www.takbook.com

ذرّات بنیادی

گ. یا. میاکیشف

ترجمهٔ باقر مظفرزاده

۷۴

www.takbook.com

گ. یا. میاکیشف

کتابهای کیهان
۷۴

ذرات بنیادی

ترجمهٔ باقر مظفرزاده

www.takbook.com

مجموعهٔ کتابهای علمی، تاریخی وفلسفی

میاکیشف، گ. یا.

ذرات بنیادی

ترجمهٔ باقرمظفرزاده

چاپ اول : ۱۳۵۳

چاپ : چاپخانهٔ نقش‌جهان ـ تهران

شماره ثبت کتابخانهٔ ملی: ۴۶۴-۱۳۵۳/۴/۲۹

حق چاپ محفوظ است.

www.takbook.com

هدف ایـن کتاب نه تنها ایجاد تصورات اولیه در بـارهٔ دنیای ذرات بنیادی است، بلکه ایجاد این امکان است که محیط دشوار وسرشار از کشفیات غیر منتظره و فـرضیات جسورانه کـه فیزیکدانان در آن به مطالعهٔ ذرات بنیادی می‌پردازند، احساس شود.

واقعیت مسلم در فیزیـك ذرات بنیادی قـابلیت تبدیل متقابل آنها به‌یکدیگر است. جای عمده در کتاب به شرح تأثیرات متقابلهٔ ضعیف، هسته‌ای والکترومأگنتیك کـه این تبدیلات را به‌وجود می‌آورند، اختصاص دارد.

هرچه برطبق قوانین بقا مجازاست به‌همراه ذرات بنیادی می‌تواند روی دهد و به راستی هم روی می‌دهد. به‌همین جهت جایی عمده نیز به‌شرح قوانین بقا اختصاص داده شده است.

پدیده‌هایی‌که در دنیای خُرد روی می‌دهد فقط براساس تئوریهای بزرگ قـرن بیستم: تئوریهای نسبیت و مکانیك‌کوانتمی قابل فهـم است. به‌اصول این تئوریها نیز توجه لازم شده است.

پس از مطالعهٔ ایـن کتاب ممکن نیست تصوری کاملاً روشن دربـارهٔ ذرات بنیادی پیدا کـرد. فعلا کسی نمی‌داندکه ذرات بنیادی چیست. اما دراین‌کتاب‌اطلاعاتی دربارهٔ خواص ذراتی کـه نام بنیادی یافته‌اند و دربارهٔ طبقه‌بندی امروزی ذرات بنیادی می‌توان یافت. طبقه‌بندی ذرات بنیادی درحال حاضر به‌آن سطح عالی علمی‌رسیده است‌که امکان می‌دهد ذرات جدید راقبل از آنکه از راه آزمایش‌کشف شوند، پیشگویی‌کرد.

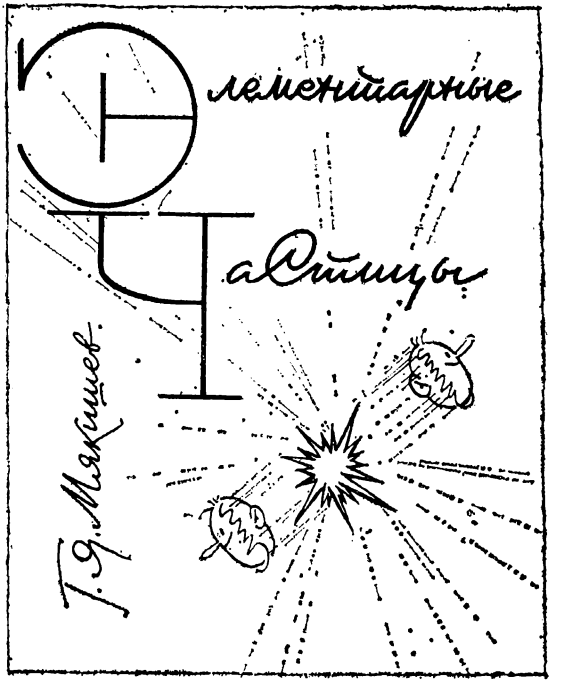
بالاخره ازدشواریهایی‌که درراه ایجاد تئوری ذرات‌بنیادی واز مسائلی‌که درمقابل دانشمندان، قد علم می‌کنند، سخن رفته است.

www.takbook.com

ذرات بنیادی

www.takbook.com

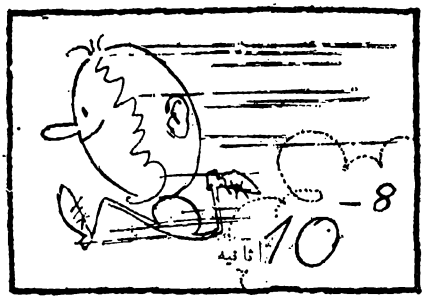
www.takbook.com



www.takbook.com

فصل یکم

مقدمه، اما مهمترین و شاید هم دشوارترین



جز یك سفیدی
در آن نشانه‌ای ازگاو نیست .

اویدیوس [1]
«دگرگونیها»

تبدیلات، تبدیلات، تبدیلات .

هربهاردرجهان معجزهٔ همیشگی‌روی می‌دهد: شاخه‌های بی‌برگ ناگهان جان می گیرند و پس ازچندروز برگهای‌چسبناك بهاری برآنها سبز می‌شوند.

کمی بعدکرم چاق چلمن به‌پروانه‌ای ظریف تبدیل می‌شود.

۱ـ Ovidius شاعر رومی (۴۳ قبل از میلاد ـ ۱۷ میلادی)

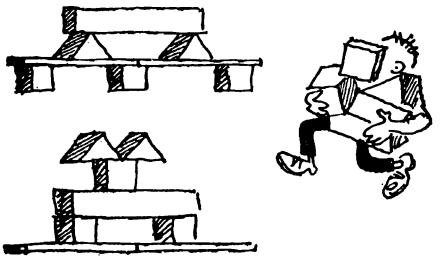
www.takbook.com

پس از چند سال پسربچه مردی با وقار می‌شود.

چوب خشك در آتش در عرض چند دقیقه نابود می‌شود و مشتی خاکستر برجا می‌ماند، دفترچه‌های تمیز و مرتب پس از چند روز یا چند هفته به صورت برگهایی کهنه در می‌آیند. باگذشت زمان تغییراتی در مغز پیدا می‌شود ـ بیشتر می‌داند.

تبدیلات در محیط ما با خود ما صورت می‌گیرد، بعضی تبدیلات مانند انفجار بمب در یك لحظه صورت می‌گیرد: بعضی دیگر مانند تشکیل کرهٔ زمین، سیارات و ستارگان هزاران یا حتی میلیونها و میلیاردها سال طول می‌کشد.

تبدیلاتی خارق‌العاده نیزحداقل در افسانه‌ها وجود دارد. پسرك از جای سُم آب نوشید وبه‌بزك تغییر صورت داد. دختر زیبا به‌ارادهٔ جادوگرکین‌توز به‌قورباغهٔ سبزرنگ تبدیل شد. افسانه‌هایی دیگر نیز وجود داردکه پر از این گونه حوادث است.



این تبدیلات در اصل نظیر تبدیل خانهٔ عروسکی متشکل از مکعبهای چوبی به‌پل راه‌آهن متشکل از همان مکعبهاست، با این تفاوت‌که مکعبها به شکلی دیگر قرار گرفته‌اند.

اینها تبدیلات، هست ولی البته تبدیلات کاملاً حقیقی نیست.

این تبدیلات دراصل نظیر تبدیل خانهٔ عروسکی متشکل از مکعبهای چوبی به‌پل راه آهن متشکل از همان مکعبهاست، با این تفاوت‌که مکعبها به‌شکلی‌دیگر قرارگرفته‌اند و بعلاوه ممکن است

www.takbook.com

عدهٔ آنها نیز کمتر یا بیشتر باشد.

تبدیلاتی که در بارهٔ آنها صحبت کردیم و زندگی شما و زندگی جهان نیز شامل آنهاست، تقریباً به طور کامل عبارت از تشکیل ترکیبات جدید از یك گروه «مکعبها»ست. در این تبدیلات خود این «مکعبها» تغییری پیدا نمی‌کنند. قبلاً این «مکعبها»ی غیر قابل تغییر را که بینهایت سخت‌تر از اجسامی هستند که از آنها تشکیل یافته‌اند، اتم به حساب می‌آوردند. سپس «مکعبها»ی اولیهٔ جهان را اجزای اتم پنداشتند و به‌آنها نام ذرات بنیادی دادند.

تشکیل ترکیب جدید از ذرات موجود ـ چنین است مفهوم تبدیلات معمولی. البته تفاوت پروانه از کرم خیلی بیشتر از تفاوت دو ساختمان ازیك دسته مکعب است. باوجود این درهردوجا ترکیبی جدید از ذرات پیشین داریم. حتی تبدیلات افسانه‌ای نیز با قانون اساسی طبیعت تضادی ندارند. از اتمهای تشکیل دهندهٔ پسرك در اصل می‌توان بزك‌را ساخت، تازه چیزی هم باقی می‌ماند. در این عمل به هیچیك از قوانین اساسی طبیعت لطمه‌ای وارد نمی‌شود. آخر خود طبیعت هم توانسته است از آب، گازها و مواد معدنی در غایت امر موجود زنده و انسان را بسازد.

تبدیلات حقیقی

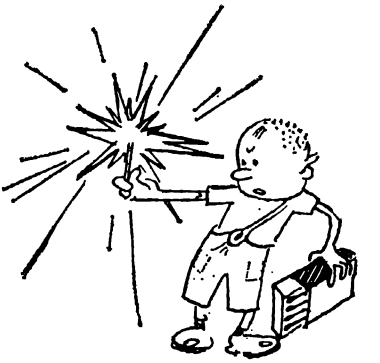
آیا ممکن است تغییر خود « مکعبها » صورت گیرد اماتبدیلات حقیقی اصلاً روی‌ندهد بلکه جابجایی پیچیده‌تر سازمانهای موجود صورت گیرد؟

نه، باز هم نه! شما چوب کبریت را آتش زدید و آن هم شعله‌ور شد. اینجاست که تبدیل حقیقی ماده نیز صورت می‌گیرد.

www.takbook.com

البته این به آن معنی نیست که کبریت نابود می‌شود. اتمهای کربن بامولکولهای اکسیژن هوا پیوند می‌یابند و مولکولهای گاز کربنیك، یعنی شکل جدید مادهٔ پیشین را به‌وجود می‌آورند.

مطلب دراین است که شما نور دیدید! پیش ازاین نور به‌هیچ شکلی در چوب کبریت نبود. نوردرلحظه‌ای به‌وجود آمدکه چوب کبریت آتش گرفت. اینجاست که تبدیل حقیقی صورت گرفت: نوع جدید «مکعبها» خود نمایی کرد و ذرات بنیادی جدیدی به نام فوتون تولد یافت. شما شاهد تبدیلات حقیقی ماده بودید.



شما چوب‌کبریت را آتش زدید و آن هم شعله‌ور شد. اینجاست که تبدیل حقیقی ماده نیز صورت می‌گیرد.

نظیر این تبدیلات یعنی به وجود آمدن ذرات بنیادی جدید تنها بر اثر تابش نور به‌وجود نمی‌آید. جهان پر از تبدیلات ذرات بنیادی است وبدون این تبدیلات نیزنمی‌توانست در وضع امروزی وجود داشته باشد. اما تقریباً در همهٔ موارد، بجزتابش نور، این تبدیلات در اعماق مواد پنهان شده است و مستقیماً نمی‌توان آنها را مشاهده کرد.

www.takbook.com

ذرهٔ بنیادی... به راستی یعنی چه؟

وقتی که دموکریت[1] به ساده ترین ذرات که قابل تقسیم به ذرات دیگر نیستند، اتم نام داد (کلمهٔ «اتم» به معنای غیر قابل تقسیم است)، احتمالاً تصور می‌کرد که می داند چه می‌کند. همه چیز در اصل پیچیده به نظر نمی آمد. اشیای گوناگون، گیاهان، حیوانات از ذرات غیر قابل تقسیم و غیر قابل تغییر ساخته شده‌اند. تبدیلاتی که در جهان مشاهده می‌شود، جا بجایی سادهٔ اتمهاست. همه چیز در جهان جریان دارد، تغییر می‌یابد، غیراز خود اتمها که هستی پایدار دارند.

این تابلوی موزون تاکشف ساختمان پیچیدهٔ اتمها بدون تغییر باقی‌ماند. درآخر قرن ۱۹ یکی از اجزای سازندهٔ اتم- الکترون را مشخص کردند. سپس درقرن بیستم دو ذرهٔ دیگر- پروتون ونوترون کشف شد. درآغاز همهٔ این ذرات را درست همانطورکه دموکریت در مورد اتمها می‌پنداشت، جوهر بنیادی غیرقابل تغییر و غیرقابل تقسیم، مصالح اساسی جهان می‌دانستند.

لکن این وضع تابناك دلربا طولانی نبود. همه چیز به طور قابل ملاحظه پیچیده‌ترشد. ذرات غیرقابل تغییراصلاً وجود ندارند. بعلاوه اکنون معلوم نیست که به چه ذراتی در حقیقت می‌توان نام بنیادی داد. همچنین معیاری را نیزنمی‌شناسیم تا از روی آن بتوان به‌ذره‌ای نسبت بنیادی داد.

بعضی از فیزیکدانان به حق می‌گویندکه درکلمهٔ «بنیادی»

۱- Demokritos فیلسوف یونان باستان (درحدود ۳۷۰ - ۴۶۰ قبل از میلاد)

www.takbook.com

ابهامی مفتون‌کننده وجود دارد. ازطرفی معنی بنیادی خود به‌خود معلوم است ـ ساده‌ترین. شرلـوك هلمس دوست داشت خطاب به دکتر واتسون فریاد بزند « این ساده است ». ازطرف دیگر«بنیادی» به چیزی آن چنان اساسی نسبت داده می‌شود که اصلاً تاکنون برکسی روشن نشده است.

البته ممکن است به زودی شرلوك هلمس جدید جهان ذرات خُرد ظهورکند و ماهیت ذرات بنیادی مانند نژاد سگ وحشتناك با سکرویل بر وی روشن گـردد، ولی هنوز این زمان فرا نرسیده است.

در زیر ماه هیچ چیز ابدی نیست

ذرات بنیادی معلوم امروزی را نبـاید مانند اتمهای غیرقابل تغییر دموکریت دانست‌وباید این حقیقت را در نظر داشت‌که حتی یکی از این ذرات نیز فنا ناپذیر نیستند. اکثراین ذرات خود به‌خود و بدون هیچ نیروی خارجی نمی توانند بیش از دو میلیونیم ثانیه به زندگی خودادامه دهند. عمرنوترون‌آزاد۱۷دقیقه است. فقط‌هریك ازچهار ذره: فوتون،نوترینو، الکترون‌وپروتون اگربه‌تنهایی درتمام‌جهان بودند، می‌توانستند پایداری خود را حفظ‌کنند. الکترون وپروتون رقبایی خطرناك مانند پوزیترون و آنتی پروتون دارند که بـراثـر برخورد بارقیب‌خود ورقیب‌هردو نابودمی‌شوند. فوتون‌که ازچراغ رومیزی شما می‌تابد بیش از $۱۰^{-۸}$ ثانیه عمرندارد. این همان مدتی است‌که لازم است تا به‌صفحات‌کتاب برسد و به‌وسیلهٔ‌کاغذ جذب شود. تنها نوترینو به‌سبب بی‌تفاوتی بی‌اندازهٔ خـود نسبت به تمام

www.takbook.com

ذرات، تقریباً پایدار است. اما نوترینو هم بر اثر برخورد با سایر ذرات نابود می‌شود، هرچندکه چنین برخوردهایی به‌ندرت روی می‌دهد.

به‌این‌ترتیب درکوشش ابدی برای یافتن تغییرپذیری درجهان تغییرپذیر، دانشمندان به‌مثابه بنایی ازسنگ خارا درمیان شن روان هستند. همهٔ‌ذرات‌بنیادی‌به‌یکدیگرتبدیل‌می‌شوند و این‌تبدیلات متقابل حقیقت بزرگ وجود آنهاست.

آیا دردرون ذرات بنیادی ذراتی کوچکتر هست؟

آیا ممکن است ذراتی کوچکتر از این ذرات هم وجود داشته باشند؟ آیاممکن‌است ذرات بنیادی فقط مرحلهٔ میانی شناخت ساختمان موادکه بشر به‌آن دسترسی‌یافته است، باشند؟ بعدها بشرموفق خواهد شدکه به‌سطحی عمیقتر برسد وذرات بنیادی همچون اتمهای امروزی به‌حساب آیند. بالاخره دیر یا زود بعضی ذرات غیرقابل تغییرسازندهٔ موادپیدا خواهد شد.

مگر طبیعت طور دیگری ساخته شده باشد: ماده تا بینهایت قابل تقسیم است و بشر بیش ازپیش ذراتی ُخرد می‌یابدکه هرگز به‌آخر نمی‌رسد!

هنوز به‌درستی هیچ چیز را نمی‌توان قطعی دانست. با وجود این همیشه این طور نیست. امکاناتی دیگر بیش از آنچه در دسترس ما است، وجود دارد.

مادیگر به‌اساس‌ساختمان‌ماده رسیده‌ایم امااین اساس‌درقید تغییر ناپذیری دایمی نیست، لاینقطع تغییر قیافه می‌دهد و به غایت

www.takbook.com

پیچیده است. ذرات بنیادی، به مفهوم اتم، قابل تقسیم نیستند اما بنابرخواص خود پایان ناپذیرند.

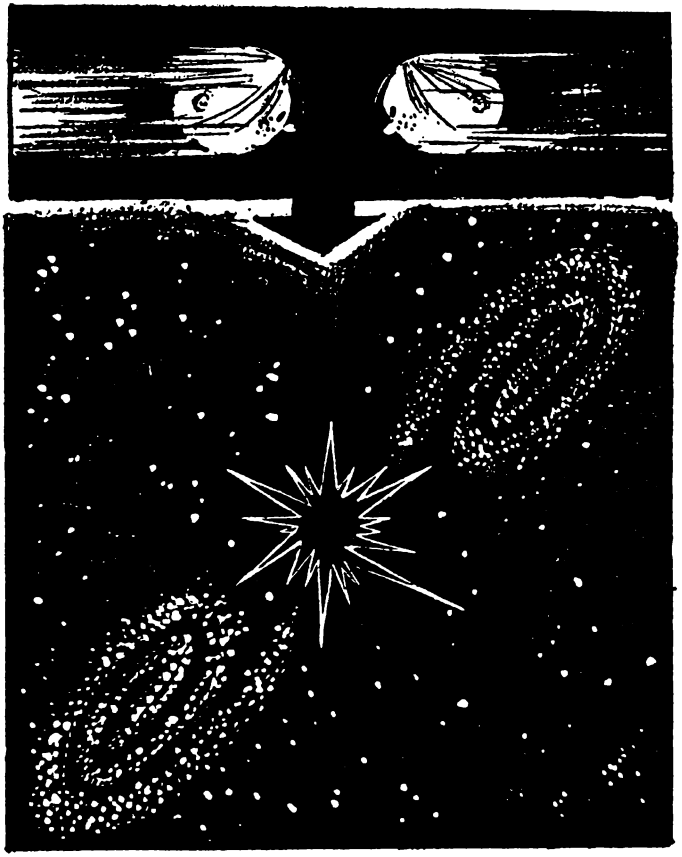
جهان از دو ذره

اما مسأله‌ای که ما را به‌تفکر وامی‌دارد. فرض کنیم این میل طبیعی درما پیدا شود که تحقیق کنیم آیا مثلاً الکترون از ذراتی کوچکتر تشکیل نشده است؟ چه کاری باید کرد تا الکترون تجزیه شود؟ فقط یك‌راه به‌نظر می‌رسد. این‌همان راهی است که بچه‌ها وقتی می‌خواهند بدانند داخل اسباب بازی پلاستیکی چه‌چیز قرار دارد، به‌آن متوسل می‌شوند ـ ضربهٔ شدید.

بدیهی است که نمی‌توان با چکش به الکترون ضربه وارد کرد. برای این‌کارالکترونی دیگرکه باسرعتی‌فوق‌العاده درحرکت است و با ذرهٔ بنیادیی دیگرکه باسرعتی زیادحرکت می‌کند، لازم است. امروز شتاب دهنده‌هایی ساخته شده است که به‌الکترونها و پروتونها سرعتی‌نزدیك به‌سرعت حداکثرکه درطبیعت امکان دارد، یعنی سرعت نور، می‌دهند.

