که حتی یک هزار تومان هم سپرده ندارید.

او به شما می‌گوید: می‌دانید که حسابتان خالیست و طبق قانون پایستگی حساب من نمی‌توانم پولی از حساب خالیتان بوجود آورم و به تو بدهم. شما که نا امید نشده‌اید پیش یک وکیل به نام هایزنبرگ می‌روید و از او مشاوره می‌گیرید. وی می‌گوید تبصره‌ای در قانون بانک‌های کوانتومی به نام اصل عدم قطعیت وجود دارد که می‌گوید: [مقدار پول (انرژی) و زمان را نمی‌توان به‌صورت هم‌زمان باهم اندازه گرفت و بین این‌ها یک تعادل برقرار است. اگر زمان بیش‌تری داشته باشید پول کمی خواهید داشت و اگر پول زیادی داشته باشید زمان کمی خواهید داشت] شما که فعلا چیزی از این قانون سر در نیاورده‌اید همراه وکیلتان به بانک می‌روید. هایزنبرگ بهکارمند بانک فضا می‌گوید: [شما طبق اصل عدم قطعیت مؤظفید به این آقا وام دهید] کارمند که تازه متوجه این قانون شده است رو به شما می‌کند و می‌گوید: [مشکلی نیست. اگر هزار تومان وام (انرژی) بخواهید می‌توانید

www.takbook.com

بعد از یک میلیارد سال آن را پس بدهید. اگر یک میلیون تومان وام می‌خواهید باید در عرض سه روز اقساط آن را پرداخت کنید. اگر یک میلیارد تومان بخواهید مشکلی نیست به حسابتان واریز می‌کنیم ولی باید بعد از یک ساعت آن پول را بازگردانید. حال اگر یک تریلیون وام بخواهید باید در عرض یک دقیقه آن را پس بدهید] پس در واقع در حوزهٔ کوانتوم یک سیستم می‌تواند برای مدت خیلی کوتاهی انرژی قرض بگیرد و به‌طور ناگهانی ذرات مجازی ایجاد کند اما این انرژی بلافاصله باید به خلأ بازگردانده شود در نتیجه این ذرات بعد از تولد به سرعت ناپدید می‌شوند و در مدت کم‌تر از ۱ تریلیونم ثانیه به عدم باز می‌گردند طوری که انگار اصلاً نبوده‌اند.

خلأ کاذب و نظریه تورم

پیشتر دیدیم که خلأ آن‌گونه که ما فکر می‌کنیم خالی نیست. فضای خلأ با این‌که هیچ ماده و اتمی در آن وجود ندارد اما کاملاً تهی نیست و پر از نوسانات میدان‌های کوانتومی و دریایی از ذرات مجازی است که این ذرات هر لحظه از هیچ خلق و نابودی می‌شوند. آلن گوث پی برده بود که ما در کل دو نوع خلأ واقعی و خلأ کاذب داریم. خلأ واقعی همانی است که اکنون فضای کیهان و اطراف زمین را فرا گرفته است اما خلأ کاذب نوعی فضای خالی شبیه به خلأ واقعی ماست که در اویل جهان قبل از بیگ‌بنگ وجود داشت. این نوع از خلأ در ظاهر هیچ فرقی با خلأ امروزی ندارد و

www.takbook.com

همچنین هیچ ماده و اتمی نیز در آن نیست اما تنها تفاوت آن با خلأ واقعی در مقدار انرژی نهفته در آن‌هاست. به عبارت دیگر خلأ کاذب با این‌که خالی به نظر می‌رسد اما مقدار انرژی بیش‌تری نسبت به خلأ واقعی در خود مخفی کرده است و در مقایسه با آن ناپایدار است و نوسانات کوانتومی شدیدی در آن رخ می‌دهد. این خلأ هر لحظه امکان دارد فرو بپاشد و انرژی نهفته در خود را آزاد کرده و به حالت پایدارتر یعنی به حالت خلأ واقعی تبدیل شود.

گوث با کمک معادلات ریاضی که روی مدل بیگ‌بنگ انجام می‌داد متوجه شد که جهان اولیه در حالت خلأ کاذب بود و در یک حالت شبه پایدار به سر می‌برد. اما در یک لحظهٔ سریع دچار فروپاشی شد و انرژی عظیم نهفته در خود را به‌طور ناگهانی آزاد کرد. انرژی آزاد شده سبب شد فضا به‌صورت نمایی و با سرعتی سرسام‌آور و بسیار سریع‌تر از نور منبسط شود. شدت و سرعت انبساط فضا در آن لحظه به حدی بود که تصور آن برای ما اندکی سخت است. طبق یافته‌های گوث مدت زمان این تورم تنها ۱۰ به توان منفی ۳۲ ثانیه به طول انجامید اما در همین مدت کوتاه اندازهٔ فضای آن محدوده ۱۰ به توان ۳۰ برابر افزایش یافت. فرض کنید توپ پینگ پنگی داریم که هر چقدر آن را باد کنیم نمی‌ترکد و همچنین فرض کنید ناسوس (تلمبه) بادی داریم که به دهانهٔ توپ وصل کرده و دستهٔ آن را کشیده و نگه داشته‌ایم و آمادهٔ باد کردن هستیم داور ساعت خود را تنظیم کرده و شما حق دارید فقط به مدت یک میلیونم تریلیونم ثانیه

www.takbook.com

تلمبه بزنید. وقتی این کار را تمام کردید متوجه می‌شوید که توپ به کره‌ای با قطر چهار هزار میلیارد سال نوری تبدیل شد. یعنی توپ پینگ‌پنگ شما ۴۵ برابر بزرگ‌تر از کل جهان قابل مشاهده کنونی خواهد بود.

آلن گوث نظریه خود را تورم کیهانی نامید و معتقد بود که جهان نه از یک نقطهٔ متراکم بلکه از درون خلأ کاذب بیرون جهیده است. برای سادگی بیش‌تر خود را در فضا تصور کنید و فرض کنید تمام کهکشان‌ها، ستارگان، سیارات و هر چیزی حتی یک اتم نیز در این فضای خلأ وجود ندارند. این فضایی که در آن قرار دارید خلأ واقعی است اما شما فرض کنید که این خلأ کاذب است و شما در جهان اولیه قرار دارید. شما به اطراف نگاه می‌کنید اما اثری از هیچ ماده یا تابش نور نیست. ناگهان متوجه می‌شوید که محدوده‌ای از این فضا مثلاً محدوده‌ای به قطر یک کیلومتر از این فضا ناگهان متورم شد و با سرعتی بسیار فراتر از سرعت نور منبسط شد و به فضایی بسیار بسیار بزرگ‌تر از قبل تبدیل شد. بعد از این‌که تورم سریع پایان یافت ناگهان متوجه می‌شوید که انرژی نهفته در فضا آزاد شد و ناگهان همه جا را نور شدیدی از تابش‌های پرانرژی گاما پر کرد و ذرات بنیادی ماده مثل الکترون‌ها و کوارک‌ها در جای جای این فضای تورم یافته از هیچ بوجود امدند. فیزیک‌دانان این واقعه را گذار فاز از خلأ کاذب به خلأ واقعی نامگذاری کرده‌اند و بیانگر این واقعیت است که خلأ کاذب با آزاد کردن انرژی، فاز و شکل خود را تغییر داد و به خلأ واقعی که امروزه می‌بینیم تبدیل شد.

www.takbook.com

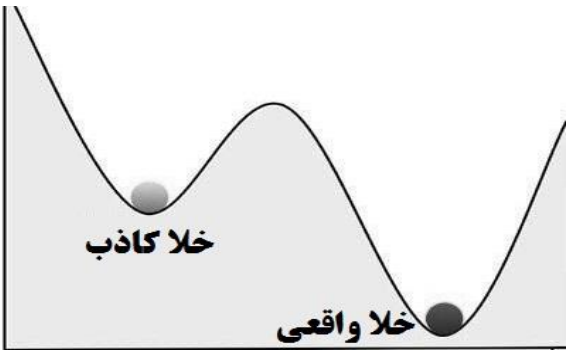
شاید سؤال پیش آید که چه چیزی سبب تبدیل خلأ کاذب به خلأ واقعی شده و باعث گردید چنین انرژی عظیمی آزاد شود؟