براثر برخورد ذرات دارای انرژی فوق‌العاده چه روی‌دهد؟ این ذرات ابداً به‌چیزهایی‌که بتوان به‌آنها نام اجزای تشکیل دهنده را داد، تجزیه نمی‌شوند، بلکه ذراتی جدید تولید می‌شوند، همانهایی‌که مدتهاست در فهرست ذرات بنیادی شرکت دارند. هرچه انرژی ذراتی‌که باهم برخورد می‌کنند، بیشتر باشد، ذرات بیشتر و بعلاوه سنگینتر به وجود می‌آیند. علت آن است‌که بر اثر افزایش سرعت، جرم ذرات نیز افزایش می یابد. فقط ازیك جفت

www.takbook.com



می‌توان تصویری خیالی را مجسم کرد: براثر برخورد دو ذرهٔ فوق‌العاده نیرومند جهانهای کامل به‌وجود می‌آیند و سپس ستارگان و کهکشانها از آنها پیدا می‌شوند.

هرذره‌ای، با بالا رفتن جرم، می‌توان همهٔ ذراتی را که در جدول ذرات بنیادی امروزی قرار دارند، به‌دست آورد.

می‌توان حتی تصویری خیالی، اما کاملاً مطابق با قوانین شناخته شدهٔ طبیعت را مجسم کرد: براثربرخورد دو ذرهٔ فوق‌العاده نیرومند جهانهای کامل به وجود می‌آیند و سپس ستارگان و

www.takbook.com

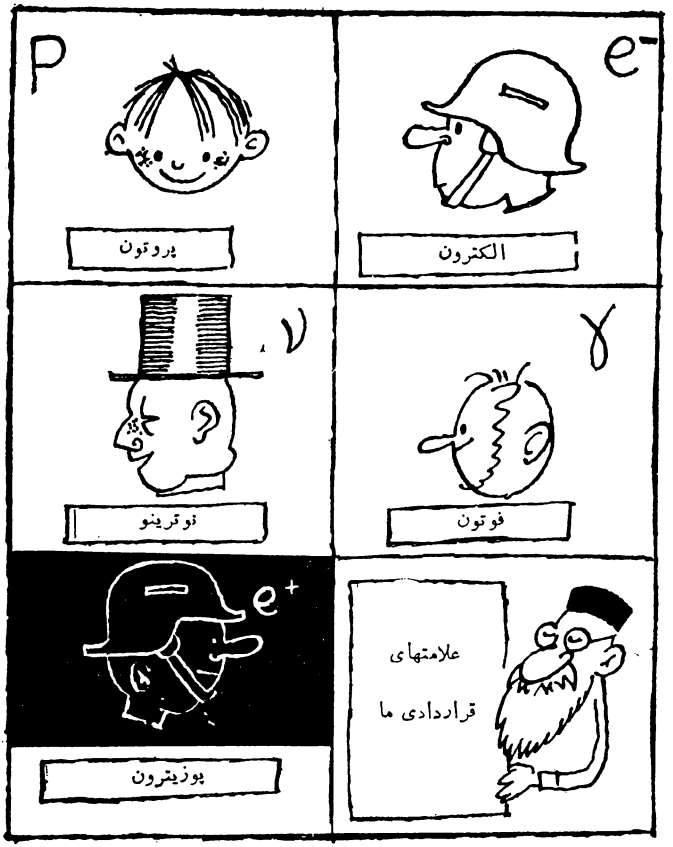
کهکشانها از آنهـا پیدا می‌شوند. البته اتفاق می‌افتدکـه یك ذرهٔ کیهانی رگباری از ذرات به وجود می‌آوردکه عدهٔ آنها به صدها میلیون می‌رسد وچندین کیلومترمربع سطح کرهٔزمین را فرامی‌گیرد. ممکن است که بر اثر برخورد ذرات با انرژیی‌که هم اکنون به‌آن دسترسی نداریم، ذراتی جدیدکه هنوز بر مـا معلوم نیستند، به‌وجود آیند. اما در اصل موضوع تغییری حاصل نمی‌شود. ذرات جدید تولید شده بر اثر برخورد را نباید اجزای تشکیل دهندهٔ ذره ـ مادر به‌حساب آورد. زیرا اگر به‌دو ذره ـ دخترشتاب دهیم، این ذرات بدون تغییرطبیعت خود، فقط باافزایش جرم، به‌نوبهٔ خود می‌توانند یکباره چندذره، درست همانهایی‌که خود از آنها به‌وجودآمده‌اند وعده‌ای زیادی ذرات دیگررا نیز به‌وجود آورند.

تجزیه به A و B به‌معنی‌تشکیل‌شدن از A و B نیست.

عدهٔ قریب به‌اتفاق ذرات بنیادی خود به خود تجزیـه می شوند. اما این دلیل آن نیست که تصورکنیم آنهاازمحصولات‌تجزیهٔ خودتشکیل یافته‌اند. رابطهٔ ذرات‌ـ اولاد باذره ـ جدشبیه رابطهٔ گلدان شکسته با تمام ظرف نیست.

مثلاً نوترون را در نظرمی‌گیریم. عمر نوترون آزاد به‌طور متوسط ۱۷ دقیقه است و پس‌از آن به پروتون، الکترون و آنتی‌ـ نوترینو تجزیه می‌شود. اما آشکارا می‌توان‌گفت‌که در اینجا خلق ذرات جدید داریم نه تجزیهٔ دستگاه مرکب به‌اجزای تشکیل دهندهٔ آن. آنتی‌نوترینو مانند فوتون اصلاً می‌تواند فقط درحال حرکت به‌خط مستقیم باسرعت نور وجود داشته باشد وبه همین جهت نمی‌ـ

www.takbook.com



دراین جدول کوچك ذرات بنیادی نمی‌توان در بی‌مشابهت واقعی بود. ما این علایم شرطی را در ردیف علایم شرطی دیگر مورد استفاده قرار می‌دهیم.

تواند درنوترون مانندگنجشك درقفس‌یاسنجاب درچرخ نگهداری شود. پروتون و الکترون می توانند در حقیقت دستگاهی خاص را تشکیل‌دهندکه به‌خوبی شناخته شده‌است- هیدروژن. بعدهاخواهیم دانست‌که الکترون نمی‌تواند در درون پروتون قرارگیرد ونوترون را تشکیل دهد.

www.takbook.com

سایر ذرات نیز دارای وضعی مشابه هستند و فقط در فاصلهٔ زمانی معینی وجود دارند. تجزیهٔ ذره در اصل نشانهٔ بنیادی نبودن آن نیست. نوترون، بدون توجه به ناپایداری آن، ذرهٔ بنیادی محسوب می‌شود ولی هستهٔ اتم هیدروژن سنگین- دوتون، بی‌هیچ شك و شبهه‌ای از نوترون و پروتون ساخته شده است، هرچندکه کاملاً پایدار است.

نابودی بعضی ذرات و پیدایش سایر ذرات در واکنشهای بین ذرات‌بنیادی البته تبدیل است، اما نه به‌سادگی پیدایش ترکیبی از خرده‌های تشکیل دهندهٔ ذرات پیشین. در این مورد برخورد ذره باضدذره یعنی‌ذرهٔ شبیه ولی‌مخالف‌خود مانند الکترون باپوزیترون مثالی‌مناسب‌است. هردوذره درحالت سکون‌دارای‌جرم معین، بار الکتریکی و مشخصات دیگر هستند. اما الکترون و پوزیترون پس از برخورد نابود می‌شوند و دوفوتون به‌وجود می‌آید. فوتونها بار ندارند و دارای جرم در حالت سکون نیز نیستند، زیرا در حالت سکون وجود ندارند.

اشکال ممکن وجود ماده

باری، مجموعهٔ تمام حقایق‌گواه برآن است که نمی‌توان براثر برخورد ها فوق ذره هایی (مانند اجزای تشکیل دهندهٔ الکترون) را جدا کرد. همچنین دلیلی وجود نداردکه محصولات تجزیهٔ ذرات ناپایدار را اجزای تشکیل دهندهٔ آنها بپنداریم. آزمایشهای مستقیم فقط نشان می‌دهندکه تمام ذرات قابل تبدیل به‌یکدیگرند. قابلیت تبدیل همگانی ذرات بر وحدت آنها گواهی می‌دهد.

www.takbook.com

می‌توان تصور کرد که همهٔ آنها از ماده‌ای واحد ساخته شده‌اند. لکن این تصور کاملاً دقیق نیست. ذرات بنیادی همه از ماده‌اند، اما نه کاملاً به آن معنی که مثلاً آجرها از خاك تشکیل یافته‌اند.

تکه خاك می‌تواند شکل آجر را به‌خود بگیرد و می‌تواند هر شکل هندسی دیگر را نیز قبول کند. همهٔ اینها کاملاً ساده است اما درك اینکه خاك، خاك به‌طور اعم، بدون شکلی معین در طبیعت وجود ندارد، مشکل است. درست همین طور، ماده بدون خواص معین اصلاً نیست و نمی‌تواند باشد.

اگر خاك به‌اشکال متفاوت می‌تواند وجود پیدا کند و بین این اشکال تبدیلات یکنواخت دایمی صورت گیرد، پس، تا آنجا که بر ما هم اکنون معلوم است، ماده در هر حالت دلخواه نمی‌تواند یافت شود. ظاهراً ذرات بنیادی تنها اشکال ممکن وجود ماده‌اند.

بین ذرات بنیادی گوناگون هیچ نوع تبدیل بلاانقطاع وجود ندارد. ممکن نیست مثلاً خواص نوترینورا به‌طور یکنواخت‌طوری تغییر داد تا فاصله‌ای که آن را از نزدیکترین همسایه درجدول ذرات بنیادی ـ الکترون، جدا می‌کند، پرشود.

بدیهی‌است وقتی دربارهٔ اشکال وجودماده صحبت می‌شود، نه شکل هندسی بلکه حالات ممکن آن راکه مبین پیچیدگی خواص گوناگون است، کاملاً در نظر داریم.

با وجود این بعید نیست که ذرات بنیادی چیزی جز حالات بینابین معرفت ساختمان ماده، یعنی آنچه قبلاً دربارهٔ اتمها تصور

www.takbook.com

می‌شد، نباشند.

ذرهٔ بنیادی، هرچندتااندازه‌ای، باید ساده باشد

اینکه آیاهمهٔ ذراتی‌که امروزنام بنیادی‌دارند واقعاً شایستهٔ این‌نام هستند، موردتردید است. شاید قسمتی از آنها و احتمالاً قسمت اعظم آنها شایستهٔ این‌نام باشند، دلیل شك و تردید بسیار ساده است: ذرات خیلی زیادند.

. . . ممکن نیست مثلا خواص نوترینو را به‌طور یکنواخت چنان تغییر داد تا فاصله‌ای که آن را از نزدیکترین همسایه درجدول ذرات بنیادی ـ الکترون، جدا می‌کند، پرشود.

کشف ذرهٔ بنیادی جدید همیشه پیروزی برجستهٔ علم را تشکیل می داد و هم اکنون نیز تشکیل می دهد. اما مدتهاست‌که با هر پیروزی نگرانیهایی به وجود می‌آید. پیروزی پس از پیروزی فرا می‌رسد. هم اکنون ۳۵ ذرهٔ نسبتاً پایدار با طول عمر بیشتر از 10^{-17} ثانیه‌کشف شده است. عدهٔ ذرات کوتاه عمر با طول عمر از مرتبه 10^{-22}ـ10^{-23} ثانیه از دویست متجاوز است.

www.takbook.com

وجود عده‌ای زیاد از ذرات این فکر را ایجاد می‌کند که همهٔ آنها به یک اندازه بنیادی نیستند. بسیاری از آنها احتمالاً مرکبند. ولی به طور موثق معلوم نیست که در بین این ذرات کدام بنیادی و کدام مرکب است. در هرصورت اکنون مدلی پیشنهاد شده است که برطبق آن بسیاری از ذرات بنیادی، هرچند نه همهٔ آنها، فقط از شش ذرهٔ اصلی متفاوت ساخته شده‌اند.

دراین کتاب ازچه صحبت می‌کنیم؟

همانطور که ملاحظه کردید ایجاد تصوری روشن‌دراین باره‌که ذرهٔ بنیادی‌چیست وفصل اول‌کتاب نیز به‌آن اختصاص‌داده شده‌است، به‌هیچ‌وجه ساده نیست. اگرپس ازخواندن این‌فصل نیزبه‌دانستنیهای شمادراین باره‌که ذرهٔ بنیادی‌چیست، به‌طوری قابل‌ملاحظه افزوده نشد (مؤلف در این مورد مخصوصاً توقعی ندارد)، اما می توان امیدوار بود بعضی تصورات در شما پیدا شده است.

در این کتاب بیشتر در بارهٔ چیزهای مشخصتر سخن رفته است. البته جدول ذرات بنیادی نسبتاً پایدار آورده شده است. در مورد طبقه‌بندی دراین‌اواخر موفقیتهای بسیاری به‌دست‌آمده است. صرف نظر ازهمهٔ پیچیدگیهای روابط بین‌ذرات‌بنیادی، طبقه‌بندی ذرات تقریباً در همان سطح علمی شبیه جدول تناوبی عناصرزمان مندلیف به‌وجود آمده است. همان گونه‌که مندلیف ساختمان اتم را نمی‌شناخت ولی به‌کمك جدول تناوبی عناصر خود، وجود و خواص عمدهٔ بعضی عناصر را پیشگویی کرد، نظام بین ذرات بنیادی سنگین نیز پیشگویی وجود بسیاری از ذرات و خواص آنها

www.takbook.com

را ممکن می‌سازد.

ذرات بنیادی به‌یکدیگر تبدیل می‌شوند و دو مسألهٔ مهم را پیش روی ما قرار می‌دهند: چه چیز باعث این تبدیلات می‌شود؟ چه تبدیلاتی امکان وجود پیدا می‌کنند؟

تأثیرمتقابلهٔ ذرات باعث تبدیل آنها می‌شود. پس لازم است دربارهٔ انواع تأثیرات متقابله یانیروها، همانطورکه درسابق مورد قبول واقع شده بود ویااین‌که برطبق عادت امروز هم‌گفته می‌شود صحبت‌کنیم، هرچندکه‌کلمهٔ « نیرو » در مورد ذرات بنیادی آن مفهومی راکه درمکانیك نیوتون به‌دست‌آورده است. اصلاً ندارد.

بر اثر تبدیل ذرات بنیادی جرم، بار ذرات و بسیاری از کمیتهای دیگر مبین خواص آنها تغییر می‌کند. لکن دنیای ذرات بنیادی‌که در آن هستی خود ذرات زودگذر است، در چهارچوب سخت قوانین بقا قرار داده شده است. قوانین بقا در دنیای خُرد نقشی عظیم را بازی می‌کنند و قوانین جدید بقاکه بر اثر مطالعهٔ ذرات بنیادی‌کشف شده‌اند، جایی عمده را درشرح داستان ذرات بنیادی اشغال می‌کنند. بااینکه دانشمندان به‌خوبی نمی‌دانندکه ذرهٔ بنیادی چیست، ساختمان آن را نمی‌شناسند و نمی‌توانند به طرزی کاملاً رضایت بخش اثر متقابلهٔ ذرات بنیادی را از نظرکمی توصیف‌کنند، با اتکا برقوانین بقا توانسته‌اند نظمی معین در دنیای خُرد بیابند، بربسیاری از اسرار دست یابند و پیشگوییهایی بکنند.

درك فرایندهای دنیای خُرد را، هر چند که کامل نیست، مدیون دوتئوری بزرگ قرن بیستم هستیم: تئوری نسبیت ومکانیك-

www.takbook.com

کوانتمی. بدون آنها بشر دربرابر پدیده‌های غیرعادی اعماق ماده ناتوان می‌بود. دربارهٔ این تئوریها نیز لازم است مختصری صحبت کنیم.

مطالب فراوان است، ولی در حالی که کوشش نمی‌کنیم از توالی تاریخی کشف همهٔ ذرات پیروی کنیم، سعی خواهیم کرد به اختصار برگزار کنیم. جدول آمادهٔ ذرات بنیادی را خواهیم آورد، امانه درصفحهٔ بعد. قبل ازهمه لازم است دراین باره که ذرهٔ بنیادی چگونه مطالعه و مشاهده می‌شود، صحبت کنیم.

www.takbook.com

فصل دوم

در باب کوششهای جدی برای دیدن ذرات بنیادی

می‌توان گفت که این کار شبیه به کوشش برای تشخیص ساختمان هواپیمای جت از روی اثر دود ما نندی است که باقی می‌گذارد.
ك. فورد
« دنیای ذرات بنیادی »

دموکریت، گالیله، ماخ واتاق ویلسون

مدتها است که دیگر مردم اعتقاد به امکان تشخیص علت‌العلل هرچیز را با نشستن پشت میز تحریر یاسیر وسیاحت دراطراف ستاره‌ها وتأمل دربارهٔ این که جهان چگونه می‌تواند باشد، ازدست داده‌اند. دموکریت، لوکرسیوس کار[1] و دیگران با استنباط داهیانهٔ خود

۱- Titus Lucretius Carus شاعر و فیلسوف رومی (۵۵ - ۹۵ قبل از میلاد)

www.takbook.com

توانستند نظریهٔ اتمی راکه به‌طورکلی طبیعت اشیارا به‌درستی نشان می دهد، ابرازکنند. اما با تمام این احوال پیشرفت حقیقی علم به مفهوم امروزی کلمه از زمان گالیله شروع شد ـ در این زمان بـه جستجوی قوانین طبیعت که از نظر کمی قـابل فرمولبندی بـود، پرداختند.

علم در راه تعمیمهای تئوریك که متکی بربیان خود طبیعت است، به نتایجی خیره‌کننده نایل شده است و مهمتر ازهمه اعتماد به‌قابلیت شناخت نامحدود جهان را پایه‌گذاری کرده است.

به‌راستی باید گفت که زمانی بسیاری ازدانشمندان دچارافراط‌ـ کاریهایی دیگر در مقایسه با متفکران قدیمی شدند. آنان تصور می‌کردند تنها مسألهٔ علمی توصیف پدیده‌های ماکروسکوپی است که مستقیماً قابل رؤیت هستند. این زمان خیلی دور نبود. در آخر قرن ۱۹ وقتی در ابتدای قرن ۲۰ فیزیکدانانی بزرگ چون ماخ کوشش در راه استفاده ازموجودات خارج از احساس چون اتمها و مولکولها را درعلم جایز نمی شمردند. آنها می‌گفتندکه نه تنها به دست آوردن اطلاعات انکار ناپذیر از خواص اتمها بلکه حتی اثبات وجود آنها به‌طور تجربی نیزامکان پذیر نیست.

از آن زمـان چند ده سال گذشته و هـرکس باچشمان خود ممکن است نه تنها به‌وجود اتمها معتقد شود بلکه تبدیلات آنها را در اتاق ویلسون مشاهده کند.

اکنون همه می‌دانندکه بدون اطلاعات عظیم که ابزارهای گوناگون‌ازدنیای خُرد دراختیارما می گذارند، هرگزنمی‌توانستیم

www.takbook.com

حتی تصوری از پیچیدگی پدیده‌های دنیای خُرد داشته باشیم.

دربارهٔ اندازه‌های دنیای خُرد

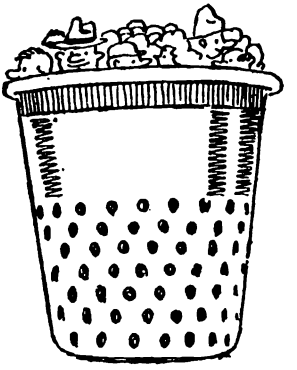
مشاهدهٔ خود ذرات بنیادی، دیدن‌مستقیم آنها بدون چشمان مسلح به علت اندازه های فوق‌العاده کوچك آنها میسر نیست.

اندازهٔ ذرهٔ بنیادی مفهومی بسیار مبهم است. ذرات خُرد هیچگونه مرز روشن ندارند. آزمایشهای اخیر براساس پراکندگی الکترونها روی پروتونها امکان ارزشیابی ابعاد پروتون را فراهم ساخته‌اند. تراکم بار الکتریکی در پروتون به طور یکنواخت از مرکز به‌سوی نقاط دور افتاده‌کاهش می‌یابد، طوری‌که درفاصلهٔ $۱۰^{-۱۳}$ سانتیمتری چند بارکمترمی‌شود. همین فاصله است‌که ابعاد پروتون فرض شده است. نوترون نیز دارای همین ابعاد است. دربارهٔ ابعاد الکترون فقط می‌توان گفت که از $۱۰^{-۱۴}$ سانتیمتر تجاوز نمی‌کند.

اگر ذرات با ابعاد به این کوچکی را می‌شد تنگ هم چید، درآن صورت حجم ۶۰ـ۷۰ لیتری بدن انسان، مکعبی با پهلو های ۰/۱ میلیمتر را اشغال می‌کرد و دریك انگشتانه ممکن بود چندین هزار انسان را جا داد.