راستش اگر به خلأ کاذب نگاه کنیم تفاوت چندانی با خلأ واقعی ندارد اما چنان‌که پیشتر دیدیم یک فضای خالی از ماده و انرژی کاملاً خالی نیست و همیشه یک مقدار اندکی انرژی که به آن انرژی نقطهٔ صفر نیز می‌گویند در خود ذخیره کرده است. گوث متوجه شد که خلأ کاذب هرچند آرام به نظر می‌رسد اما ناپایدار از و مثل مدادی که روی نوکش به‌صورت ایستاده قرار داده‌ایم هر لحظه ممکن است با کوچک‌ترین تحریکی بیفتد و انرژی خود را آزاد کند.

به عنوان یک ناظر فرض کنید توپی در داخل یک دره کم عمق قرار دارد و شما نیز کنار این توپ هستید. با خود فکر می‌کنید که این توپ در پایین‌ترین ارتفاع ممکن قرار دارد و انرژی پتانسیلش صفر است و دیگر نمی‌تواند از این پایین‌تر برود. شما با همین فکر در حال قدم زدن هستید که به‌صورت اتفاقی از ته دره بالا می‌روید و ناگهان متوجه می شوید که آن جا درهٔ همسایهٔ دیگری نیز وجود دارد که خیلی عمیق‌تر از درهٔ شماست. پس می‌فهمید که اگر چیزی مثل یک باد ضعیف بتواند اندکی توپ را حرکت داده و آن را از این درهٔ کم عمق خارج کند، آن گاه توپ به خاطر این‌که در ارتفاع بالایی قرار دارد انرژی پتانسیل زیادی داشته و خودش به راحتی و با سرعت به سمت کف درهٔ عمیق‌تر غلط خواهد خورد.

www.takbook.com

آلن گوث فهمیده بود که خلأ کاذب همان درهٔ کم عمق و خلأ واقعی در حکم آن درهٔ عمیق است است. و توپ همان انرژی نهفته در این‌هاست. او متوجه شد که توپ آن بالا دارای انرژی پتانسیل است و با یک تکان کوچک می‌تواند از درهٔ کم عمق خارج شده و به درهٔ عمیق سقوط کند و انرژی خود را آزاد کند؛ با همین قیاس انرژی نهفته در خلأ کاذب نیز می‌تواند با تکان کوانتومی کوچکی (مثلاً در اثر نوسانات کوچکی که که در مقیاس کوانتومی در دل فضا رخ می‌دهند) آزاد شده و به خلأ واقعی راه یابد و باعث تورم سریع فضا و بوجود آمدن ماده و انرژی شود.



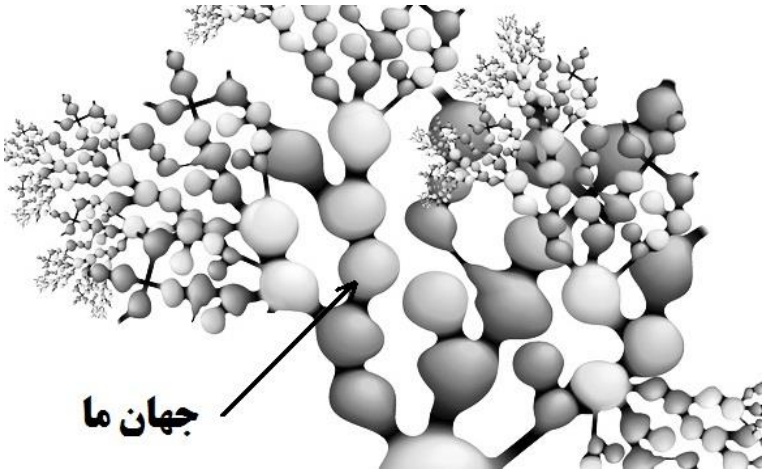
تورم ابدی

شاید فکر کنید که اکنون خلأ ما مثل ته آن درهٔ عمیق است و دیگر انرژی چندانی ندارد تا یکبار دیگر مثل خلأ کاذب انرژی آزاد کرده و متورم شود و جهان دیگری خلق کند. اما گوث بر اساس معادلاتش فهمید که یک خلأ هرچقدر هم واقعی بوده و مثل خلأ واقعی ما انرژی کمی داشته باشد باز