ذرات در هسته حقیقتاً نزدیك هم جا گرفته‌اند و اگر میدان الکتریکی فضای اتم به‌حساب نیاید، درون اتم فوق‌العاده خالی است. اتم به مراتب خالی‌تر از منظومهٔ شمسی ما است. اگر اتم ناگهان تاابعاد مدار زمین بزرگ شود، در آن صورت هسته هزار بارکوچکتر از خورشید می‌شود.

www.takbook.com



ممکن بود چندین هزار انسان
را در یك انگشتانه جا داد.

باید رد ذرات را یافت

هرچند دیدن ذرات بنیادی امکان پذیرنیست، با این حال دانشمندان آموخته اند رد بعضی ذرات بنیادی را بیابند و حتی زنجیر طویل تبدیلات متقابل آنها را مشاهده کنند. همچنین موفق شده‌اند خواص گوناگون ذرات بنیادی را دقیقاً آشکار و توصیف کنند.

خود ذرات را نمی‌توان دید اما به‌کمك حیله‌هایی می‌توان آثاری را که از آنها در ماده باقی می‌ماند مشاهده کرد. به‌طریقی مشابه، اما بدون هیچگونه حیله‌ای ما اغلب رد هواپیما را در آسمان می‌بینیم ـ ابری نازك از بلورهای یخ، هرچندکه خود هواپیما را نمی‌توان دید.

آثاری‌که از ذرات در دستگاهها باقی می‌ماند منبع مهم اطلاعات دربارهٔ رفتار و خواص آنهاست. منظرهٔ آثار ذرات بنیادی در اتاق ویلسون تأثیری شدید برانسان می‌بخشد و به طرزی غیر عادی احساس تماس نزدیك با دنیای خُرد را ایجاد می‌کند. اماکار فقط با دیدن به‌پایان نمی‌رسد. از تصویرهای آثار

www.takbook.com

ذرات متفاوت باید اطلاعاتی دربارهٔ خود ذرات به‌دست آورد. این مسأله‌ای است که از نظر دشواری به‌مسأله‌ای که در سرفصل از آن گفتگو شده نزدیك است. فیزیکدان در موقعیت مهندسی قرار دارد که به‌وی پیشنهاد کرده‌اند تنها با در اختیار داشتن تصویر آثار ابری هواپیما آن را بسازد.

با وجود این دانشمندان مسألهٔ تحقیق خواص ذرات بنیادی را حل کرده‌اند، با موفقیت کامل نیز حل کرده‌اند. برای این کار تأسیس و ایجاد دستگاههای تحقیقاتی غول پیکر مانند شتابدهنده‌های ذرات باردار لازم است. بنای این دستگاهها از نظر ارزش با ساختمان شهر دهها هزار نفری قابل مقایسه است.

پنجره‌ای به دنیای خُرد

هروسیلهٔ ثبات ذرات بنیادی شبیه تفنگ پر با چخماق کشیده است. کافی است تابا نیرویی اندك به‌ماشهٔ تفنگ فشار واردکنیم ونتیجه‌ای غیر قابل مقایسه با نیروی مصرفی، حاصل می‌شود ـ شلیك.

دستگاه ثبات سازمانی است کم و بیش پیچیده (سیستم ماکروسکوپی) که می‌تواند در حالت نا پایدار قرار گیرد. بر اثر تحریك مختصر به وسیلهٔ ذرهٔ بنیادی، فرایند شدید تبدیل سیستم به حالت جدید پایدارتر شروع می‌شودکه ثبت ذره را امکان‌پذیر می‌سازد.

عینی‌ترین و دقیقترین اطلاعات دربارهٔ حوادث دنیای خُرد به‌کمك اتاق ویلسون و خواهرکوچك آن ـ اتاق حبابی به دست می‌آید. این دستگاهها را می‌توان پنجره‌هایی به‌دنیای خُرد نامید.

www.takbook.com

اتاق ویلسون که درسال ۱۹۱۲ ساخته شد، ظرفی کاملاً بسته بادیواره‌های شفاف پر از بخار آب یا بخار الکل نزدیك به‌حالت سیر شده است. پیستونی متحرك کف اتاق را تشکیل می‌دهد. بر اثر پایین کشیدن سریع پیستون، گاز در اتاق انبساط پیدا می‌کند و در عین حال سرد می‌شود، زیرا بر اثر انبساط کاری انجام می‌دهد و قسمتی از انرژی داخلی خود را به‌مصرف می‌رساند.

بخارات به‌صورت فوق‌العاده ناپایدار و قابل تراکم در می‌آیند. بهترین مراکز تراکم یونهایی هستندکه به وسیلهٔ ذره‌ای باردار و سریع با جدا شدن الکترون از اتمهای خنثی به‌وجود می‌آیند. اگر ذرهٔ یونیزه قبل از انبساط یا بلافاصله پس از آن در اتاق نفوذ کند، در طول زنجیر یونهایی که تشکیل می‌دهد، تراکم بخارصورت می‌گیرد. قطرات آب روی یونها اثرابری مسیرذرات را تشکیل می‌دهندکه می‌توان باچشمان عادی دید و عکسبرداری کرد. موفق شده‌اند از روی طول مسیر، انرژی ذره را معین کنند و از روی عدهٔ قطرات در واحد طول مسیر، مقدار سرعت را برآوردکنند.

د. و. اسکوبلتسین[۱] فیزیکدان شوروی روشی ساده پیشنهاد کرده است که امکان می‌دهد با عکسبرداری مسیرها اطلاعاتی مهم دربارهٔ ذرات به دست آید. اتاق ویلسون را در میدان مغناطیسی قرار می‌دهند، در این عمل خط سیر ذرهٔ باردار منحرف می‌شود. از روی انحنا و جهت انحراف خط سیر می‌توان علامت بار ذره

۱- D. V. Skobeltcin

www.takbook.com

و رابطهٔ بار با جرم را معین کرد.

وقتی که با ذرات خنثی سروکار داریم، وضع بدتر است. ذرات خنثی در اتاق ویلسون اثری به‌جا نمی‌گذارند، زیرا باری ندارند تا موجب یونیزاسیون اتمها شوند. دربارهٔ حضور آنها فقط می‌توان از روی آثار ثانوی قضاوت کرد: به‌وسیلهٔ برخورد با ذرات باردار، تجزیه به‌ذرات باردار و غیره

جالبترین وقایع دردنیای خُرد هنگام برخوردهای ذرات با انرژی زیاد روی می‌دهد. سریهای کامل تبدیلات پی در پی ذرات سنگینتر به‌سبکتر را می‌توان مشاهده کرد، امانه‌در اتاق‌ویلسون. به‌سبب غلظت ناچیز موادکارگر اتاق (گاز) ، تحقیق و بررسی زنجیر طولانی خلقها و تجزیه‌های ذرات ممکن نیست. ذرات با انرژی زیاد، بدون اینکه در معرض تبدیلی قرارگیرند، به‌سرعت اتاق را ترك می‌کنند.

در سال ۱۹۵۲ فیزیکدانان این مسأله را نیز حل کردند و اتاق حبابی را ساختند. این اتاقرا از مایع (اغلب هیدروژن یا پروپان مایع) پرمی‌کنند. با وجود اینکه درجهٔ حرارت مایع بالاتر از درجهٔ حرارت جوش آن در فشار اتمسفر است، مایع نمی‌جوشد، زیرا تحت‌فشاری زیادکه ازجوشیدن آن جلوگیری می‌کند، قراردارد، بر اثر نزول سریع فشار، مایع مدتی‌کوتاه در حالت ناپایدار باقی می‌ماند. برای اینکه مایع بجوشد، مرکزی برای ایجاد بخار لازم است. ذرات باردار سریع نیزچنین مراکزی به‌صورت زنجیریونها تشکیل می‌دهند. حبابهای بخارکه مسیر ذرات را تشکیل می‌دهند،

www.takbook.com

روی یونها به‌وجود می‌آیند (شکل ۱)[۱].

به‌علت تراکم زیاد مایع (در مقایسه با تراکم گاز) ذرات به‌سرعت انرژی خود را از دست می‌دهند. حرکت ذرات به‌اندازهٔ کافی کند می‌شود وحتی ذرات دارای انرژی زیاد نیزدراتاق معطل می‌شوند. این عمل امکان می‌دهدکه تجزیهٔ ذره (یاسری تجزیه‌های پی در پی) و همچنین واکنشهای حاصل از آن را مشاهده کرد. اکثر ذرات بنیادی اخیراً به‌کمك اتاقهای حبابی کشف شده‌اند.

دربارهٔ چه مسائلی صحبت نخواهیم کرد

دربارهٔ سایر دستگاههای ثبت ذرات بنیادی صحبت بسیاراست. دربارهٔ فتوامولسیونها، دربارهٔ انواع کنتورهای ذرات و .... می‌شد وارد جزئیات شد و دید چگونه فیزیکدانان پلی بین آثار ابری دراتاق وخواص خود ذرات برقرارمی‌کنند. اگر به‌شرح داستان دسته‌های نیرومند ذرات با انرژی عظیم قابل کنترل که فیزیکدانان در اختیار دارند بپردازیم ، قسمت اعظم یا تمام کتاب را شامل می‌شود.

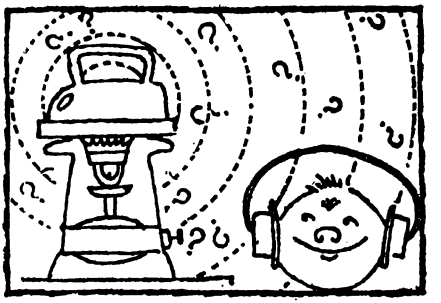
رویهمرفته از این مطالب درکتاب تقریباً اشاره‌ای نخواهیم کرد. هدف ما آشنایی باخواص ذرات و قوانین تبدیل متقابل آنها است. به‌همین جهت فقط درجایی که کاملاً لازم است، از روشهای تحقیق ومطالعهٔ دنیای خُرد یاد خواهیم کرد.

۱ـ تصویرهایی که شمارهٔ آنها در متن مشخص شده است، در صفحه‌های آخر کتاب جا داده شده است.

www.takbook.com

فصل سوم

در باب این‌که اندیشه‌های فیزیك قرن‌بیستم قابل درك نیست



اغلب می‌گویند که « طبیعت ساده است ». نادرست‌است! این اندیشهٔ ماست که به‌سادگی می‌گراید تا مساعی زیاد به خرج ندهد.

بریوئن[1]
« مسائل و اخبار علمی »

تراژدی درآستانهٔ قرن بیستم

در آستانهٔ قرن بیستم انقلابی عظیم روی داد. در این زمان بی‌پایگی و ورشکستگی اصول اساسی فیزیك در برابر حقایق جدید آشکار شد. فیزیکدانان ازمرز دنیای ناشناختهٔ جدیدی به‌نام دنیای خُرد گذشتند.

۱- L. Brillouin

www.takbook.com

در اینجا نیز از همان نخستین گامها رشتهٔ کشفیات گیج کننده یکی پس ازدیگری فرارسید. بنابه گفتهٔ لانژون[۱] فیزیکدان فرانسوی طبیعت همانند عروسکهای چوبی بچه‌ها ـ اسباب بازیهایی بااشکال یکنواخت که یکی در دیگری جا می گیرد و فقط در اندازه تفاوت دارند ـ نیست. درطبیعت کاهش مقیاسها تااتم با تغییرشدید خواص و قوانین فیزیکی همراه است.

ضربه برتصوراتی که عادی‌شده بودندمخصوصاً محسوس بود. درآخرقرن نوزدهم حتی فیزیکدانان برجسته معتقد بودندکه قوانین اساسی‌طبیعت کشف شده است وفقط این باقی مانده‌است که ازآنها درتوضیح پدیده‌ها و فرایندهای گوناگون استفاده کنیم.

پیش از این اصول اساسی مکانیك نیوتون، الکترودینامیك ماکسول و رشته‌های دیگر فیزیك بیش از پیش دلایل جدید برحقانیت خویش به‌دست می آوردند. به‌همین‌جهت همین که قوانینی کشف می‌شد که از بعضی جهات فرایندها را توجیه می کرد، همه چیز قطعی به‌نظر می‌رسید، یك بار برای همیشه.

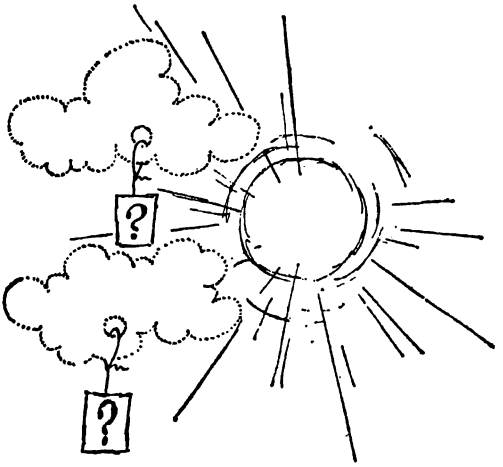
به مغز کسی خطور نمی کرد که قوانین نیوتون که مدتها از بدیهیات بود، باکاهش مثلاً جرم اجسام یا افزایش سرعت آنها، بی‌پایه ازآب درآید.

کلوین[۲] یکی از بزرگترین فیزیکدانان قرن ۱۹ دربارهٔ افق روشن علم بااطمینان کامل نوشت که درآن فقط دوپاره ابرکوچك می‌بیند. اولی نتیجهٔ منفی آزمایش مایکلسون[۳] بود. این آزمایش

۱ـ P. Langeuin ۲ـ Kelvin ۳ـ A. A. Michelson

www.takbook.com

به‌این منظور صورت گرفته‌بود تانشان دهدکه سرعت انتشار نور با جهت حرکت نور نسبت به‌کرهٔ زمین‌که در فضا حرکت می‌کند بستگی دارد. دومی نتیجه‌ای بیهوده بودکه ازتئوری تشعشع الکترو-ماگنتیك امواج به‌وسیلهٔ جسم گرم شده حاصل می‌شد ـ هرجسم باید از راه تشعشع تمام انرژی داخلی خود را از دست بدهد و تا صفر مطلق سرد شود.



لکن این دو حقیقت ناگوار در زمینهٔ کلی‌موفقیتهای علم وقفه تصادفی می‌نمودند که به زودی برطرف می‌شدند. فقط‌دانشمندی برجسته چون کلوین توانست‌به‌این‌حقایق توجه مخصوص‌مبذول‌دارد. آخرپدیده‌های نامفهوم بسیاری وجود داشت که نظر دقت دانشمندان را به خود جلب‌کرده بود.

باگذشت زمان بیش از پیش به‌روشنی آشکار شدکه این پدیده‌ها به‌هیچ وجه درچهارچوب فیزیك تکامل یافتهٔ آخر قرن ۱۹ که اینك‌کلاسیك نامیده می‌شود جا نمی‌گیرند.

غیرعادی بودن نتیجهٔ آزمایش مایکلسون چشمگیربود ولازم بود اهمیت این نتیجه را به طورکامل برآوردکرد. آخر نمی‌توان

www.takbook.com

تصور کرد که سرعت انسانی که روی پلهٔ برقی مترو درحرکت است، نسبت به کرهٔ زمین به‌سرعت خود پله بستگی نداشته باشد، سرعت نور هم نسبت به بیننده، برخلاف تصورات عادی، بستگی به آن ندارد که بیننده به‌سوی موج نورانی حرکت می‌کند یا که از آن دور می‌شود.

اما تشعشع حرارتی. روشن نبود چرا تئوریی که به طرزی درخشان تشعشع امواج الکترو ماگنتیك را به‌کمك آنتن توضیح می‌دهد وحتی وجود خوداین امواج را پیشگویی می‌کند، قادرنیست

کلوین دربارهٔ افق روشن علم با اطمینان کامل نوشت که فقط دو پاره ابر کوچك می‌بیند.

برای فرایند تشعشع امواج الکترو ماگنتیك به‌وسیلهٔ جسم گرم شدهٔ عادی توضیح کمی بدهد. جدی‌ترین مباحثات که براساس قوانین مکانیك و الکترو ماگنتیك قرار داشتند، به‌تناقض فاحش باتجربه منجر می‌شدند. هیچ حیله‌ای تئوری را ازتناقض با این استنباط که گویا انرژی نمی‌تواند درجسم گرم شده باقی بماند واجباراً به‌طور کامل به‌تشعشع تبدیل می‌شود، نجات نمی‌داد. تعادل حرارتی بین اجسام و تشعشع نمی‌تواند وجود پیداکند و همهٔ اجسام باید تاصفر مطلق سرد شوند.

www.takbook.com

در واقع هم تعادل حرارتی بین اجسام و تشعشع بر قرار می‌شود. اما چگونه؟ ماکس پلانك[1] برای نجات این نظریه، با وجود تناقض کامل با تصورات موجود، فرض کرد نه‌تنها ماده از ذرات جداگانه تشکیل یافته‌است، بلکه انرژی نیزدربسیاری موارد فقط مقادیر انفصالی را می‌پذیرد.

با این ترتیب ناشایستگی فیزیك‌کلاسیك در توضیح بعضی پدیده‌ها نه تنها آشکار شد بلکه قطعی به‌نظر رسید.

یکی دیگر از کشفیات قرن نوزدهم، هرچندکه با قوانین اساسی معلوم تناقض نداشت، تصورات دربارهٔ ساختمان جهان را اساساً تغییر می‌داد. در این زمان معلوم شد که خشتهای اساسی جهان‌یعنی اتمها دچار ویرانی شده‌اند. تجزیهٔ رادیوآکتیوی دراین مسأله شکی باقی نگذاشت.

الکترون خواصی عجیب را آشکار ساخت. آزمایشهای مستقیم نشان دادکه جرم الکترون باسرعت زیاد می‌شود. معلوم شدکه ویژگی اساسی ماده یعنی جرم‌که از زبان نیوتون غیر قابل تغییر محسوب می‌شد، به‌سرعت بستگی دارد. در آن زمان جرم را همچون مقدار مادهٔ موجود در جسم مورد مطالعه قرار می‌دادند.

همهٔ این حوادث بی‌سابقه برای علم درمدتی‌کوتاه روی داد و متفکران راگیج کرد. اس اساس یعنی مکانیك نیوتون والکترو-دینامیك ماکسول ویران شده بود. مفاهیم اساسی سست و بی‌پایه ازآب درآمدند. سراسیمگی حتی بربسیاری از فیزیکدانان بزرگ

۱- Planck

www.takbook.com

دست یافت.

اما همهٔ این دشواریها درنتیجهٔغایی، تکیه‌گاهی برای جهش به‌سوی تئوریهای جدید قرن بیستم یعنی تئوریهای نسبیت و مکانیك کوانتمی شدند. این تئوریها درگشودن پیچیده‌ترین گرههای نظام دنیای خُردکمك‌کردند.

در ماهیت این تئوریها توقفی خیلی کوتاه خواهیم داشت و توجه خود را بیشتر معطوف نتایجی خواهیم کرد که برای درك خواص ذرات بنیادی و تبدیلات آنها لازم است.

تئوری نسبیت خصوصی

آزمایش‌مایکلسون‌آشکارا نشان‌دادکه‌سرعت نور به‌حرکت منبع و گیرندهٔ نور بستگی‌ندارد و همیشه در خلاء مساوی با ۲۹۹۷۹۲ کیلومتر در ثانیه است.

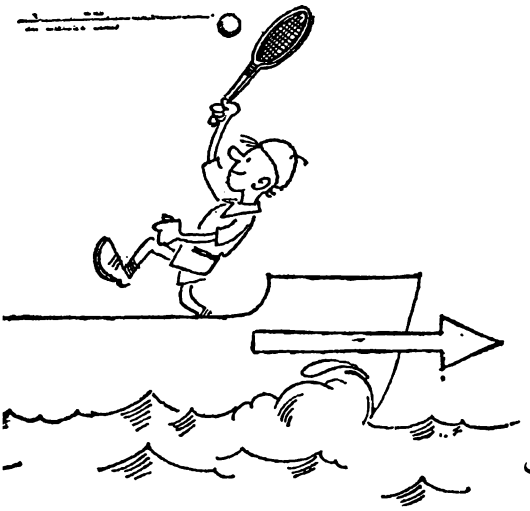
از طرف دیگر از زمان گالیله اصل نسبیت به‌خوبی آشکار شده بود وبارها باآزمایشهای مکانیکی گوناگون تحقیق شده بود. مطابق این اصل حرکت مستقیم‌الخط یکنواخت دستگاه به‌هیچ وجه تأثیری برجریان فرایندهای مکانیکی داخل این‌دستگاه ندارد. مثلاً شما می‌توانید روی‌کشتی، صرف نظر از این‌که لنگر انداخته است یا اقیانوس اطلس را می‌پیماید، به‌راحتی تنیس بازی‌کنید.