www.takbook.com

هم قابل اعتماد نیست. یعنی ممکن است روزی در گوشه‌ای از جهان ما یک گذار فاز اتفاق بیفتد و انرژی نهفته در خود را آزاد کند. در این صورت محدوده‌ای که گذار فاز رخ داده با سرعت نمایی هم‌چون حبابی متورم می‌شود و هم‌چون بیگ‌بنگ جهان دیگری را پدید خواهد آورد. آلن گوث به همراه همکارش آندره لینده پا را فراتر نهادند و نظریه تورم ابدی را مطرح کردند. بر اساس این نظریه بیگ‌بنگ ما تنها بیگ‌بنگ نبوده و جهان ما نیز تنها جهان موجود نیست. ایشان ادعا کردند تورم سریعی که ۱۳.۷ میلیارد سال پیش اتفاق افتاد و جهان ما را بوجود آورد می‌تواند بارها در هرجای فضا اتفاق بیفتد و جهان‌های جدیدی را از هیچ بوجود آورد. لینده معتقد بود که برخی نواحی فضا هنوز هم در حالت خلأ کاذب هستند و هر لحظه ممکن است گذار فاز در آن‌ها اتفاق بیفتد و جهان‌های حبابی جدیدی درست مثل جهان ما یا متفاوت با آن شکل بگیرد. طبق این نظریه، تکه کوچکی از یک جهان ممکن است ناگهان متورم شود و شروع به رشد کند. به این ترتیب فرزندی زاده می‌شود که ممکن است به نوبهٔ خود جهان نوپای دیگری را بوجود آورد و این پروسهٔ زایش تا ابد ادامه یابد. جهان‌ها ممکن است به‌طور پیوسته جهان‌های جدیدی را از خود ایجاد کنند و بدین‌ترتیب بیگ‌بنگ‌های بی‌شماری از دل جهان‌های دیگر در حال رخ دادن باشند. شاید جهان ما در برهه‌ای از زمان دنیای نوزادی را از درون خود ایجاد کرده باشد و شاید همین جهان ما با زایش از درون جهانی قدیمی‌تر بوجود آمده و حیات خود را آغاز کرده باشد.

www.takbook.com



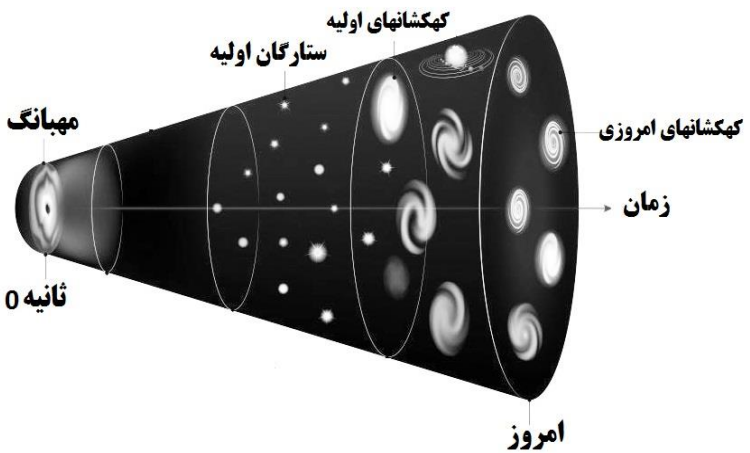
در گیتی ما هر لحظه جهان‌های بسیاری از دل جهان‌های دیگر پدید آمده و منبسط می‌شوند.

ناهار مجانی

در بین فیزیک‌دانان نظریه انفجار بزرگ بهترین مدل و پذیرفته شده‌ترین توضیح دربارهٔ آفرینش جهان است و هنگامی که آلن گوث با نظریه تورم خود آن را کامل نمود به بهترین نظریهٔ کیهانشناسی دوران‌ها تبدیل شد. بر طبق این نظریه جهان ما در حدود ۱۳.۷ میلیارد سال پیش از دل هیچ سر برآورد و منبسط شد. همان‌طور که گوث پی برد تمام ماده و انرژی هم‌چون ستارگان و کهکشان‌هایی که اکنون می‌بینیم از انرژی‌ای پدید آمده‌اند که زمانی قبل از مهبانگ در دل خلأ کاذب نهفته شده بود. این خلأ کاذب در هنگام مهبانگ به خلأ واقعی تغییر فاز داد و انرژی خود را آزاد کرد. آزاد