اگر قوانین مکانیك نیوتون نسبت به‌یك دستگاه مقایسه‌ای صادق است پس در هردستگاهی‌که نسبت به دستگاه مقایسه‌ای با سرعت‌یکنواخت درحال حرکت‌است، صدق‌می‌کند. چنین‌دستگاه مقایسه ای را اینرسیال می‌گویند. دستگاه مربوط به خورشید و

www.takbook.com

ستارگان ثابت نیز اینرسیال‌است.

اینشتین اصل نسبیت گالیله، اصل برابری دستگاههای مقایسه‌ای اینرسیال را روی فرایندهای هرطبیعتی و از آن جمله فرایندهای الکترو ماگنتیك بسط داد. اینشتین براساس کارهای لورنتس[1] ودانشمندان دیگر تئوری جدید مکان و زمان یعنی‌تئوری نسبیت‌را پایه‌گذاری کرد.



مطلب‌دراین‌است که‌اصل‌نسبیت‌و‌تغییر ناپذیری سرعت نور در هردستگاه مقایسه ای با تصور عادی دربارهٔ مکان وزمان که در ذهن ما ریشه دوانده‌است، مطابقت ندارد.

مطابق‌تصورات معمولی‌فاصلهٔ بین‌دونقطه‌به‌دستگاه مقایسه‌ای بستگی ندارد و درنتیجه، حرکت به‌هیچ وجه تأثیری در اندازه‌های هندسی جسم ندارد. گذشت زمان نیز چه در دستگاه متحرك وچه در دستگاه ساکن یکسان صورت می‌گیرد.

برطبق تئوریهای جدید طول، مدت زمان، جرم و بسیاری

۱- Lorentz

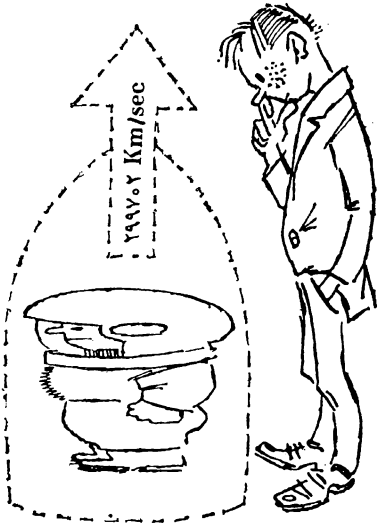
www.takbook.com

کمیتهای دیگر که مدتها مطلق به‌حساب می‌آمدند، در حقیقت فقط نسبت به‌دستگاه مقایسه‌ای مشخص مقداری معین دارند و همانطور که می‌گویند، نسبی هستند. وانگهی این‌خواص کمیتها تنها وقتی محسوس است که سرعت حرکت نزدیك به سرعت نور باشد. سرعت نور درخلاء اهمیت اساسی در طبیعت دارد. حتی یك جسم مادی نمی‌تواند با سرعت مافوق سرعت نور حرکت کند.

شما می‌توانید روی کشتی، صرف نظر از این‌که لنگر انداخته است یا اقیانوس اطلس را می‌پیماید، به راحتی تنیس بازی کنید.

زمان در دستگاه متحرك کندتر جریان دارد. مثلاً وقتی که ساعتهای کرهٔ زمین صدساعت را نشان می‌دهند، ساعت در راکتی که با سرعت ۲۹۹۷۰۲ کیلومتر در ثانیه (۹۰ کیلومتر درثانیه کمتر از سرعت نور) پرواز می‌کند، فقط گذشت یك ساعت را نشان

www.takbook.com



اگر بدن فضانوردی که با سرعت ۲۹۹۷۰۲ کیلومتر درثانیه پرواز می‌کند، درجهت‌حرکت قرارگیرد، بیش از دو سانتیمتر (در مقیاس معمولی) قد نخواهد داشت.

می‌دهد. اگر این‌کندی زمان برای راکتهای امروزی آنقدرکم است‌که امکان تشخیص آن وجود ندارد، درعوض برای ذرات بنیادی ناپایداربسیار زیاد است. آزمایشهای مستقیم نشان می‌دهند که هرچه سرعت مزونها و ذرات بنیادی دیگربیشترباشد، عمرآنها درازتر است. مثلاً طول عمر π^+ ــ مزون یا π^- ــ مزون که با سرعت ۹۹/۵ درصد سرعت نور حرکت می‌کند، در مقایسه با طول عمر مزون‌کند ده بار بیشتر است.

آهنگ زمان برای ذرات سریع‌کند می‌شود. به همین جهت درجدول ذرات بنیادی طول عمر ذرات‌کند را نشان می‌دهد.

تغییراتی مشابه باآن نیز دراندازه‌های اشیا صورت می‌گیرد. اگر بدن فضانوردی‌که با سرعت ۲۹۹۷۰۲ کیلومتر درثانیه پرواز می‌کند، درجهت حرکت‌قرارگیرد، بیش از دو سانتیمتر(درمقیاس

www.takbook.com

معمولی) قد نخواهد داشت. شگفت‌آورتر این است که خود فضا-نورد هیچگونه تغییری در اندازه‌های خود احساس نمی‌کند، اما اگر به ما نگاه کند، می‌بیند که اندازهٔ همهٔ اشیا و مردم کرهٔ زمین درجهت حرکت صدبار کوچکتر می‌شود و همه چیز به‌طرزی عجیب پهن‌تر و کوتاه‌تر می‌نماید.

کاهش اندازه‌ها همانندتغییرات گذشت زمان دارای خواصی قابل توجه است. دراینجا به‌قول دانشمند انگلیسی ادینگتون[1] ضد و نقیضهایی حاصل می‌شود، خارق‌العاده‌تر از آنچه درکتاب سویفت[2] باآن‌روبرو می‌شویم. گولیورلیلیپوتها راکوتوله می‌داند ولیلیپوتها گولیور را چون غول به‌نظر می‌آورند. این کاملاً طبیعی است. اما آیا این طور هم می‌تواند باشدکه گولیور لیلیپوتها راکوتوله بداند ولیلیپوتها نیزگولیور را همچون کوتوله‌ای به‌نظرآورند؟ ادینگتون فریاد برمی‌آورد: «نه! این‌حتی برای داستان‌هم کاملاً بیمعنی‌است. این چیزها را فقط درکتابهای علمی جدی می‌توان پیداکرد ».

جرم و انرژی

دانستن و حتی فهمیدن اساس تئوری نسبیت برای ما الزام‌آور نیست. دو نتیجهٔ تئوری نسبیت برای فیزیکدانان در رشتهٔ ذرات‌بنیادی دراصل اهمیت زیاد دارد وبایدمورد بررسی قرارگیرد. هردوآنها به‌خواص‌مکان‌وزمان مربوط نیستند بلکه با خصلتهای دینامیکی ماده یعنی جرم و انرژی ارتباط دارند.

جرم درمکانیك نیوتون از ویژگیهای اساسی هرجسم است.

۱- Eddington ۲- Swift

www.takbook.com

جرم بی‌تفاوتی خواص یعنی قابلیت دریافت هرشتابی تحت اثر نیروهای خارجی را معین می‌کند.

هزاران آزمایش بی‌تغییری مطلق جرم جسم را، در صورتی که به‌ذرات تقسیم نشود، نشان داده‌اند.

درمکانیك نسبی جدید جرم هرجسم به‌سرعت آن بستگی‌دارد. اگرجرم‌جسم ساکن‌مساوی با m_0 باشد، درموقع حرکت باسرعت v مساوی‌با:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (1)$$

خواهد بود. با نزدیکی v به c جرم به بینهایت میل می‌کند (شکل ۲) . به‌همین جهت سرعت هیچ جسمی را نمی‌توان به‌سرعت نور رساند.

جرم ذرات بنیادی بسیار ناچیز است و به‌همین جهت نسبتاً به‌آسانی می‌توان به‌آنها سرعت زیاد نزدیك به‌سرعت نور داد. سرعت الکترونها در اتم تقریباً ۱۰۰ بارکمتر از سرعت نور است. اماذراتی‌که درشتابدهنده‌های امروزی‌رانده می‌شوندسرعتی نزدیك به‌سرعت‌نور پیدا می‌کنند. جرم‌پروتون در شتابدهنده‌های بزرگ، در جریان شتاب دادن، دهها بار افزایش می‌یابد. ذرات سریع به‌سبب رشد جرم باافزایش سرعت، قابلیت تولید سری‌کاملی از ذرات جدید را پیدا می‌کنند.

همانطورکه‌گفته شد فوتون و نوترینو همیشه باسرعت نور

www.takbook.com

حرکت می‌کنند. این ذرات درحالت سکون وجود ندارند و همین که به‌وجود می‌آیند باسرعت نور به‌جلو می‌تازند. تعیین جرم‌فوتون یانوترینواز فرمول(۱)ممکن نیست. امااین‌جرم‌را می‌توان بااستفاده از دومین واساسی‌ترین نتیجهٔ تئوری نسبیت به‌دقت معین‌کرد، وآن فرمول اینشتین دربارهٔ ارتباط متقابل جرم باانرژی است.

$$E = mC^2 \qquad (۲)$$

E انرژی جسم، m جرم آن و C سرعت نور است.

حتی‌اگرجسم یاذره ساکن‌باشد انرژی‌درحالت سکون‌باجرم درحالت سکون مربوط است:

$$E_0 = m_0C^2$$

باافزودن‌تدریجی‌سرعت‌حرکت جسم، انرژی‌جنبشی‌به‌انرژی خود آن یعنی انرژی درحالت سکون اضافه می‌شود. فقط فوتون ونوترینو انرژی درحالت سکون ندارند. فرمول (۲) اجازه می‌دهد تا جرم ذرات را از روی انرژی آنها محاسبه‌کنیم.

برطبق فرمول (۲) هر تغییر انرژی دستگاه باتغییرات جرم آن ارتباط دارد. مثلاً جرم جسم براثرگرم شدن افزایش‌می‌یابد وبراثر سرد شدن‌کاهش پیدا می‌کند. معذلك این اثرفوق‌العاده ناچیزاست، زیرا ضریب تناسب بین‌جرم و انرژی یعنی مجذور سرعت نور خیلی زیاد و تغییرات انرژی بر اثر مبادلهٔ حرارتی معمولاً ناچیز است. به‌همین جهت مشاهدهٔ تغییر جرم بر اثر حرارت به‌طور تجربی‌امکان ندارد. در واکنشهای شیمیایی هم تغییرات جرم محسوس نیست، زیرا انرژی خارج شده یا جذب شده بر اثر این واکنشها نا چیز

www.takbook.com

است. ارزش انرژتیك یك گرم جرم- مجذور سرعت نور- کمیتی بسیار بزرگ است.

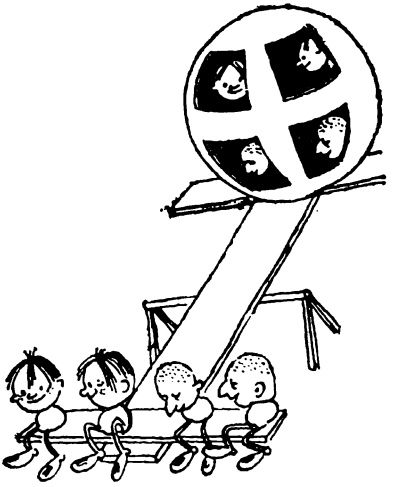
فقط تبدیلات هسته‌های اتم و ذرات بنیادی همراه با چنین تغییرات بزرگ انرژی است وتغییرات جرم درآنها محسوس‌است. مثلاً جرم هستهٔ هلیم یك درصدکمتر ازجرم هستهٔ تشکیل یافته از دو پروتون و دونوترون آزاد است. انرژی درحالت سکون هسته یك درصدکمتر ازمجموع انرژی درحالت سکون‌ذرات بنیادی تشکیل- دهندهٔ هسته است. بهم پیوستگی ذرات بنیادی در هستهٔ اتم توأم با خروج مقدار عظیمی انرژی، در مقیاس دنیای خرد است. این انرژی به‌صورت تشعشع خارج می‌شود و همراه با تشعشع قسمتی ازجرم نیز فرار می‌کند. می‌توان‌گفت‌که بر اثر بهم‌پیوستگی ذرات بنیادی یاهسته‌های سبك قسمتی از انرژی محبوس در داخل آنها از جاکنده می‌شود و به‌خارج پرتاب می‌شود. اگر چنین تبدیلاتی با شرکت تعدادبسیار زیادهسته‌های سبك‌صورت‌گیرد، انفجارنیرویی دهشتناك مشاهده می‌شود. این همان انفجار بمب هیدروژنی‌است.

از اینجا معلوم می‌شودکه انرژی خود ذره عظیمترین و متراکمترین مخزن انرژی درجهان است. بر اثر انفجار بمب اتمی فقط ۰/۱ درصد جرم در حالت سکون یا انرژی در حالت سکون از بین می رود. اما انرژی در حالت سکون ممکن است تمام و کمال آزاد شود و کاملاً به انرژی حرکتی تبدیل شود. این تبدیل مثلاً هرباركه الکترون باپوزیترون برخورد می‌کند، روی می دهد.

www.takbook.com

بقای انرژی و ذرات بنیادی

مکانیك کلاسیك می گوید که انرژی هر دستگاه بسته یعنی دستگاهی که در تأثیر متقابل با دنیای خارج نیست، محفوظ می مانـد. تبدیـلات ذرات بنیادی بقدری سریع و درمسافت آنقدر ناچیز، درمقایسه با ابعاد اتم، صورت می گیرد که ذرات برخـوردکننده را می توان



جرم هسته هلیم یك درصدکمتر از جرم‌هستهٔ تشکیل‌یافته ازدو پروتون و دونوترون به‌حالت آزاد است.

دستگاهـی منفرد دانست به‌همین جهت در هرتبدیل ذرات، انرژی ثابت می ماند.

انرژی ذرات خواه پیش از واکنش خواه پس ازآن دونوع است: جنبشی (انرژی حرکت) و اختصاصی (انرژی سکون) . در واکنش تبدیل ذره، انـرژی جنبشی می‌تواند به‌انرژی سکون و بالعکس تبدیل شود. بعلاوه واکنش بین ذرات بنیادی باواکنشهای شیمیایی وهسته‌ای به‌طور اساسی متفاوت است. در واکنشهای بین ذرات بنیادی تمام انرژی سکون بعضی ذرات می‌تواند به‌انرژی

www.takbook.com

سکون و جنبشی ذرات کاملاً دیگری تبدیل شود. مثلاً براثر تجزیه نوترون، انرژی سکون آن درتشکیل انرژی سکون وجنبشی پروتون و الکترون وهمچنین در دادن انرژی جنبشی معینی به آنتی نوترینو به کار می‌رود.

کاملاً واضح است که جرم ذرهٔ اولیه باید بیش از مجموع جرمهای ذراتی باشد که براثر تجزیهٔ آن حاصل می‌شوند (صحبت برسر جرم سکون است). قانون بقای انرژی چنین محدودیتهای شدیدی را در سایر موارد نیز برقرار می‌کند. اما در جهان ذرات بنیادی وضع فوق خارق‌العاده نیزمی‌تواند وجود پیداکند. ذرهٔ سبك نمی‌تواند به‌ذرات سنگین‌ترتجزیه شود اما می‌تواند مرکب ازآنهاباشد! اگر نیروهای اثر متقابل بین دوذره خیلی بزرگ باشد، از بهم‌پیوستگی آنها ممکن است ذره‌ای باجرم سکون کمتر ازجرم هریك از ذرات اولیه تشکیل شود. بقیه جرم به‌صورت تشعشع (جریان فوتون) که جرم درحالت سکون ندارد، جدا می‌شود.

برای شکافتن ذرهٔ به‌دست آمده و تبدیل آن به‌اجزای تشکیل دهنده‌اش، انرژیی بیش از انرژی سکون اجزای در حالت سکون لازم است.

پس چگونه ثابت کنیم که ذرات بنیادی ساختمانی مرکب دارند یا نه. تصورات عادی وطبیعی دراین باره که ذرات سنگین‌تر وپیچیده‌تر ازذرات سبکتر وساده‌ترتشکیل یافته‌اند، برپایه‌ای محکم استوار نیست. جزء ممکن است بزرگتر ازکل باشد!

چنین وضعی هیچ‌جاجزدرجهان ذرات بنیادی امکان‌پذیر نیست،

www.takbook.com

باری، تئوری نسبیت به‌وسیلهٔ فرمول $E=mC^2$ به ما نشان داد که جهان ذرات بنیادی چقدر پیچیده و رابطهٔ بین ذرات چقدر غیرعادی است.

کلمهٔ «کوانتم» از نیستی به هستی می‌آید

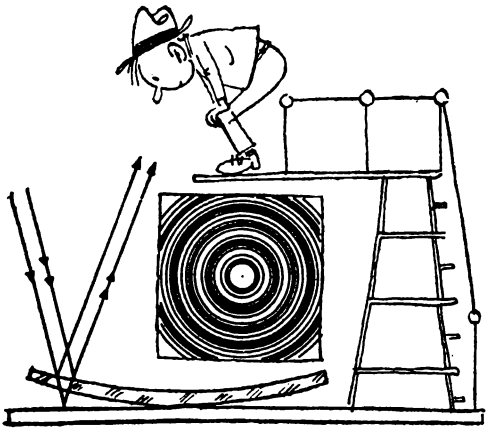
مدتهای مدید نور را موج می‌پنداشتند. واقعاً هم نور براثر انتشار خواص‌موجی نشان می‌دهد: پدیده‌های تداخل و دیفراکسیون.

بر اثر برخورد دو دسته نور، امواج نورانی درهم می‌روند. دراین عمل اگر امواج طول یکسانی داشته باشند و یك‌موج نسبت به‌دیگری تغییر مکان ندهد، در بعضی جاها یکدیگر را تقویت ودر جاهایی همدیگررا نابودمی‌کنند. این‌عمل‌را تداخل امواج می نامند.

مشاهدهٔ این پدیده چندان دشوار نیست. عدسی عینك دوربین را بگیرید و طرف برجستهٔ آن را روی صفحهٔ شیشه‌ای قرار دهید. نزدیك نقطهٔ تماس عدسی باصفحهٔ شیشه‌ای حلقه‌های کوچك تاریك و روشن را خواهید دید. این حلقه‌ها به‌این سبب تشکیل می‌شوندکه امواج نورانی منعکس شده از صفحه شیشه‌ای و عدسی مسیرهای متفاوت را طی می‌کنند و برحسب اینکه موجی چقدر از دیگری عقب بماند همدیگر را خاموش و یا تقویت می‌کنند.

دیفراکسیون نورعبارت از دورزدن موانع دارای ابعاد قابل مقایسه باطول‌موج، به‌وسیلهٔ نوراست. ازجمله به‌سبب دیفراکسیون جزئیات اشیایی را که خیلی کوچکتر از طول موجند، نمی‌توان بامیکروسکوپ دید.

www.takbook.com



امواج نورانی منعکس‌شده از صفحهٔ شیشه‌ای و عدسی مسیرهای متفاوت را طی می‌کنند و بر حسب اینکه موجی چقدر ازدیگری‌عقب بماند همدیگررا خاموش و یا تقویت می‌کنند.

بااین‌ترتیب نوردرموقع انتشاربدون‌شك همانندپدیدهٔاتصالی یعنی موج عمل می‌کند. تئوری الکترو ماگنتیك نور ماکسول نیز به‌چنین نتیجه‌ای منجر می‌شد.

لکن پلانك درسال ۱۹۰۰ نشان دادکه نور درحقیقت به‌وسیلهٔ بسته‌های‌جداگانه به‌نام‌کوانتم‌روی می‌دهد. فقط براثرچنین تصوری بودکه تئوری تشعشع حرارت باتجربه مطابقت می‌کرد. اگرنور از اتمهای تحریك شده به‌صورت ماده‌ای بسیار ظریف لاینقطع جریان پیدا می‌کرد، درآن صورت اتمها بهیچ شکلی نمی‌توانستند انرژی را درخودنگهدارند وهمهٔ‌آنها را تاذرهٔ‌آخربه‌میدان الکترو ماگنتیك پس می‌دادند[1].

انرژی‌کوانتم فقط به‌یك‌کمیت بستگی دارد ـ فرکانس‌امواج الکترو ماگنتیك. انرژی‌کوانتم با فرکانس نسبت مستقیم دارد:

۱ـ منظرهٔ تشعشع‌را نبایدخیلی‌ساده پنداشت. دراتمها نورنیست همچنانکه درتارهای پیانو صوتی وجود ندارد. برطبق الکترو دینامیك کلاسیك اتم تحریك شده نور تولید می‌کند، همانطور که لرزش تار صدا به‌وجود می‌آورد.

www.takbook.com

$$E = h\nu$$

ضریب ثابت تناسب h ثابت معروف پلانك است. ثابت پلانك بسیار کوچك است ($h = ۶/۶۲ \times ۱۰^{-۲۷} erg.sec$) ، به‌همین جهت نیز انرژی یك کوانتم ناچیز است. مثلاً نور زرد بسته‌های ۲ الکترون ولتی می‌تابد.