www.takbook.com

شدن انرژی سبب شد فضا با سرعت سرسام‌آوری کشیده و منبسط گردد و همچنین این انرژی به خود خلأ واقعی در حال انبساط نیز تزریق شد. انرژی آزاد شده بسیار فشرده و بی‌نهایت داغ بود و دمایی هزاران تریلیون درجه داشت و مثل ابر در فضای جهان اولیه پخش شده بود. با این‌که دورهٔ تورم سریع پایان یافته بود ولی انبساط آرام متوقف نشده بود و فضا هم‌چنان با سرعتی آرام در حال انبساط بود (هنوز هم در حال انبساط است) و دمای این انرژی رفته رفته کاهش می‌یافت. همان‌طور که ابر با کاهش دما به شکل قطره‌های باران و دانه‌های برف در می‌آید، آن انرژی نیز با کاهش دما به شکل ذرات بنیادی هم‌چون الکترون‌ها و پروتون‌ها و نوترون‌ها در می‌آمد و این ذرات نیز باهم ترکیب شده و اتم‌های ماده را بوجود آوردند. به تدریج این ذرات و اتم‌ها نیز دور هم جمع شده و ستاره‌ها و سیارات را ساختند و جهان امروزین را تشکیل دادند.



www.takbook.com

اگر بتوانیم این مباحث را به شکل ساده و قابل درک برای یک دانش آموز ابتدایی توضیح دهیم در نهایت او از شما خواهد پرسید: پس آن انرژی اولیه از کجا آمد و دنیای ما را ساخت؟ اصلاً مگر می‌شود از یک خلأ خالی چنین جهانی به این عظمت با این همه ستاره پدید آید؟

دانشمندان مدت‌ها با این سؤال کلنجار رفتند تا این‌که در نهایت به این نتیجه رسیدند که از هیچ نیز می‌توان یک جهان مجانی ساخت. اما چگونه؟

در ریاضیات اگر یک عدد مثبت را با همان عدد منفی جمع کنیم حاصل جمع صفر(هیچ) می‌شود. مثلاً اگر مثبت ۱۰۰ را با منفی ۱۰۰ جمع کنید حاصل جمع، صفر می‌شود. حال فرض کنید شما پولی ندارید و جیبتان خالی است. در همین حین دوستتان می‌آید و از شما می‌خواهد مثبت ۱۰۰ تومان پول به او بدهید. جیب‌های شما خالی است ولی شما می‌دانید که مثبت صد به اضافهٔ منفی صد برابر صفر می‌شود. یعنی صفر (جیب‌های خالی) از یک مثبت صد و یک منفی ۱۰۰ درست شده است. بنابراین شما دست در جیب خالیتان کرده و مثبت ۱۰۰ تومان را از داخل آن بر می دارید و به دوستتان می‌دهید اما مجبورید منفی ۱۰۰ را نیز در جیب خود برای خودتان نگه دارید(این منفی ۱۰۰ مثل قرضی است که از یکی می‌گیرید و به دوستتان می‌دهید) شاید احمقانه به نظر آید ولی اکنون فیزیک‌دانان معتقدند که انرژی لازم برای ساخت جهان ما نیز این‌گونه از هیچ بوجود آمد. به فرض مثال خداوند به عنوان معمار جهان هستی ۱۳.۷ میلیارد سال پیش می‌دانست که برای ساختن جهان به مقداری انرژی اولیه نیاز دارد تا از

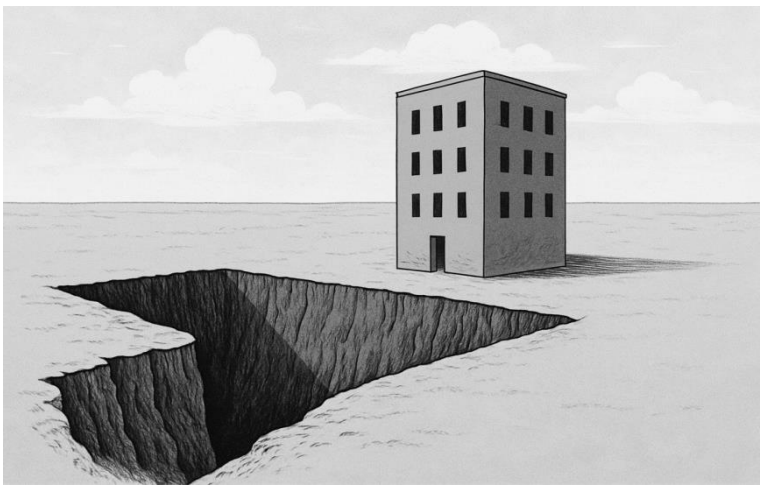
www.takbook.com

این انرژی برای ساختن اتم‌ها و تشکیل ستارگان استفاده کند. اما به هر طرف که نگاه می‌کرد جز خلأ کاذب چیزی نبود. خداوند که ریاضی‌دان ماهری بود فکری به سرش زد و با خود گفت این فضای خلأ در حکم همان صفر (هیچ) است. من می‌توانم از داخل این صفر مقدار معینی انرژی مثبت برای ساختن اتم‌ها و ستارگان استخراج کنم ولی در عوض به همان مقدار نیز باید انرژی منفی به شکل میدان گرانش در خلأ جا بگذارم. به عبارت دیگر در هنگام مهبانگ تغییر فازی در خلأ کاذب رخ داد و مقدار زیادی انرژی مثبت ایجاد شد؛ اما هم‌زمان همان‌قدر نیز انرژی منفی تولید شد و در خلأ واقعی امروزی انباشته شد. انرژی مثبتی که از هیچ بوجود آمد به ستارگان و کهکشان‌ها تبدیل شد و انرژی منفی نیز به نیروی گرانش امروزی تبدیل گشت و خود را در دل خلأ مخفی کرد و اکنون اثر خود را به‌صورت جاذبه نشان می‌دهد.

به عنوان مثالی دیگر فرض کنید به یک زمین کاملاً صاف می‌روید که در آن هیچ خانه و ساختمانی وجود ندارد. شما در این زمین صاف هیچ‌چیز ندارید اما از این هیچ‌چیز هم می‌توانید ساختمانی بنا کنید. به این صورت که ابتدا شروع به کندن زمین می‌کنید تا برای ساختن خانه تان مصالح تهیه کنید. حالا از این خاکی که دارید می‌توانید آجر درست کنید و خانه تان را بسازید اما یادتان باشد وقتی ساخت خانه را تمام کردید در کنار ساختمان یک درهٔ بزرگ نیز پدید آورده‌اید. این مثال در مورد آفرینش جهان ما نیز صدق می‌کند. دانشمندان معتقدند که قبل از مهبانگ نوعی خلأ کاذبی

www.takbook.com

وجود داشت که در آن هیچ چیزی نبود. شما می‌توانید آن خلأ را به عنوان همان زمین مسطحی در نظر بگیرید که در ابتدا چیز در آن نبود. همان‌طور که ما دره‌ای کندیم و از خاک آن برای ساختن خانه استفاده نمودیم در هنگام مهبانگ به یکباره مقدار بسیار زیادی انرژی از خلأ پدید آمد و جهان ما (فضا، ستارگان، سیارات و ...) را ساخت و در عوض به همان مقدار نیز انرژی منفی در خلأ باقی گذاشت. این انرژی منفی در حکم همان دره‌ای است که ما از خاک آن برای ساختن خانه ایجاد کردیم. در واقع ساختمانی که ساختیم در حکم جهان و دره در حکم انرژی منفی است که اکنون در فضا مخفی شده. هرچند ما این انرژی منفی را نمی‌بینیم و لی می‌توانیم اثر آن را به شکل گرانش (نیروی جاذبه) بین اجسام حس کنیم.



جهان ما در حکم این ساختمان و انرژی منفی نهفته در فضا (گرانش) در حکم این دره است.

www.takbook.com

منابع و مآخذ

۱- گرین، برایان. (۱۹۹۹). جهان زیبا. چاپ چهارم. ترجمهٔ مازیار نوعی. (۱۳۹۳). تهران: انتشارات پارسیک.