تابش انفصالی نور ساختمان انفصالی خود شعاع نورانی را نمی‌رساند. اینشتین می‌گفت: « اگر آبجو را همیشه در بطریهای یك پاینتی[۱] بفروشند دلیل براین نیست که آبجو از اجزای تقسیم نشدنی مساوی بایك پاینت ساخته شده است ». اما آزمایشهای جدا شدن الکترونها از مواد به‌وسیلهٔ نور (پدیدهٔ فتو الکتریك) مصراً نشان دادند که نور هم به‌صورت بسته‌های جداگانه جذب می‌شود. بستهٔ تابیدهٔ نور بعدها صفات خود را حفظ می‌کند.

این فکر نخستین بار درسال ۱۹۰۵ به‌وسیلهٔ اینشتین بیان شد. بستهٔ نور که فوتون نامیده می‌شود، به‌طرزی غیر منتظره بسیار شبیه ذره است. آزمایشهای جالب واویلوف فیزیکدان شوروی ثابت کرد که چشم، حساسترین « دستگاه » ارگانیسم ما، دربرابر تفاوت روشنایی که باآحاد کوانتم قابل اندازه‌گیری است، واکنش نشان می‌دهد.

فوتون ذره‌ای خاص است و همانند الکترون دارای انرژی و ایمپولس[۲] است، اما کاملاً فاقد جرم سکون است. فوتونهای

۱ـ یك پاینت (pint) انگلیسی در حدود ۰/۵۶۸ لیتر است.
۲ـ ایمپولس (impulsus) کمیت برداری مساوی باحاصل ضرب جرم جسم درسرعت آن است.

www.takbook.com

ساکن وجود ندارند.

بااین ترتیب دانشمندان مجبور شدند اعتراف کنند که نور وحدت حیرت‌انگیز خواص اتصالی (امواج) و انفصالی (فوتونها) را نشان می‌دهد. وانگهی موج الکترو ماگنتیك را بهیچ وجه نباید همچون موج صوتی که از تجمع و تفرق متناوب مولکولهای هوا تشکیل می‌شود، نتیجهٔ تأثیر متقابل فوتونها دانست. این کاملاً درست است که خواص موجی ذاتی یك فوتون است. تجمع مولکولهای هوا فقط به آن جهت می‌تواند موج تشکیل دهد که بین مولکولها نیروهای اثر متقابل وجود دارد. اما فوتونها، اگر نیروی جاذبهٔ فوق‌العاده ضعیف را به‌حساب نیاوریم، بهیچ وجه مستقیماً برهم اثر ندارند. به‌همین جهت وجود بعضی خواص از آن جمله خاصیت موجی در فوتون نمی‌تواند به‌حضور در کنار سایر فوتونها بستگی داشته باشد.

موجها و ذره‌ها! نه موج ذره‌ها

اگر تصور وجود ماده‌ای که لاینقطع در فضا پراکنده می‌شود همیشه با میدان الکترو ماگنتیك ارتباط پیدا می‌کرد، برعکس الکترونها از نظر فیزیکدانان همانند گلوله‌های ناچیز ماده بودند و کلمهٔ «ذره» دایماً و مؤکداً در کنار کلمهٔ «الکترون» قرار داشت.

لوئی دبروی[1] دانشمند فرانسوی در سال ۱۹۲۳ این فکر را بیان کرد: آیا ممکن است الکترون و ذرات دیگر دارای خواص موجی نیز باشند؟ آیا تمام دشواریها در فیزیك اتمی در این نیست که ما خواص موجی الکترون را در نظر نمی‌گیریم؟

۱- L. De Broglie

www.takbook.com

اتم کـروی رترفورد[۱]، اگر فیزیك کـلاسیك درست باشد، نمی‌تواند وجودپیداکنند. الکترون‌درحالی‌که به‌دورهسته‌می‌گردد، باید لاینقطع بتابد، انرژی خود را از دست بدهد و به‌زودی روی هسته سقوط‌کند و جرقه‌ای بسیارکـوتاه نیز پایان غم‌انگیز عمر اتم را اعلام دارد. واقعاً چنین حادثه‌ای روی نمی‌دهد. اتم می‌تواند به‌مدت نامحدود وجـود داشته باشد، در صورتی‌که باآن بیش از اندازه خشن رفتار نکنند و آن را دچار تأثیرات شدید خارجی نسازند.

نیلس بور[۲] فیزیکدان دانمارکـی مـدل رترفورد را به‌کمك فرضیه‌ای‌که بافیزیك‌کلاسیك سازگاری نداشت، تصحیح‌کرد. بور فقط وجود مدارهایی ثابت را دراتم ممکن شمردکه ممان چرخشی آنها مضربی صحیح ازثابت‌پلانك است. الکترونی‌که درمدارثابت حرکت می‌کند، نمی‌تابد ولی درجهش ازیك مدار به‌مدار دیگریك فوتون می‌تابد.

بااین حال نکاتی تاریك باقی می‌ماند: چرا مدارهایی ثابت وجود دارد؟ چه چیز باعث تغییر مکان الکترون از مداری به‌مدار دیگر می‌شود؟ و . . . اما مهمتر ازهمه، تئوری بورکه طیف تابش اتم هیدروژن را به‌خوبی توضیح می‌داد، به‌هیچ وجه قادر به‌توضیح حتی طیف هلیم نبود، چه رسد به‌طیف اتمهای پیچیده‌تر.

دبروی با در نظرگرفتن این‌که حرکت ذرات باانتشار بعضی امواج همراه است، توانست طول این امواج را پیداکند. دبروی

۱- E. De. Rutherford ۲- N. Bohr

www.takbook.com

برای این‌کار رابطه بین طول موج و ایمپولس راکـه برای فوتون صادق بود، برای همهٔ ذرات عمومیت داد. پیداکردن ایـن رابطه ساده است. فـوتون همیشه با سرعت نور حـرکت می‌کند بنابراین ایمپولس با فرمول:

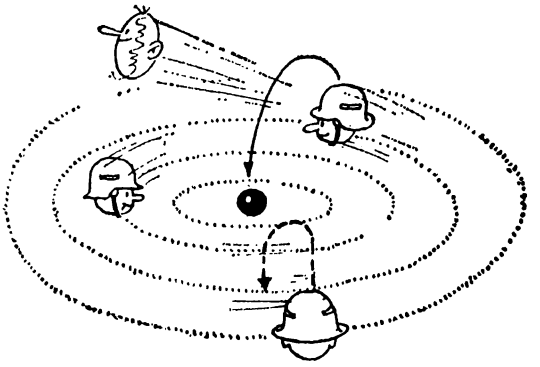
$$P = mC$$

بیان می‌شود. امـا جرم فوتون برطبق فرمـول اینشتین مساوی است با:

$$m = \frac{E}{C^2}$$

درنتیجه:

$$P = \frac{E}{C}$$



الکترونی کـه در مـدار ثـابت حـرکت می‌کند، نمی‌تـابد ولـی در جهش از یـك مدار به مدار دیگر یك فوتون می‌تابد.

ازطرف دیگرطول موج برطبق رابطهٔ انرژی‌فوتون بافرکانس که به‌وسیلهٔ پلانك کشف شده است، چنین بیان می‌شود:

$$\lambda = \frac{c}{v} = \frac{ch}{E}$$

www.takbook.com

از آنجا مستقیماً چنین نتیجه می‌شود:

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

این فرمول معروف دبروی برای طول موج مربوط به‌ذره‌ای است که ایمپولس P دارد.

معلوم شده‌است که درمدارهای ثابت بور عدهٔ صحیح امواج دبروی جا می‌گیرد.

خـواص موجی پیشگویی شده به‌وسیلهٔ دبروی بعدها از راه تجربی نه‌تنها برای الکترون بلکه برای همهٔ ذرات بنیادی دیگر کشف شد و دوگانگی خواص ذرات ماده، بدون توجه به‌غیرعادی بودن آن، حقیقتی انکار ناپذیر شد.

اصل عدم قطعیت

پس ممکن نیست که مثلاً الکترون درعین حال هم‌ذره وهم‌موج باشد؟ این مفاهیم که یکدیگر را نفی می‌کنند. آری مجبوریم اعتراف کنیم که ممکن نیست. یعنی با بیان این که الکترون هم موج وهم ذره است، قبول کرده‌ایم که الکترون نه‌این و نه‌آن است: نه ذره به‌مفهوم عادی کلمه است و نه موج معمولی (فوتون و پـروتون و نظایر آنها نیز چنین هستند). اگر هم با تمام این احوال این اصطلاحات را به‌کار می بریم باید آن مفهوم را درنظر داشت که الکترون‌را فقط تقریباً می‌توان مانند ذره‌ای توصیف کرد. تقریباً چه معنی می‌دهد؟

وقتی صحبت از ذره‌است گلولهٔ کوچك مادی را درنظرداریم که در لحظهٔ مورد نظر در مکانی معین دارای انـرژی معین است و

www.takbook.com

باسرعتی کاملاً معین حرکت می‌کند. دراین مورد فرض‌می‌کنیم که می‌توان مختصات، ایمپولس و انرژی ذره را در هـرلحظه به‌طور کاملاً دقیق مشخص کرد.

لکن اگـر رابطهٔ ایمپولس ذره باطول مـوج معین را در نظر بگیریم، از ذره به‌شکل سینوسی بی‌پایان که درهمهٔ فضاگسترده شده است، می‌رسیم. بیان « طـول موج در نقطهٔ مورد نظر » هیچ نـوع معنی ندارد. پس مفهوم ایمپولس درنقطه‌ای بی‌معنی است. هم‌چنین مفهوم انرژی ذره درلحظه‌ای مشخص‌معنی ندارد. انرژی بافرکانس مربوط است ($E = h\nu$) و مفهوم فرکانس با فرایند نوسانی موزون بستگی دارد. این بیان که الکترون فقط تقریباً می‌تواند مـانند نقطهٔ مـادی‌موردمطالعه قرارگیرد به‌این‌معنی‌است که مختصات، ایمپولس و انرژی آن فقط به‌طور تقریب مشخص شده‌اند. این مسأله از نظر کمیت با رابطهٔ عدم قطعیت هیزنبرگ[1] بیان می‌شود.

بیان «طول موج در نقطه مورد نظر » هیچ نوع معنی ندارد.

مطابق رابطهٔ هیزنبرگ هرچه مثلاً ایمپولس دقیقترمعین شده

۱ـ Heisenberg

www.takbook.com

باشد، عـدم قطعیت مختصات بیشتر خـواهد بود. اگر عدم قطعیت ایمپولس در طول محور x را با Δp وعدم قطعیت مختصات آن را با Δx نشان دهیم، اصل عدم قطعیت هیزنبرگ چنین نوشته می‌شود:

$$\Delta p \cdot \Delta x \gtrsim h$$

h همان ثابت پلانك است. این اصل نتیجهٔ مستقیم عدم تمرکز امواج است. حتی یك موج نمی‌تواند ناحیه‌ای درفضاکوچکتر از طول موج را اشغال کند.

مطابق اصل عـدم قطعیت یکـی از مهمترین مفاهیم مکانیك کلاسیك یعنی مفهوم مسیر ذره معنی خـود را از دست می‌دهد. چه ایـن مفهوم می‌رساندکه در هرنقطه از فضا ایمپولس (یاسرعت) ذره به دقت معین شده است. حال دیگر نمی‌توان گفت که ذره در طول خطی حرکت می‌کند. مفاهیم کلاسیك شتاب ونیرو معنی خود را از دست می‌دهند. توضیح حـرکت براساس مکانیك کلاسیك در دنیای خُرد غیرممکن می‌شود.

از آن‌جهت که ثابت پلانك خیلی کوچك است، اصل عدم قطعیت فقط برای ذرات خیلی‌سبك اهمیت اساسی پیدامی‌کند. برای جسمی بزرگ، مانند اتومبیل، اگر وضع آن را به‌دقت تا یك اتم تقریب منظورکنیم، عدم قطعیت در سرعت از مرتبهٔ $10^{-24} cm/sec$ خواهد بود. بدیهی است که این عدم قطعیت در بسیاری مواردکوچکتر از آن است که باآن سرعتها را می‌توان اندازه‌گرفت. وضع الکترون در اتم شکلی کاملاً دیگر دارد. الکترون در فضای نزدیك به 10^{-8}

www.takbook.com

سانتیمتری اتم محدود است. عدم قطعیت سرعت الکترون با توجه به‌جرم ناچیز آن، به‌مقدار عظیم $۱۰^{۸} cm/sec$ می‌رسد که فقط ۱۰۰ بار کمتر از سرعت نور است (عدم قطعیت سرعت از روی عدم قطعیت ایمپولس برطبق فرمول $\Delta v = \Delta p/m$ بیان می‌شود).

اصل عدم قطعیت برای انرژی و زمان نیز اهمیت بسیار دارد. هرچه فاصلهٔ زمان Δt که فرایند در آن جریان دارد، کمتر باشد، عدم قطعیت درمقدار انرژی ذره (ΔE) بیشتر خواهد بود:

$$\Delta E \cdot \Delta t \gtrsim h$$

این رابطه نشان می‌دهدکه تحقیق اجرای قانون بقای انرژی با دقت بیش از $\Delta E = \frac{h}{\Delta t}$ درهیچ فرایندی امکان ندارد.

مکانیک کوانتمی و شواهد عینی

باتلاش مجدانه دانشمندان درسالهای ۲۰ قرن حاضر مکانیکی جدید به‌نام مکانیک کوانتمی (یا همانطورکه اغلب در سابق می‌گفتند، مکانیک موجی) پی‌ریزی شدکه قادر است به‌طرزی رضایتبخش حرکت دنیای خُردرا باوجود ضد ونقیض‌بودن‌خواص آن (ازنقطه نظر معمولی) توضیح دهد. بنیانگذاران آن هیزنبرگ وشرودینگر هستند.

مکانیک کوانتمی مکانیک کلاسیک نیوتون را عمومیت می‌دهد وفقط درحد نهایی، یعنی‌وقتی که ازکمیت نهایی کوانت h می‌توان صرف نظرکرد، به‌آن تبدیل می‌شود. ثابت پلانک مهمترین ثابت کلی همه جانبه است که همانند سرعت نور اندازهٔ پدیده‌ها را در

www.takbook.com

طبیعت معین می‌کند. پدیده‌هایی که در آنها نمی‌توان از کوانت h صرف نظر کرد از قانون کوانتمی پیروی می‌کنند.

اما پدیده‌هایی که در آنها سرعت انتشار تأثیرات متقابل برابر باسرعت نور است، از تئوری نسبیت پیروی می‌کنند.

فرایندهایی که مکانیك کوانتمی بیان می‌کند فرایندهای دنیای خُردند که نه تنها به وسیلهٔ اعضای حواس قابل درك نیستند بلکه قابل تصور هم نیستند. ما فاقد امکان تصور عینی آنها به طور کامل هستیم زیرا از پدیده‌های ما کروسکوپی که انسان در طول میلیونها سال مشاهده کرده است کاملاً متمایزند. تصور ما « اشکال جدید نمی‌سازد و

تصور ما اشکال جدید نمی‌سازد و فقط اشکال معلوم را ترکیب می‌کند. اشکال جادوگران و نسناسان از آن جمله است.

www.takbook.com

فقط اشکال معلوم را ترکیب می‌کند» (آناتول فرانس). اشکال جادوگران و نسناسان از آن‌جمله‌است. درحالی‌که می‌کوشیم رفتار الکترون و ذرات دیگر را به‌زبان ماکروسکوپی بیان‌کنیم ناچار بااشکال ماکروسکوپی متناقض ذره و موج روبرو می‌شویم.

احتمال و ذرات بنیادی

شاید عجیب‌ترین خصوصیت مکانیك جدید خصلت آماری آن باشد. رفتار حتی یك ذره همیشه به‌یك‌شکل به‌وسیلهٔ شرایط ماکروسکوپی که ذره در آن شرایط قرار گرفته است، معین نمی‌شود.

هراتم پس از دریافت انرژی ازخارج مدتی درحالت‌تحریك شده باقی می‌ماند و نمی‌تابد. این زمان‌کمیت اتفاقی است ولحظهٔ تابش فوتون را نمی‌توان دقیقاً پیشگویی کرد. اگر عده‌ای زیاد از اتمهای جداگانه را در آن واحد به‌حالت تحریك شده ببریم، در لحظات متفاوت فوتون‌تابش می‌کنند. تازه این‌وقتی است‌که‌تحت تأثیر نیروهای خارجی قرار نگیرند.

تنها تئوری کوانتمی است‌که امکان می‌دهد احتمال تابش فوتون‌را درلحظه‌ای از زمان (دقیقتر بگوییم درفاصلهٔ بسیارمحدود زمان) حساب‌کنیم. احتمال تابش فوتون در زمان Δt نسبت عدهٔ اتمهایی‌که دراین‌زمان تولیدفوتون‌می‌کنند به‌عدهٔ‌کل‌اتمهای‌تحریك شده است.

بدیهی است تئوری احتمالات یا آماری نمی‌تواند به‌طریق تجربی از راه مشاهدهٔ تابش فقط یك اتم تحقیق‌شود. پیشگوییهای آن یا به‌گروهی بزرگ از اتمها یا به‌سری بزرگ آزمایشهای

www.takbook.com

تکراری بایکی از آنها مربوط است.

خصلت آماری قوانین دنیای خرد هیچ چیز را، مانند تجزیهٔ ذرات بنیادی روشن وعینی نمایش نمی‌دهد. برای مثال نوترون را را در نظرمی‌گیریم. نوترون آزاد به‌تعداد عظیم در پیل اتمی تولید می‌شود (تا $۱۰^{۱۸}$ نـوترون در ثانیه) . عمر متوسط آنها ۱۷ دقیقه است. اما این به‌آن معنی نیست که همهٔ آنها پس از ۱۷ دقیقه متفقاً تجزیه می‌شوند. اصلاً این طورنیست. بعضی از آنها بلافاصله پس از خـروج از هستهٔ اورانیم تجزیه می‌شوند. بعضیها هم می‌تـوانند بیش از ۳۰ دقیقه به‌زندگی ادامه دهند.

لازم است خاطرنشان‌کنیم کـه احتمال تجزیهٔ نوترون اصلاً به‌آن بستگی نداردکـه چه مدت زندگی می‌کند. نوترونها (ذرات دیگرناپایدار نیزچنین هستند) اصلاً پیرنمی‌شوند. هرتجزیه واقعه‌ای ناخوشایند در زندگی ذره است ونمی‌توان به‌دقت آن را پیشگویی کرد.

درحقیقت وجودقوانین احتمالات چیزتازه وغیرعادی‌نیست. قوانین آماری در فیزیك مدتهاست که شناخته شده است. اما قبلاً این قـوانین را همیشه به‌دستگاههایی با عدهٔ عظیم ذرات مانندگاز درظرف یا تکه‌ای جسم جامد نسبت می‌دادند.

اکنون‌آشکارشده است‌که حرکت وبه‌طورکلی رفتار ذرات منفرد نیز از قوانین احتمالات پیروی می‌کند و جنبهٔ آماری قوانین کاملاً مربوط به‌پیچیدگی‌دستگاه‌نیست. بسیاری از ذرات‌ازراههای گوناگون یا همانطورکـه مصطلح است ازکانالهای مختلف تجزیه

www.takbook.com

می‌شوند مثلاً K^+ ـ مزون که دربارهٔ آن باز هم گفتگو خواهیم داشت، ممکن است به μ^+ ـ مزون و نوترینو و یا به π^+ ـ مزون و π° ـ مزون تجزیه شود. اشکال دیگر تجزیه نیز امکان دارد. پیشگویی این‌که تجزیه از کدام کانال صورت می‌گیرد، ممکن نیست. فقط می‌توان احتمال تجزیه از این یا آن کانال را معین کرد: به‌طور متوسط ۶۳ درصد ازطریق کانال اول و ۲۱/۵ درصد ازطریق کانال دوم. کانالهای دیگر کمتر محتمل است.

البته احتمال این‌که فرایندی نزدیک به‌صفر یا یک باشد خارج از امکان نیست. در آن‌صورت واقعه را می‌توان عملاً با صحت کامل پیشگویی کرد. مثلاً احتمال این‌که نوترون آزاد یک شبانه روز به‌زندگی ادامه دهد، هرچندکه مساوی باصفر نیست، اما آن قدر به‌آن نزدیک است که بااطمینان کامل می‌توانیم بگوییم که بدون‌شک تجزیه خواهد شد.

خصلت آماری قوانین در زمان حاضر خاصیت اصلی دنیای خرد است.