۲- گرین، برایان. (۲۰۱۱). واقعیت پنهان؛ جهان‌های موازی و قوانین ژرف کیهان. چاپ سوم. ترجمهٔ محمد علی جعفری. (۱۳۹۸). تهران: انتشارات مازیار.

۳- گرین، برایان. (۲۰۲۰). تا پایان زمان؛ ذهن، ماده و کنکاش ما برای معنا در جهانی در حال تحول. چاپ اول. ترجمهٔ جمیل آریایی. (۱۳۹۹). تهران: انتشارات مازیار.

۴- کرول، شون. (۲۰۱۲). ذره در پایان گیتی؛ چگونه شکار بوزون هیگز ما را به مرز جهانی نو می‌رساند. چاپ اول. ترجمهٔ رامین رامبد. (۱۳۹۲). تهران: انتشارات مازیار.

۵- گوث، آلن. (۱۹۹۷). جهان تورمی؛ کاوشی برای نظریه جدید منشأ کیهانی. چاپ اول. ترجمهٔ جمیل آریایی. (۱۳۹۶). تهران: انتشارات مازیار.

۶- واینبرگ، استیون. (۱۹۹۳). سه دقیقه اول. چاپ دوم. ترجمهٔ محمدرضا خواجه پور. (۱۳۹۶). تهران: انتشارات فرهنگ معاصر.

۷- شستاک، ست؛ بارنت الکس. (۲۰۰۳). در جست و جوی همتایان کیهانی؛ به دنبال حیات هوشمند در عالم. چاپ اول. ترجمهٔ رضا علیزاده جور شری و سید مرتضی خاتمی. (۱۳۸۹). تهران: نتشارات طلایی.

www.takbook.com

۸- احمدی کریوق، حسن. (۱۳۹۸). قاتلان حیات هوشمند. چاپ اول. تهران: انتشارات مازیار.

۹- لوب، آبراهام. (۲۰۲۱). فرازمینی‌ها: نخستین نشانه از حیات هوشمند فرازمینی. چاپ اول. ترجمهٔ جمیل آریایی. (۱۴۰۰). تهران: انتشارات مازیار.

۱۰- یائگر، لارس. (۲۰۱۸). دومین انقلاب کوانتومی: از درهم تنیدگی تا محاسبات کوانتومی و دیگر فوق تکنولوژی‌ها. چاپ اول. ترجمهٔ فواد قاسمی و سوزان زوراسنا. (۱۴۰۰). تهران: انتشارات مازیار.

۱۱- کلگ، برایان. (۲۰۱۹). ماده تاریک و انرژی تاریک: ۹۵ درصد پنهان از گیتی. چاپ اول. ترجمهٔ واروژان هارطون. (۱۳۹۸). تهران: انتشارات مازیار.

۱۲- هدفمان، بنش. (۱۹۴۷). کوانتوم: حکایت تولد و حیاتی شگفت. چاپ ششم. ترجمهٔ بهرام معلمی. (۱۳۹۹). تهران: انتشارات مازیار.

۱۳- زیرمن جونز، اندرو؛ رابینز، دنیل. (۲۰۱۰). نظریهٔ ریسمان. چاپ سوم. ترجمهٔ مریم ذوقی (۱۳۹۹). تهران: انتشارات آوند دانش.

۱۴- نصیری قیداری، سعدالله. (۱۳۹۸). نجوم و اختر فیزیک. جلد اول. چاپ اول. تهران: انتشارات جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی نوین.

۱۵- گنیو، پولین. (۲۰۱۶). چه کسی به ذرات بنیادی می‌اندیشد: فهم آسان بوزون هیگز و برخورددهندهٔ بزرگ هادرونی. چاپ اول. ترجمهٔ حسن فتاحی(۱۳۹۹). تهران: انتشارات گوتنبرگ.

۱۶- ساسکیند، لئونارد. (۲۰۰۸) جنگ سیاه‌چاله: نبرد من با استیون هاوکینگ بر سر امن کردن جهان برای مکانیک کوانتومی. چاپ اول. ترجمهٔ رامین جعفری آزان (۱۳۹۸). تهران: انتشارات مازیار.

www.takbook.com

۱۷- نادری قمی، محمد؛ عسگری، آزاده. (۱۳۹۵). ابرخردها: سیری در باغ وحش ذرات زیر اتمی. چاپ اول. قم: انتشارات آتریسا.