آیا همهٔ الکترونها یک شکلند؟

مکانیک کوانتمی امکان می‌دهدکه به پرسشی به‌ظاهر کاملاً نومیدکننده پاسخ دهیم: « آیا همهٔ الکترونها (یاسایر ذرات بنیادی) مطلقاً یک شکلند؟ » این پرسش درنظر اول از آن جهت نومیدکننده است که برای پاسخ دادن به‌آن باید اندازهٔ پارامترهای متفاوت مانند جرم، بارو... الکترون باید مورد مقایسه قرارگیرد. برای این کار بایدآنها را اندازه‌گیری کرد. امااافسوس که دقت درهراندازه‌گیری

www.takbook.com

محدود است. به‌همین جهت همیشه تردیدی باقی‌می‌ماند: آیا ممکن است در واقع تفاوتی بین‌الکترونها باشد، منتها دقت آزمایش برای دسترسی به آن کافی نباشد؟

با وجود این دلایل کافی اطمینان بخش وجود داردکه ذرات بنیادی مطلقاً همانندند. جریان از این قرار است. برطبق تئوری کوانتمی دستگاه ذرات همانند با دستگاه ذرات ناهمانند، هرچند این ناهمانندی ناچیز باشد، کاملاً تفاوت دارد.

دستگاههای الکترونی نیزبه‌طوری‌که آزمایش نشان‌می‌دهد، مانند دستگاه ذرات همانند رفتار می‌کنند. اگر الکترونها اندك تمایزی ازیکدیگر داشتند، درفاصلهٔ یکسان ازهسته قرار می‌گرفتند نه در لایه‌های اتم، و در آن صورت جدول تناوبی عناصر وجود نمی‌داشت.

چنین شباهتی در دنیای بزرگ پیدانمی‌کنیم، زیراموجودات بزرگ کاملاً همانند وجود ندارد ونمی‌تواند وجود پیداکند. هرچند سعی‌کنیم دو پنجریالی یکسان بسازیم، باوجود این آنها متفاوت خواهند بود.

اسپین

همهٔ اجسام طبیعت، چه بزرگ وچه‌کوچك، حرکت چرخشی مختص به خود دارند. ستارگان، سیارات، اتمها می‌چرخند. الکترونها به‌دورمحور خود می‌چرخند، درست‌تربگوییم مثل‌اینکه می‌چرخند. شرط «مثل اینکه» لازم است. زیرا ذرات خرد را نمی‌توان گلوله‌هایی‌کوچك دانست و ذرهٔ‌گردنده را شبیه فرفرهٔ بچه‌ها پنداشت.

www.takbook.com

آری، ذره می‌چرخد ودارای ممان چرخشی مخصوص به‌خود موسوم به‌اسپین است. اما فرفره را می‌توان به‌دلخواه به‌چرخش درآورد. می‌توان اصلاً آن را از حرکت بازداشت. انجام چنین عملی باالکترون امکان‌ندارد. الکترون یك‌بار برای همیشه به‌چرخش درآمده است وهیچ چیز نمی‌تواند ممان چرخشی آن را تغییر دهد. به همین جهت اسپین، مانند جرم یا بار الکتریکی، از خصوصیات لاینفك ذره است.

ازنظر کمی اسپین ذرهٔ بنیادی دقیقاً معلوم شده است ومساوی با $\frac{\hbar}{۲}$ یا $\hbar$ است ($\hbar$ ثابت پلانك است بااین تفاوت‌که ۲π بار کوچك شده است: $\hbar = \frac{h}{۲\pi}$) . اسپین الکترون و هم‌چنین اسپین پروتون، نوترون و بسیاری ذرات دیگر مساوی با $\frac{\hbar}{۲}$است.فوتون اسپین مساوی با $\hbar$ دارد. باوجود این همهٔ ذرات نمی‌چرخند. مثلاً اسپین π ـ مزون مساوی با صفر است.

اسپین ذرهٔ بنیادی‌بردار نیرواست. بااین‌حال اسپین‌الکترون، به‌عنوان مثال، در مقایسه با سایر کمیتهای برداری دارای آن خصوصیت است‌که تصویر آن در هرجهت، آنطورکه تجربه نشان می‌دهد، فقط دومقدار $+\frac{\hbar}{۲}$ و $-\frac{\hbar}{۲}$ را می‌پذیرد. علامتهای مثبت و منفی نشان می‌دهندکه چرخش الکترون به هرسو پیچ‌راست یا چپ را به‌وجود می‌آورد. اگر اسپین عدد صحیح باشد در آن صورت‌تصویر آن‌درجهات مختلف می‌تواند سه مقدار $+\hbar$، ۰، $-\hbar$

www.takbook.com

را بپذیرد (شکل ۳).

بدیهی است که برطبق مقیاسهای ماکروسکوپی مقدار اسپین ذرهٔ بنیادی کوچك است. انسانی که روی صندلی گردان پیانونشسته است، یك چرخش را باید درطول نزدیك به $۱۰^{۲۷}$ سال انجام دهد تا همان اسپین الکترون را پیداکند.

اما در دنیای خرد اندازه‌هایی مخصوص عمل‌می‌کنند. دراین جا $\hbar$ واحد طبیعی ممان چرخشی است و دراین واحدها نیز اسپین ذرهٔ بنیادی کوچك نیست.

چه چیزهایی را باید به‌خاطرسپرد

از تمام آنچه دربارهٔ قوانین کوانتمی دنیای خرد گفته شد باید چهار واقعیت را به‌خاطر سپرد:

۱) دوگانگی ذره ـ موجی خواص موجودات خرد،

۲) اصل عدم قطعیت،

۳) خصلت آماری قوانین دنیای خرد،

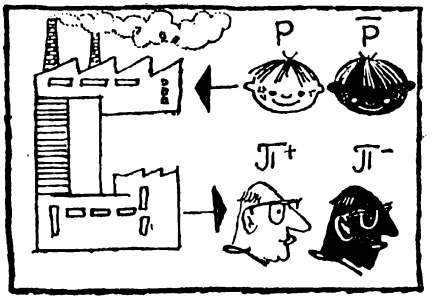
۴) اسپین ذرات بنیادی.

همهٔ اینها برای آشنایی باموجودات دنیای خرد لازم است.

www.takbook.com

فصل چهارم

در باب آن‌که چه چیز ذرات را وامی‌دارد به‌یکدیگر تبدیل شوند



رفتیم باکراه و ندانیم چه بود
زین آمدن و ماندن و رفتن مقصود
کس می‌نزند دمی در این معنی راست
کاین آمدن از کجا و رفتن بکجاست
عمرخیام
« رباعیات »

تأثیر متقابله و والیبال

پس از ایجاد مکانیك‌کوانتمی تصورات ما دربارهٔ مکانیسم تأثیر متقابله به‌کلی تغییر کرده است (ابتدا فقط دربارهٔ تأثیرات متقابله الکترومـاگنتیك صحبت خـواهیم‌کرد) . از زمـان فاراده تأثیرات متقابلهٔ الکترومـاگنتیك‌را به‌این‌شکل تصورمی‌کردند: بارالکتریکی

www.takbook.com

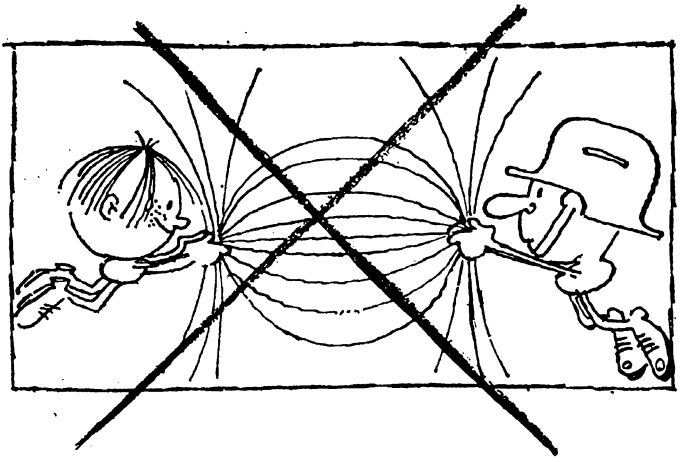
درفضای اطراف خود میدانی می‌سازدکه بردیگر بارها اثرمی‌کند.

این میدان را جوهری متصل می‌شمردندکه درفضای اطراف بارالکتریکی همچون دشت بی‌درخت دورتپه‌ای گسترده شده‌است.

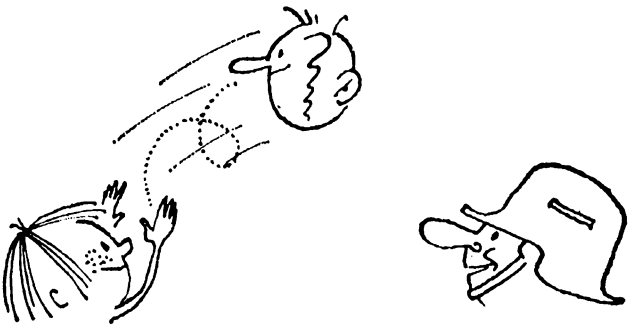
لکن دوگانگی ذره ـ موجی وامی‌دارد درجستجوی خصلت انفصالی در اتصالی باشیم. میدان بایـد «چهرهٔ» ذره‌ای هم داشته باشد. اثرمتقابله را باید از نقطه‌نظر خاص‌تئوری‌کوانتمی دریافت. این اثر چنین به‌نظر می‌آید: یك ذرهٔ باردار مدام فوتون می‌تابدکه به وسیلهٔ ذرهٔ باردار دیگر جذب می‌شود. این فوتونها واسطهٔ تأثیر متقابله‌اند. ذرهٔ باردار دوم نیز درست به‌همین شکل فوتون می‌تابد کـه به‌وسیلهٔ ذرهٔ اول جـذب می‌شود. ایـن مبادلهٔ ذرات، همچون مکانیسم تأثیر متقابله، منظرهٔ کلاسیك پیشین ترجمه به‌زبان‌کوانتمی است.

ذرات در تأثیر متقابله سرگـرم نوعی بـازی شبیه والیبالند و چنان سرگرم وشیفتهٔ بازی خود هستندکه مثلاً الکترون با پروتون در اتم هیدروژن دستگاهـی بهم پیوسته را تشکیل می‌دهندکه برای برهم زدن آن انرژی محسوسی لازم است. یك استنباط چنین‌است. استنباط دیگر نیز این است‌که هیچ نوع پرتگاهی بین مـاده و میدان وجود ندارد. هم آن‌که درتأثیر متقابله شرکت می‌کند و هم آن‌که تـأثیر متقابله را منتقل می‌کند، سرانجام همچون ذرات بنیادی در برابرما ظاهر شده‌اند.

www.takbook.com



ذرات در تأثیر متقابله سرگرم نوعی بازی شبیه والیبالند.



در مرز هستی و نیستی

اما چگونه می‌توان تابش فوتون ذرهٔ باردار را مجسم کرد؟ آخرممکن نیست الکترون را چیزی شبیه ساعت قدیمی بامرغکی که پس از گذشت یك ساعت بیرون می‌جهد، پنداشت. فوتون قبل از تابش در داخل الکترون نبوده است. فوتون در داخل هسته‌پنهان نمی‌شود بلکه درهمان عمل تابش به‌وجود می‌آید.

دربارهٔ خلق ذرات بارها صحبت کرده‌ایم و شما هم بااین

www.takbook.com

مسأله خوگرفته‌اید. اما بیایید دراین باره که الکترون ساکن چگونه می‌تواند فوتون بتابد، کمی بیندیشیم. انرژی الکترون قبل از تابش فوتون حداقل ممکن ومساوی باانرژی سکون m_0c^2 است. کاهش این انرژی ممکن نیست. اما باوجود این الکترون فوتون انرژی خلق می‌کند. پس چگونه ممکن است این عمل باقانون بقای انرژی مطابقت داشته باشد؟ از نقطه نظر فیزیك کلاسیك چنین فرایندی امکان ندارد.

اما برای ذرات، رابطهٔ عدم قطعیت هیزنبرگ اساسی ومهم است. به‌خاطر بیاورید برطبق این رابطه، درفاصلهٔ زمانی Δt انرژی نمی‌تواند باتقریب بیش از $\Delta E \sim \frac{h}{\Delta t}$ معین شود. اگرطول مدت فرایند کوتاه باشد، عدم قطعیت انرژی در دستگاه به‌اندازهٔ کافی بزرگ است وتابش فوتون به‌وسیلهٔ الکترون دراصل فرایندی مجاز می‌نماید.

فوتون در فاصلهٔ زمانی آنقدر کوتاه می‌تابد و از نو جذب می‌شود که اتلاف انرژی نامحسوس باقی می‌ماند و در مجموع می‌توان انرژی را بدون تغییر به‌حساب آورد. این مدت فقط $۱۰^{-۲۱}$ ثانیه است. چنین است زمان مخصوص فرایندهای الکترومگنتیك. انرژی درآغاز و درپایان فرایند یکی است.

این تصویری است که تئوری کوانتمی امروزی میدان رسم می‌کند. هنوز هیچکس چنین فوتونهای ناقل تأثیرات متقابله بین ذرات باردار را مشاهده نکرده است. بعلاوه تئوری می‌گوید که

www.takbook.com

آنها را به‌کمك کنترهای معمولی یا به‌وسیلهٔ اتاق ویلسون نیز نمی‌توان مشاهده کرد. به‌همین جهت چنین فوتونها را مجازی می‌نامند تاازذرات‌واقعی‌معمولی که می‌توان‌بادستگاههای مناسب‌ثبت‌کرد، متمایز باشند. فوتونهای مجازی درمرز هستی ونیستی وجود دارند. اینهاذره ـ شبحهایی هستندکه‌درتئوری پدیدارمی‌شوند تافرایندهایی راکه در دنیای خرد صورت می‌گیرند، هرچند تااندازه‌ای عینی سازند. ولی آنها از اشباح معمولی‌که انسان با تخیل می‌سازد، تفاوت زیاد دارند. اشباح پراکنده می‌شوند و اگر سعی‌کنید آنها را بگیرید، به‌هیچ تبدیل می‌شوند. اما اگر به‌الکترون انرژی بدهیم وسرعت آنها را زیادکنیم، فوتونهای مجازی نیز به‌ذرات معمولی « نیك سرشت » تبدیل می‌شوند.

باری تأثیر متقابلهٔ الکترومـاگنتیك از آنجا نتیجه می‌شودکه یك ذرهٔ باردار فوتون می‌تابد و ذرهٔ دیگرآن را جذب می‌کند.

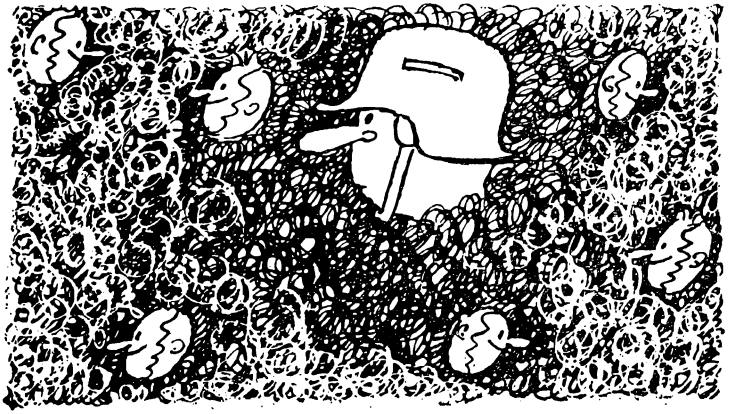
« طرز زندگی » ذرات باردار

ولی آیا ممکن است ذرات، خودکـوانتهای تابیدهٔ خود را جذب‌کنند؟ از قرار معلوم این امکان وجود دارد. بعلاوه‌فرایند تابش‌وجذب پی در پی فوتونهای مجازی اساس « فعالیت‌حیاتی » هرذرهٔ باردار را تشکیل می‌دهد. مثل اینکه ذره با خود در تأثیر متقابله است.

اندازهٔ بارالکتریکی درست‌شدت فرایند خلق‌وجذب فوتونها را معین می‌کند و چون فوتونها ناقل تأثیرات متقابله‌اند پس مقدار نیروهای الکترومـاگنتیك بافاصلهٔ زمـانی خلق وجذب فوتون، یعنی با دورهٔ « تنفس » ذرهٔ باردار معین می‌شود.

www.takbook.com

از روی کوانتهای مجازی می‌توان انرژی تأثیر متقابلهٔ ذره با خود را حساب کرد. لکن این محاسبه، متأسفانه، به‌نتیجه‌ای بی‌معنی منجر شده است: انرژی تأثیر متقابلهٔ ذره باخود و درنتیجه جرم ذرهٔ باردار بینهایت بزرگ است، جرم «پوستین» فوتونی و در نتیجه جرم خود الکترون بی‌اندازه زیاد است. بدون شك تأثیر متقابله بامیدان خودباید مقداری برجرم ذره بیفزاید، امانه‌بینهایت! راه نجات از این دشواریها تاکنون پیدا نشده است.



الکترون با «پوستین» فوتونی احاطه شده است.

ذرات وضدذرات

درسال ۱۹۳۰ دیراك[1] فیزیکدان‌انگلیسی به‌این نتیجه رسیدکه الکترون دارای همزاد یعنی ذره‌ای‌است‌که ازهرجهت شبیه الکترون فقط باعلامت الکتریکی مخالف است. چنین ذره‌ای به‌راستی‌کشف شد. نام این ذره را پوزیترون گذاشتند. این ذره همانند الکترون‌کاملاً پایدار است، لکن به‌محض برخورد باالکترون نابود می‌شود و الکترون را نیز

۱- P. Dirac

www.takbook.com

با خـود نابود می‌کند. در این برخورد فوتونهای با انـرژی زیاد به‌وجود می‌آیند.

عکس این فرایند نیز امکان دارد. مثلاً براثر برخورد فوتون انرژی زیاد (جرم آن باید بیش‌ازمجموع‌جرمهای‌ذرات تولیدشونده درحالت سکون‌باشد) باهسته، جفت الکترون ـ پوزیترون به‌وجود می‌آید.

ایـن مسأله در زمان خود واقعاً فیزیکدانان را گیج کـرد. الکترون، این قدیمی‌ترین ذره، مهمترین مادهٔ ساختمانی اتمهای بیشمار، الکترون معتبر و آزموده ابدی نیست و می‌تواند نـابود شود، می‌تواند پدید آید!

پس ازاینکه آزمایش پیشگویی تئوری را به‌طرزی درخشان تأییدکرد، بنابه‌گفتهٔ چ. اسنو[۱] نویسنده وفیزیکدان مشهور، همگی احساس شعف زائدالوصف‌کردند. از نو همان حرفهای‌گذشته را تکرارکردندکـه قـوانین اساسی رهبر رفتار ذرات یعنی خشتهای کائنات، یـك بار بـرای همیشه شناخته شده است و حالا فقط این مانده‌است‌که‌آنهارا برای‌توضیح پدیده‌های پیچیدگیهای‌گوناگون به‌کار بریم.

بعدها همزادها یعنی ضد ذرات تقریباً تمام ذرات پیداشدند. جـرم ضد ذره مساوی با جـرم ذره ولی با بارهای مخالف است (بعدخواهیم دیدکه غیرازالکتریسیته بارهای دیگرهم وجود دارد). همین چندی پیش آنتی پروتون وآنتی نوترون‌کشف شد.

۱- C. Snow

www.takbook.com

اینك ما می‌دانیم که پیدایش جفتها و نابودی آنها منحصر به‌الکترون و پوزیترون نیست.

فقط در موارد نادر، ذرات ضد ذره ندارند، مانند فوتون، π° – مزون و η° – مزون.

اما دراین مورد نیز می‌توان تصور کرد که ضد ذرات وجود دارند لکن تمام خواص آنها با ذرات یکی است. فوتون، π° – مزون و η° – مزون هیچ نوع باری ندارند و به‌همین جهت ذره هیچ‌تفاوتی با ضد ذره ندارد. آنهاهم براثربرخورد می‌توانندهمانند جفت ذره ـ ضد ذره نابود شوند. مثلاً براثربرخورد دوفوتون‌جفت الکترون ـ پوزیترون یا جفتی دیگر به‌وجود آید.

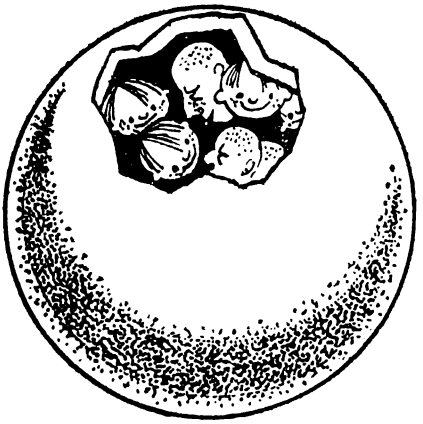
هستهٔ اتم . . . تئوری کوانتمی حرکت الکترونها و واکنش آنهابافوتونها، یعنی‌بامیدان الکترومـاگنتیك، پوستهٔ الکترونی اتم و تمام وقایعی راکـه امکان دارد درآن رخ دهد به‌خوبی تشریح می‌کند. حتی یك آزمایش نیست که ازنظرکمی تئوری را توضیح ندهد. اگر این مسأله را در نظر بگیریم کـه خود ذرات و ترکیب آنها همچنان اسرارآمیز مانده‌اند، دراتم معمایی وجود ندارد.