۱۸- کلوز، فرانک. (۲۰۱۲). فیزیک ذرات. ترجمه فیروز آرش (۱۳۸۷). تهران: انتشارات فرهنگ معاصر.

۱۹- کلوز، فرانک. (۲۰۰۹). هیچ. ترجمهٔ شادی حامدی آزاد (۱۳۹۲). تهران: بصیرت.

۲۰- کاترل، جف. (۲۰۱۶). انواع تلسکوپ: یک مقدمه بسیار کوتاه. ترجمهٔ محدثه فاطمی (۱۳۹۹). تهران: انتشارات برون سپهر.

۲۱- اوبلاکر، اریک. انرژی اتمی. چاپ دوازدهم. ترجمهٔ بهروز بیضایی (۱۳۸۶). تهران: موسسه انتشارات قدیانی.

۲۲- کاکو، میچیو. (۲۰۰۵). جهان‌های موازی: سفری به آفرینش، ابعاد بالاتر و آیندهٔ جهان. چاپ دوم. ترجمهٔ علی هادیان و سارا ایزدیار (۱۳۸۹). تهران: انتشارات مازیار.

۲۳- ویکتوری، ابراهیم. (۱۳۸۵). اسرار کائنات. تهران: انتشارات به نگار.

۲۴- هاوکینگ، استیون. (۲۰۰۱). جهان در پوست گردو. چاپ هشتم. ترجمهٔ محمدرضا محجوب (۱۳۸۹). تهران: انتشارات حریر با همکاری شرکت سهامی انتشار.

۲۵- خداکریمیان، مینا. (۱۳۹۹). کاشف بوزون هیگز سکوتش را شکست. تهران: عطران.

۲۶- لیدل، اندرو. (۲۰۰۳). آشنایی با کیهان‌شناسی نوین. ترجمهٔ غلامرضا شاه علی (۱۳۹۱). شیراز: انتشارات شاه چراغ (ع).

www.takbook.com

۲۷- ریس، مارتین. (۱۹۹۹). شش عدد: نیروهای بنیادی که جهان را شکل می‌دهند. چاپ ششم. ترجمهٔ سعید تهرانی نسب (۱۳۹۷). تهران: نشر نی.

۲۸- دیویس، پائول. (۱۹۹۴). سه دقیقهٔ آخر: سرنوشت جهان چه خواهد شد؟ ترجمهٔ عاطفه حاتمی (۱۳۹۴). تهران: هورمزد.

۲۹- سیفلو، حسین. (۱۳۹۵). ریاضیات: کلید اسرار طبیعت. تبریز: دانشگاه تبریز.

۳۰- استراترن، پل. (۱۹۹۷). اینیشتین و نسبیت. چاپ سوم. ترجمهٔ ابولفضل حقیری (۱۳۹۰). تهران: موسسه انتشارات حکمت سینا.

۳۱- کارول، شون. (۲۰۱۹). چیزی عمیقاً پنهان: جهان‌های کوانتومی و پیدایش فضا زمان. ترجمهٔ تورج حوری (۱۳۹۹). تهران: انشارات مازیار.

۳۲- ریس، مارتین. (۲۰۱۲). از این‌جا تا بی‌نهایت: دورنمایی از آینده علم. ترجمهٔ محمد ابراهیم محجوب (۱۳۹۵). تهران: نشر نی.

۳۳- شعری مقدم، شهاب. (۱۳۹۴). داستان شگفت انگیز کوانتوم: ۱۰۰ رویداد شگفت انگیز که عصر کوانتوم را شکل دادند. تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی.

۳۴- هاوکینگ، استیون. (۲۰۱۰). طرح بزرگ. چاپ دوم. ترجمهٔ علی هادیان و سارا ایزد یار. (۱۳۹۱). تهران: انتشارات مازیار.

۳۵- ویکتوری، ابراهیم. (۱۳۸۶). اسرار کائنات. تهران: انتشارات به نگار.