تا سال ۱۹۳۲ پاسخی دربارهٔ مسألهٔ ساختمان هسته وجـود نداشت. معلوم‌شده‌بودکه هستهٔ ساده‌ترین اتم، هستهٔ اتم هیدروژن، ذرهٔ باردار مثبت یعنی پروتون‌است. اما سایرهسته‌ها ازچه ساخته شده‌اند؟ ممکن‌بود تصورکرد (ابتدا نیزهمین‌طور تصورمی‌کردند) که‌درهسته علاوه‌بر پروتونها تعدادی الکترون نیز قرار دارد، عدهٔ

www.takbook.com

پروتونها ازعدهٔ الکترونهای هسته بیشتر است، پروتونهای اضافی بار مثبت هسته را تشکیل می‌دهند و با عدهٔ الکترونهای پوستهٔ اتم مطابقت دارند.

با وجود این به‌علل زیاد مجبور شدند از چنین تصوری چشم بپوشند. یکی از آن‌علل: ابعادهستهٔ بسیار کوچک‌است ($10^{-13}cm$). پس عدم‌قطعیت مختصات ذرهٔداخل هسته‌ازمرتبهٔ 10^{-13} سانتیمتری است که امکان می‌دهد به‌کمك اصل عدم قطعیت هیزنبرگ عدم قطعیت ایمپولس و درنتیجه مقدار انرژی جنبشی هدر رفتهٔ الکترون را معین‌کنیم. این مقدار هدر رفته با جرم ذره نسبت عکس دارد و برای الکترونها بقدری عظیم است که هیچ نیرویی قادر به‌نگهداری آنها در داخل هسته نیست. به همین علت هم نمی‌توان نوترون را متشکل از پروتون و الکترون دانست.



اکنون مدل پروتون ـ نوترونی هسته مسلم است

چدویك[1] درسال ۱۹۳۲ ذرهٔبنیادی سنگین جدید یعنی‌نوترون

۱ـ J. Chadwick

www.takbook.com

راکه جرمش کمی بیش ازپروتون است، کشف کرد. درهمان‌زمان نیزفرضیه‌ای ابراز شد (در اتحاد شوروی به وسیلهٔ ایوانکو[1] ودر آلمان به‌وسیلهٔ هیزنبرگ) که نوتروتها همراه پروتونها هسته‌های اتمی را می‌سازند. اکنون مدل پروتون ـ نوترونی‌هسته مسلم‌است.

ذرات بانوعی نیروهای تأثیرمتقابله خودرا درداخل‌هسته‌نگه می‌دارند. بعلاوه این‌نیروها بسیاربزرگند. اینها چه‌نیروهایی هستند؟ آشکارا می‌توان گفت که این نیروها نیروهای جاذبه نیستند، زیرا نیروهای جاذبه زیاده ازحدکوچکند. پایداری هسته را به نیروهای الکترومـاگنتیك نیزنمی‌توان نسبت‌داد، زیرا بین پروتونها (بارهای همنام) نیروی دافعه عمل می‌کندکه سعی‌دارد هسته را متلاشی‌کند.

... و نیروهای هسته‌ای

بنابراین بین‌ذرات هسته‌یعنی نوکلئونها[2] نیروهایی مخصوص عمل می‌کنند. به‌خودی خود نـامی برای آنها پیدا شده است ـ نیروهـای هسته‌ای. خواص اساسی نیروهای هسته‌ای چگونه است؟

قبل ازهمه اندازهٔ نیروهای هسته‌ای است. مقدار این نیروها تقریباً صدبار بیش از نیروهای الکترومـاگنتیك است. این نیروها از تمام نیروهایی که طبیعت در اختیار دارد، نیرومندترند. اکنون فیزیکدانان میل دارند هرچیز را مستقیماً به‌نام خود آن بنامند و از این‌راه اصطلاحات رسمی‌بسازند. مطابق این‌رویه نیروهای‌هسته‌ای را اغلب تأثیرات متقابلهٔ قوی می‌نامند. بعلاوه تأثیرات متقابلهٔقوی تنها عبارت ازتأثیرمتقابلهٔ نوکلئونها درهسته نیست. تأثیرات‌متقابلهٔ

۱ـ Ivanenko ۲ـ nucleon

www.takbook.com

قوی نوعی ویژه از تأثیرات متقابله است که به موازات نیروهای الکترومـاگنتیك، خاص بعضی ذرات بنیادی است.

ویژگی مهم دیگر نیروهای هسته‌ای یا تأثیرات متقابلهٔ قوی خصلت تأثیر آنها درفاصلهٔ کوتاه است. نیروهـای الکترومـاگنتیك دارای خصلت تأثیردرفاصلهٔ دورند. آزمایشهای مستقیم نشان‌می‌دهد که نیروهـای هسته‌ای فقط در فاصلهٔ ابعاد هسته‌ای از مـرتبهٔ $۱۰^{-۱۳}$ ـ $۱۰^{-۱۲}$ سانتیمتری به‌طور محسوس ظاهر می‌شوند، یعنی غولی بادستهای بسیارکوتاه. اما طبیعت نیروهای هسته‌ای چگونه است؟

مزونها ـ کوانتهای میدان هسته‌ای

بامطالعهٔ منظرهٔ تأثیر متقابلهٔ ذرات باردار از نظرگاه تئوری کوانتمی آشکار ساختیم که این منظره شبیه بازی والیبال است. ذرات باردار ذرات بین میدانی یعنی فوتونها را مبادله می‌کنند (به‌سوی یکدیگر پرتاب می‌کنند) .

اگر نخواهیم به‌عقیده رد شدهٔ قرن نوزدهم بازگردیم، باید قبول کنیم که تأثیر متقابله بین پروتونها و نوترونها به وسیلهٔ میدانی مخصوص صورت می‌گیرد.

اگر میدانی وجود دارد پس کـوانتهای این میدان یعنی ذرهٔ بنیادیی مخصوص نیزباید وجود داشته باشد. تأثیرمتقابله نوکلئونها در داخل هسته بـاید به‌وسیلهٔ ذراتی صورت‌گیرد، به‌عبارت دیـگر نوکلئونها باید ذرات ناقل تأثیر متقابله را به‌سوی یکدیگر پـرتاب کنند.

www.takbook.com

برای نخستین بار فیزیکدان ژاپونی هیدکی یوکاوا[۱] به‌چنین نتیجه‌ای‌رسید. یوکاوا بادرنظرگرفتن این‌حقیقت‌آشکارکه نیروهای درون هسته‌ای دارای خصلت تأثیردرفاصلهٔ‌کوتاه هستند ودرفاصلهٔ بیش از ابعاد هسته عملاً اثر ندارند، توانست جرم ذره ـ کوانت میدان هسته‌ای را برآوردکند. این‌محاسبه به‌کمك اصل‌عدم‌قطعیت بسیار آسان است.

تابش‌کوانت بین میدانی به‌وسیلهٔ پروتون یانوترون فرایندی مجازی است. انرژی‌کوانت ε باید درچهارچوب آن انرژی هدر رفته‌که رابطهٔ عدم قطعیت جایز می‌شمارد، جای‌گیرد:

$$\varepsilon \sim \Delta E \sim \frac{h}{\Delta t}$$

مدت Δt ظاهراً چیزی جز مدت اقامت ذرهٔ ناقل تأثیرمتقابله درفاصله بین لحظهٔ تابش و لحظهٔ جذب (مدت تأثیر متقابله) نیست. اما این مدت مساوی باراه‌طی شده l بخش‌بر سرعت است. راه‌طی شده مساوی باشعاع عمل نیروهای هسته‌ای ($l \sim ۱۰^{-۱۳} cm$) است، و سرعت را نیزمی‌توان تقریباً مساوی باسرعت سیرنور فرض‌کرد. بنابراین:

$$\Delta t = \frac{l}{c}$$

درنتیجه انرژی‌کوانت واکنش هسته‌ای چنین خواهد بود:

$$\varepsilon = \frac{hc}{l}$$

۱ـ H. Yukawa

www.takbook.com

و از آنجا جرم معادل بااین انرژی از فرمول:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{lc}$$

بـه‌دست می‌آیـد. تمام مقادیـر در اینجا از روی آزمـایش معلـوم شده‌اند. پس از قراردادن مقدار ثابت پلانک h ، شعاع عمل l و سرعت‌نور c معلوم‌می‌شودکه جرم m بایدتقریباً مساوی با۳۰۰ـ۲۰۰ برابر جرم الکترون باشد.

این جرم حدواسط بین جرم الکترون و جرم پروتـون است. بـه‌همین جهت ذرات فرضی جدیـد نام مزونها[1] را گـرفتند، یعنی «ذرات میانی».

پس از پیشگویی یوکاوا محققان با جدیت تمام به جستجوی مزونها پرداختند.

آغازدورهٔ«سرکشی» در فیزیـك ذرات بنیادی

پژوهشها باموفقیت توأم بود اما نه یکباره. یك سال پس از پیشگویی یـوکاوا از روی فوتوگرافیهای اشعهٔ‌کیهانی دراتاق ویلسون رد ذرات جدیدی راپیداکردند. اینها ذرات باردار مثبت ومنفی باجرم نزدیك به۲۰۷ برابر جرم الکترون‌بودند. در بدو امرکسی تردید نداشت‌که این ذرات همان مزونهای یوکاوا هستند. تحقیقات دقیق به‌کشف چیزهایی عجیب وغریب منجر شد.

اگر مزون‌کوانت میدان هسته‌ای است پس باید باهسته‌اتمها یعنی‌باپروتونها ونوترونها درتأثیر متقابله شدید باشد. اماآزمایشها

۱ـ meson

www.takbook.com

نشان دادند که ذرات جدید (آنها را میو ـ مزون یا میوئون[1] نامیدند) بیعلاقگی نامفهومی نسبت به هسته‌ها نشان می‌دهند. میوئونها فقط قادر به شرکت در تأثیرات متقابله الکترومگنتیک هستند و اصلاً شرکت در تأثیرات متقابله قوی را نمی‌پذیرند. میو ـ مزون آن ذره‌ای نبود که ابتدا فرض کرده بودند و برای توضیح کائنات لزوم حیاتی داشت. به‌همین جهت کشف آن آغاز دورهٔ «سرکشی» درفیزیك ذرات بنیادی بود. میوئون از نظر جرم خیلی غنی بود ولی از «خویشاوندان» الکترون منتها از «خویشاوندان» کوتاه عمر الکترون از آب درآمد. اما برای چه الکترون به‌چنین «خویشاوندی» نیازمند است، تا امروز روشن نشده است. درباره این ذره بازهم در صفحات بعد گفتگو خواهیم داشت. این تنها ذره‌ای نیست که وجود آن بوالهوسی طبیعت سخاوتمند را می‌رساند.

π ـ مزون بالاخره درسال ۱۹۴۷ به‌راستی آن مزونهایی که یوکاوا پیشگویی کرده بود، کشف شد. به‌این ذرات نام π ـ مزون (پی ـ مزون) یا پیون[2] دادند. پیونها با هسته‌ها در تأثیر متقابله شدیدند.

همانطور که تئوری نیز پیشگویی کرده بود، معلوم شد که مزونهای π برسه نوعند: با بارهای مثبت، منفی و خنثی. جرم π ـ مزون خنثی ۲۶۴/۲ برابر جرم الکترون و جرم مزونهای π مثبت و منفی مساوی با ۲۷۳/۲ برابر جرم الکترون است. پیونهای باردار صدبار و π° ـ مزون ده میلیارد بارکمتر از میوئونها عمر می‌کنند.

۱ـ muon ۲ـ pion

www.takbook.com

بنابراین جای تعجب نیست که این ذرات سخت‌تر از μ ـ مزون کشف شده باشند.

مزونهای π فعالانه‌درتأثیرات متقابله‌هسته‌ای‌شرکت می‌کنند. اما هم پروتونها و هم نوترونها فقط با مبادله π° ـ مزون آزادانه به‌یکدیگر تبدیل می‌شوند. π^{+} ـ مزون به‌طور مجازی فقط به‌وسیله پروتون می‌تابد و تنها جذب نوترون می‌شود. برعکس π^{-} ـ مزون فقط به‌وسیله نوترون می‌تابد و تنها به‌وسیله پروتون جذب می‌شود. پروتون و نوترون براثر مبادله مزونهای باردار به‌یکدیگر تبدیل می‌شوند.

«پوستین» مزونی نوکلئونها

بنابراین نوکلئونها به‌وسیله میدان هسته‌ای که ازمزونهای مجازی تشکیل یافته است درتأثیر متقابله‌اند. نوکلئون منفردهم دراطراف خود میدان مزونی می‌سازد و به عبارت دیگر دایماً مزونهای π مجازی می‌تابد وجذب می‌کند. این فرایند اساس «فعالیت حیاتی»پروتونها و نوترونها است، همچنانکه تابش وجذب فوتونها اساس«فعالیت حیاتی» ذرات باردار الکتریکی است.

هرنوکلئون دارای بارهسته‌ای، دقیقتر بگوییم، دارای ثابت تأثیرات متقابله قوی است که مقدار آن سرعت فرایند تابش و جذب مزونها را بیان می‌کند و مقدار نیروهای هسته‌ای را معین می‌کند. همانطورکه خاطرنشان شد تأثیرات متقابله هسته‌ای صدبار شدیدتر ازتأثیرات متقابله الکترومگنتیک است. بنابراین جذب و تابش مزونها به‌وسیله نوکلئونها صدبار سریعتر از جذب و تابش

www.takbook.com

فوتونهابه‌وسیله‌بارهای‌الکتریکی صورت می‌گیرد. زمان‌مخصوص هسته‌ای $۱۰^{-۲۳}$ ثانیه است.

نوکلئون همیشه به‌وسیله ابری متراکم از مزونهای باردارو خنثی و به‌قول دانشمندان «پوستین» مزونی احاطه شده است. اگر تأثیرات متقابله هسته‌ای قطع شود، نوکلئون «لخت» به نظر می‌رسد.

ساختمان نوکلئونها در حقیقت تأثیر متقابله نوکلئون با مزونها را به‌هیچ شکلی نمی‌توان قطع کرد. به‌همین‌جهت «پوستین» مزونی جزءلاینفك خود نوکلئون، عنصر ساختمانی آن است. از آن زمان‌که شروع به‌تحقیق ساختمان اتم کردند تاحال، ساختمان ذرات بنیادی مسأله روزبوده‌است. لکن این مسأله جدید خیلی پیچیده‌تر است.

اتم به‌سادگی از الکترونها و هسته تشکیل یافته است. اما پروتون اصلاً ازمزونها ساخته نشده‌است. پروتون لاینقطع مزونها را به‌وجود می‌آورد و از نوآنها را جذب می‌کند اما خود ازآنها ساخته نشده است. با وجود این ساختمان پیچیده ذره وجود دارد.

ابر مزونی ابعادی محدود دارد. هرچند مزونها مجازی‌اند، به‌هیچ وجه نمی‌توان منکروجود آنها شد. فقط جذب و تابش آنها بینهایت سریع است وبه‌علت نداشتن انرژی کافی نمی‌توانند خودرا به‌عنوان ذره حقیقی آشکار سازند. هنگام برخورد پروتونهای‌سریع مزونها ازابرهای محیطی پروتونها جدا می‌شوند وبه‌صورت ذرات مستقل عرض وجود می‌کنند. آنهابه‌حساب انرژی جنبشی پروتونها

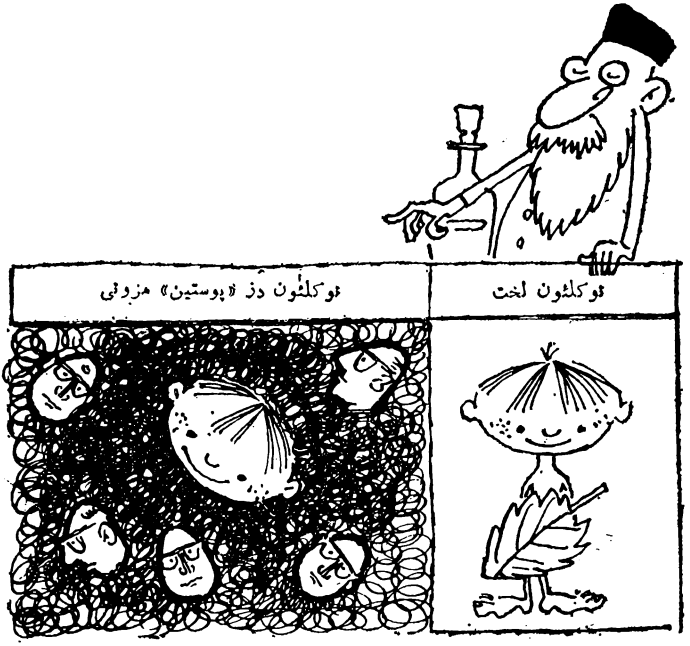
www.takbook.com

انرژی «کافی برای هستی» می‌گیرند.

به‌منظور تحقیق انتشار بار درنوکلئونها آنها راباالکترونهای سریع بمباران می‌کنند. چرا با الکترونهای سریع؟ ببینید چرا. ساختمان نوکلئونها رابایدتحقیق کنند. ابعادآنها ازمرتبه $10^{-13}cm$ است. ولی الکترونها خواص موجی دارند. هرچه طول امواج الکترونی کوچکترباشد ایمپولس الکترونها بیشتراست. برای‌تحقیق ساختمان هرچیز بدون شك امواج با طول کمتر از ابعاد آن چیز لازم است. وگرنه به‌سبب دیفراکسیون، امواج آن را دورمی‌زنند و هیچیك ازقسمتهای آن‌کشف نمی‌شود. معلوم شده است‌که برای تحقیق ساختمان نوکلئونها، الکترونها باید انرژی کمتر از صد ـ میلیون الکترون ولت‌نداشته باشند. چنین انرژی رامی‌توان به‌وسیله شتابدهنده‌های مخصوص به‌الکترون داد.

چرا مخصوصاً الکترونها رابه‌عنوان‌گلوله انتخاب کرده‌اند؟ مطلب در این است که نوکلئونها الکترونها را پراکنده می‌کنند. ازروی‌منظرهٔ‌پراکندگی‌که ازتئوری‌تأثیرات متقابله الکترومـاگنتیك نتیجه می‌شود، می‌توان ابعاد نوکلئون را معین‌کرد و حتی توزیع بار را در داخل آن حساب کرد. چون الکترون تحت تأثیر نیروـ های هسته‌ای قرار نمی گیرد، چنین روشی برای تعیین خصلت توزیع بار الکتریکی در داخل نوکلئون مثمر ثمر است. ذراتی راکه شدیداً درتأثیر متقابله شرکت دارند، تقریباً نمی‌توان به‌عنوان گلوله به‌کاربرد. زیرا به‌تفصیل نمی‌دانیم‌که آنها چگونه به‌وسیله نیروهای هسته‌ای پراکنده می‌شوند.

www.takbook.com



نوکلئون به‌وسیله «پوستین» پی ـ مزونی احاطه شده است.

آزمایشهانشان داده‌اندکه تراکم باربه‌تدریج ازمرکزبه‌سوی نقاط دور افتادهٔ هسته کاهش می‌یابد و در فاصلهٔ $۱/۴ \times ۱۰^{-۱۳}$ سانتیمتری ازمرکز می‌توان‌آن را مساوی باصفر دانست (شکل۴).

در داخل نوترون لایه‌های باردار قرار دارندکه تراکم بار در آنها به‌طرزی پیچیده تغییر می‌یابد.

جالب اینجاست‌که باوجود پراکندگی بار درفضا، حتی‌یك جزء از آن را نمی‌توان جداکرد.

اینها قدمهای نخستین به‌داخل ذرهٔبنیادی است. ساختمان ذرات به‌راستی بازهم پیچیده‌تر است. تنها π ـ مزون نیست‌که در

www.takbook.com

ساختمان نوکلئون شرکت دارد. ذرات دیگر نیزباید نقشهایی‌نسبتاً مهم ایفاکنند. دراین باره بعداً صحبت خواهیم داشت.

خانواده‌های‌ذراتی که‌درتأثیرات‌متقابلهٔ قوی شرکت‌دارند

نیروهای‌هسته‌ای‌بین‌نوکلئونها عمل‌می‌کنند، اما پروتون ازنوترون با بارالکتریکی‌وجرم متمایز است. آیا این وجه تمایز می‌رساند که نیروهای پروتون ـ پروتونی، نوترون ـ نوترونی و پروتون ـ نوترونی متفاوت هستند؟

آزمایشهای دقیق از روی درجهٔ پراکندگی نوکلئونها روی یکدیگر نشان داده‌اندکه نیروهای هسته‌ای، اگر از بعضی جزئیات چشمپوشی‌کنیم، برای‌هرجفت‌نوکلئون یکسان است. بارالکتریکی اثری براین نیروها ندارد وازقرار معلوم مستقل از نیروهای‌هسته‌ای است.

این واقعیت مهم امکان می‌دهد تا به‌پروتون و نوترون از نظرگاهی جدید توجه‌کنیم. اگر پروتون بارالکتریکی نداشت، چگونه ممکن‌بودآن را از نوترون تمیز داد؟ هردونسبت به‌تأثیرات متقابلهٔ‌قوی‌کاملاً یکسان عمل می‌کنند واسپین یکسان دارند. حتی مختصرتفاوت‌درجرم‌هم‌منشأالکترومـاگنتیك‌دارد. اگربارالکتریکی را از میان ببریم، جرمها یکی می‌شوند و درآن صورت پروتون و نوترون را نمی‌توان از یکدیگر تمیز داد.

این حقایق ما را معتقد می‌کندکه پروتون و نوترون را در اصل یك ذره اما درحالات بارداری متفاوت بدانیم.

پروتون و نوترون تنها نمونه دوقلوهایی نیستندکه فقط با

www.takbook.com

لباسهای الکتریکی خود ازیکدیگر متمایزند. تفاوت سه π ـ مزون هم‌فقط دربارالکتریکی آنهاست ودرنتیجه تفاوت مزونهای باردار و خنثی از نظر جرم بسیار اندك است. آنها را می‌توان یك ذره در حالات بارداری متفاوت پنداشت.

درصفحات آینده خواهیم دیدکه همهٔ ذراتی که در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت دارند بدون استثنا درگروههایی به نام مولتیپلتهای‌باردار متحدمی‌شوند. ذراتی‌که دریك مولتیپلت[1] باردار جادارند فقط به‌وسیلهٔ حالت بارداری ازیکدیگر متمایزند. انتساب به‌یك مولتیپلت باردار مهمترین نشانه در شناسنامه ذرات بنیادی است. اتحاد ذرات جداگانه در مولتیپلتها عناصر یگانگی ذرات بنیادی را آشکار می‌سازد.

لکن فیزیکدانان فقط به اتحاد ذرات در مولتیپلتها اکتفا نکرده‌اند وکوشیده‌اند ماهیت این اتحاد راهرچه بیشتر روشن‌کنند. درجریال حل این مسأله‌کمیتی جدید به‌نام اسپین ایزوتوپی[2] I به‌کار رفته است. این‌کمیت ونقش آن درطبقه‌بندی ذرات بنیادی چیست؟

اسپین ایزوتوپی

هرمولتیپلت بارداربامقداری اسپین ایزوتوپی مطابقت دارد. اگر مولتیپلت فقط از یك ذره تشکیل یافته باشد، اسپین ایزوتوپی آن را مساوی باصفرمی‌گیرند. به مولتیپلت متشکل از دو ذره (مثلاً به‌دوبلت[3] نوکلئونهاکه از پروتون و نوترون تشکیل یافته است) اسپین ایزوتوپی $I=\frac{1}{2}$ ، به مولتیپلت از سه ذره (مثلاً به تریپلت[4] π ـ مزون) اسپین ایزوتوپی

۱ـ multiplet ۲ـ spin isotopic ۳ـ doublet ۴ـ triplet

www.takbook.com

$I=۱$ ، بـه مـولتیپلت از چهار ذره (کوارتت[۱]) اسپین ایـزوتوپـی $I=\frac{۳}{۲}$ را نسبت می‌دهند. به‌این‌طریق اگردرمولتیپلت باردار n ذره شرکت‌کند، اسپین‌ایزوتوپی $I=\frac{۱}{۲}(n-۱)$ را به‌آن‌نسبت می‌دهند.

اما چرا در اینجا اسپین رابه‌کاربرده‌اند؟ اگـر منظور اسپین معمولـی یعنی ممان چرخشی است، در آن صورت دلیلی بـرای انتخاب آن دراینجا وجود ندارد. شباهت فقط منحصر به‌این است که دستگاه ریاضیی کـه استقلال بارداری تأثیر متقابلـه قوی را با برقراری اسپین ایزوتوپی بیان می‌کند، همان دستگاهی است‌کـه برای بیان اسپین معمولی به‌کار می‌رود. به‌خاطر بیاوریم اگراسپین مساوی با $\frac{۱}{۲}$ در آحاد $\hbar$ باشد، دوسمتیگری امکان وجود پیدامی‌کند. تصویر اسپین در هرجهت مقادیر $+\frac{\hbar}{۲}$ یا $-\frac{\hbar}{۱}$ رامی‌پذیرد. الکترون وذرات دیگرکه این اسپین را دارند، در دوحالت اسپینی متفاوت قرار می‌گیرند.

درست‌به‌همین شکل، گروه متشکل ازدوذره‌ای‌که درحالات بارداری متفاوت قرار دارند نیز بااسپین ایزوتوپی $I=\frac{۱}{۲}$ مطابقت می‌کند. به همین جهت مـانعی وجود ندارد تا به هریك از اعضای خانواده‌های هم اسپین، مقدار معین «تصویر اسپین ایزوتوپی روی محور Z» را نسبت دهیم. این مقدار برای پروتون $I_z=+\frac{۱}{۲}$ و

۱- quartet

www.takbook.com

برای نوترون $I_z = -\frac{۱}{۲}$ است. به‌راستی صحبت دربارهٔ تصویرهای روی محور مختصات فضاومکان معمولی نیست بلکه گفتگو دربارهٔ فضاومکان ایزوتوپی صوری است، وانگهی ما وارد عمق این مسائل نمی‌شویم. بایداطمینان داشت که اصل شباهت بین اسپین ایزوتوپی و اسپین معمولی به‌قدر کافی روشن است.

خانوادهٔ π ـ مزون بااسپین ایزوتوپی $I = ۱$ مشخص می‌شود. مقدار تصویر I_z برای π^+ مزون $I_z = +۱$ ، برای π° مزون $I_z = ۰$ و برای π^- مزون $I_z = -۱$ است. همانطورکه می‌بینید اسپین ایزوتوپی مساوی با ۱ می‌تواند درسه حالت اسپینی متفاوت قرارگیردکه بامقادیر تصویر اسپین روی محور Z یعنی با $+۱$ ، ۰ ، -۱ در آحاد $\hbar$ مطابقت دارد (شکل ۵).

تمام این اطلاعات را می‌توان در جدولی جای داد.

علامت ذره	عدهٔ ذرات درمولتیپلت	اسپین ایزوتوپی	بار ذره	تصویر اسپین ایزوتوپی
p	۲	$\frac{۱}{۲}$	$+۱$	$+\frac{۱}{۲}$
n			۰	$-\frac{۱}{۲}$
π^+	۳	۱	$+۱$	$+۱$
π°			۰	۰
π^-			-۱	-۱

www.takbook.com

بعدها این جدول را توسعه می‌دهیم و خانواده‌های دیگر راکه در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت دارند، در آن وارد می‌کنیم.

بااین ترتیب بااسپین ایزوتوپی و تصویر آن آشنا شدیم. اما برای چه آن را وضع کرده‌اند؟ اسپین ایزوتوپی در تأثیرات‌متقابله قوی‌کمیتی پایدار است. مجموع مقدار اسپین ایزوتوپی در تمام فرایندها، تمام تبدیلات ذرات بنیادی‌که به وسیله تأثیرات متقابلهٔ قوی صورت می‌گیرد، بدون تغییر می‌ماند. فقط باید درنظر داشت که اسپین ایزوتوپی بردار نیرواست و اسپین ایزوتوپی‌کلی حاصل جمع بردارهای مربوط به‌ذرات متفاوت است. طول بردار اسپین‌ـ ایزوتوپی‌کلی بدون تغییر می‌ماند. مثلاً در واکنش

$$p+\pi^{\circ}\rightarrow n+\pi^{+}$$

مقدار اسپین‌ایزوتوپی تغییر نمی‌کند. قبل ازواکنش $I=\frac{۱}{۲}+۱=\frac{۳}{۲}$ و بعد از واکنش نیز $I=\frac{۱}{۲}+۱=\frac{۳}{۲}$ است.

بقای اسپین ایزوتوپی بـه نتایجی بسیار مهم مخصوصاً در تئوریهای هستهٔ اتمی و واکنشهای هسته‌ای منجر می‌شود. لکن این نتایج زیاده از حد پیچیده‌اند و ما از آن می‌گذریم. ازنظر فیزیکی اسپین‌ایزوتوپی به‌معنی استقلال بارداری‌تأثیرات متقابلهٔ قوی‌است. قانون بقای اسپین ایزوتوپی تنها قانون بقاست‌که فقط در تأثیرات متقابلهٔ قـوی اجرا می‌شود. تأثیرات متقابلهٔ دیگر، مثلاً تأثیرات متقابلهٔ الکترومـاگنتیك، مقدار آن را تغییر می‌دهند. چرا؟ تاکنون روشن نشده است.

www.takbook.com

آیاممکن‌است‌نیروی جاذبهٔ گرانشی را از یادبرد؟

با تأثیرات متقابلهٔ الکترومـاگنتیك، هـرچند به طور سطحی، آشنا شدیم. این نیروها بر حرکت ذرات اثر می‌کنند و مـوجب سری کامل تبدیل ذرات به‌یکدیگر می‌شوند. لکن غیر از نیروهای الکترومـاگنتیك وهسته‌ای نیروی جاذبهٔ‌گرانشی نیز وجود دارد. همه با آثار آن بـه‌خوبی آشنایی داریم. همین نیرو است‌که مارا برروی‌کره زمین نگه می‌دارد. بشربرای غلبه‌برنیروی جاذبهٔ‌گرانشی وخروج به‌فضای‌کیهان دست به‌کوششهای‌قهرمانانه زده است. تهدید نیروی جاذبهٔ‌گرانشی مثلاً درکوهها یا حتی در کنار بالکن برهمگی آشکاراست. این نیروعظیم است، امـا... عظیم است فقط برای آنکه‌کره زمین عظیم است.

اصلاً نیروی جاذبهٔ‌گرانشی نـاتـوانترین نیروهاست. مثالـی می‌آوریم. دو انسان با وزن متوسط در فاصلـهٔ یك متری یکدیگر بانیروی نزدیك به‌سه صدم میلیگرم یکدیگر را جذب می‌کنند. ولی اگر عده الکترونهای هریك فقط یك درصد بیش از عدهٔ پروتونها باشد، نیروی تأثیر متقابله الکتروستاتیکی بین آنها، به‌طوری‌کـه فینمان[1] خاطرنشان می‌کند، مساوی‌بانیروی جاذبه‌بین دوکره‌زمین است‌که‌درکنارهم‌قرارگرفته‌اند. مجسم‌کنیدکه‌نیروی‌جاذبهٔ‌گرانشی چقدر ضعیف‌تـر از نیروهای الکترومـاگنتیك است. نیروی جاذبهٔ گرانشی‌الکترون به‌سوی پروتون دراتم ئیدروژن 10^{39} بارکوچکتر از نیروی جاذبهٔ الکتریکی است.

۱- Feynman

www.takbook.com

به‌علت همین ضعف منحصر بـه‌فرد نیروی جاذبهٔ گرانشی در مقیاس دنیای خرد است که می‌توان از آن به‌طور کامل چشمپوشی کرد. فیزیك امروزی ذرات بنیادی فیزیك بدون جاذبهٔ گرانشی است. با وجود این لازم است چند کلمه هم دربارهٔ تأثیر متقابله نیروهای جاذبهٔ گرانشی صحبت کنیم.

تئوری کلاسیك معمولی میدان جاذبهٔ گرانشی، آثار کوانتمی را درنظر نمی‌گیرد. بـرطبق تئوری کوانتمی، هرمیدان و از آن جمله میدان جاذبهٔ گرانشی باید دارای خواص ذره‌ای باشد. با هر میدان ذراتی مطابقت مـی‌کند. بنابراین با میدان جاذبهٔ گرانشی نیز باید ذراتی، ناقل تأثیر متقابلهٔ نیروهای جاذبهٔ گرانشی، مطابقت داشته باشد. به این ذرات نام گراویتون[1] را داده‌اند. فرضیات در این باره حاکی از این است که گراویتونها جرم در حالت سکون ندارند، سرعت انتشار آنها مساوی با سرعت نور است و اسپین آنها باید مساوی با $2\hbar$ باشد.

دو انسان با وزن متوسط در فاصله یك متری یکدیگر با نیروی نزدیك به‌سه‌صدم میلیگرم یکدیگر را جـذب می‌کنند.

۱- graviton

www.takbook.com

اماهیچکس گراویتونها رامشاهده نکرده‌است وهیچ آزمایش تبدیل گراویتونها بـه‌ذرات دیگر عملی نشده است. تأثیر متقابلـه گراویتونها (اگروجود داشته باشند) باسایر ذرات بنیادی بی‌اندازه ضعیف است.

بعید نیست که گراویتون بعدها ذرهٔ بنیادی تمام عیاری‌از آب در آید و نقش مهم آن در فرایندهای درون ذرات بنیادی آشکار گردد.

در فرایندهایی که برماآشکار است، در تمام مواردمی‌توان از نیروهای جاذبهٔ گرانشی چشمپوشی کرد. گراویتونها خودرانشان نمی‌دهند ومانیز بعدها دربارهٔ آنها صحبتی به‌میان نخواهیم آورد.

مختصری دربـارهٔ تـأثیرات متقابلـهٔ ضعیف

هر تأثیر متقابلـه (الکترومـاگنتیك یا هسته‌ای) بالاخره به‌عمل تولید و جذب ذراتی به‌وسیلهٔ ذرات دیگر منجر می‌شود. مثلاً دو الکترون باتابش یاجذب فوتونها بریکدیگر اثرمی‌کنند وتأثیر متقابلهٔ هسته‌ای نوکلونهاباتولید یاجذب مزونهای π صورت می‌گیرد. نیروی بزرگ این تأثیرات متقابله به‌وسیلهٔ سرعت فرایند تابش و جذب معین می‌شود.

باید دانست کـه هرتولد یامرگ ذرهٔ بنیادی را یکی از این دو نیرو باعث نشده‌انـد. فـرایندهایـی هم هستندکـه نیروهـای الکترومـاگنتیك و هسته‌ای در انجام آنها دخالت ندارند. چنین فرایندها نه تنهاکم نیستند بلکه خیلی هم زیادند.

تجزیهٔ نوترون به‌چنین فرایندهایی نسبت داده می‌شود:

www.takbook.com

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

نیروهای هسته‌ای نمی‌توانند موجب تجزیهٔ نوترون به پروتون، الکترون و آنتی نوترینو شوند، زیرا الکترون در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت نمی‌کند و به‌همین جهت نیز نمی‌تواند درنتیجهٔ این تأثیرات به‌وجود آید. پیدایش الکترون تحت تأثیر نیروهای الکترومگنتیك امکان پذیراست. اما آخر آنتی نوترینو نیز به‌وجود می‌آید که فاقد بار الکتریکی است و در تأثیرات متقابلهٔ الکترومگنتیك شرکت نمی‌کند! براثر تجزیهٔ π – مزون و μ – مزون نیز با تابش نوترینو یا آنتی نوترینو وضعی مشابه پدید می‌آید.

بنابراین تأثیرات متقابلهٔ دیگری باید عهده‌دار تجزیهٔ نوترون (و بعضی ذرات دیگر) باشند. به‌راستی همین‌طور است. درطبیعت چهارمین نیرویعنی تأثیرات متقابلهٔ ضعیف وجود دارد. این نیروها عواملی مؤثر در تراژدی نابودی ذرات هستند.

این تأثیرات متقابله از آن جهت ضعیف نامیده شده‌اندکه به‌راستی ضعیفند: نزدیك به 10^{14} بار ضعیفتر از تأثیرات متقابلهٔ هسته‌ای! زمان مخصوص تأثیرات متقابلهٔ ضعیف 10^{-9} ثانیه به‌جای 10^{-23} ثانیه برای تأثیرات متقابلهٔ قوی است. این به‌آن معنی است که نوترون با تابش الکترون و آنتی نوترینو مدام به‌پروتون تبدیل می‌شود واز نو درطول مدت نزدیك به 10^{-9} ثانیه به‌صورت واحدی جدایی‌ناپذیر در می‌آید. این فرایند، همانند تابش π – مزون در تأثیرات متقابلهٔ قوی، مجازی است. تفاوت فقط در این است که نوترون جرم کافی برای تابش ذرات حقیقی رانیز دارد و هرچندکه به‌ندرت

www.takbook.com

روی می‌دهد، در مقابل میلیونها میلیون فرایند مجازی یك فرایند حقیقی نیز صورت می‌گیرد.

تأثیرات متقابلهٔ ضعیف از نظر مقدار به‌قدری ناچیزندکه می‌توان آنها را در برابر تأثیرات متقابلهٔ قوی یا الکترومـاگنتیك نـا دیده انگاشت. اما فرایندهای بسیاری هستندکه فقط به وسیلهٔ تأثیرات متقابلهٔ ضعیف به‌وجود می‌آیند. اینجاست‌که آنها هم‌تمام قد عرض وجود می‌کنند.

تأثیرات‌متقابلهٔ ضعیف به‌سبب مقدارناچیز، به‌طور محسوس برحرکت‌ذرات اثرنمی‌کنند ولی‌باوجود این‌خود نیروهایی باهمان مفهوم‌نیروهای الکترومـاگنتیك وهسته‌ای هستند. درهرتأثیر متقابله، مهمتر از همه خلق ونابودی ذرات است و تأثیرات متقابلهٔ ضعیف این نقش را به‌کندی و دشواری ایفا می‌کنند.

بازهم خاطر نشان می‌کنیم‌کـه تأثیرات متقابلهٔ ضعیف نادر نیستند. برعکس، آنهافوق‌العاده همه‌کاره‌اند. تمام ذرات‌درتأثیرات متقابلهٔ ضعیف شرکت می‌کنند. تمام ذرات، بارالکتریکی یادقیقتر بگوییم ثابت تأثیرات متقابلهٔ ضعیف رادارند. اما فقط برای ذراتی کـه درسایر تأثیرات متقابلـه شرکت می‌کنند، قابلیت شرکت در تأثیرات متقابلهٔ ضعیف اساسی و مهم نیست. تنها نوترینوها جز در تأثیرات‌متقابلهٔ ضعیف قادر به‌شرکت درهیچ تأثیرمتقابلهٔ‌دیگرنیستند (البته‌به‌استثنای‌تأثیرات متقابلهٔ جاذبهٔ‌گرانشی بسیارضعیف). به‌همین جهت همهٔ واکنشهایی‌که در آنها پیدایش یا نابودی نوترینو روی می‌دهد، بدون شك به‌وسیلهٔ‌تأثیرات متقابلهٔ ضعیف به‌وجودمی‌آیند.

www.takbook.com

«سریع» و «بطیء» بهتر از «ضعیف» و «قوی» است

اسامی تأثیرات متقابلهٔ «ضعیف» و «قوی» مناسب است اما دربعضی مفاهیم کاملاً رسا نیست.

اگر بگوییم فلان شخص ضعیف است، این به آن معنی است که او هرگز نمی‌تواند کاری برجسته انجام دهد و مثلاً سنگ ده‌منی‌را بلندکند. تأثیرات متقابلهٔ ضعیف نیزضعیفند اما نه کاملاً به‌آن معنی که قادر به انجام‌کاری نمایان در دنیای خرد نباشند. اگرقانون بقا اجازه‌دهد، تأثیرات متقابلهٔ ضعیف می‌توانند موجب از هم پاشیدگی هرذرهٔ دارای جرم سکون شوند. مراعات این شرط فوق‌العاده اساسی است، وگرنه نوترونها درهسته پایدار نبودند و در طبیعت هیچ‌چیز غیراز هیدروژن وجود نداشت.

مطلب در این است که آثار تأثیرات متقابلهٔ ضعیف به‌ندرت آشکار می‌شود و بایدگفت که این تأثیرات بیشتر بطیء هستند تا ضعیف. آنها به‌ورزشکار ورزشهای سنگین وزنی می‌مانندکه قادر است وزنه‌ای بزرگ را خیلی خیلی آهسته بلندکند.

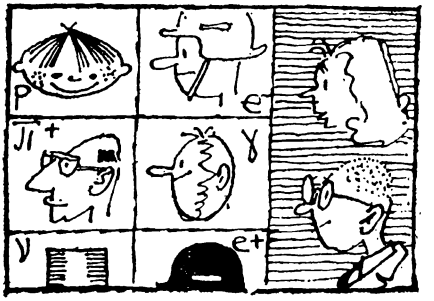
تأثیرات متقابلهٔ قوی سریعترین تأثیرات متقابله‌اند و تبدیلات ذرات بنیادی به‌وسیلهٔ آنهاکراراً روی می‌دهد. نیروهای الکترو-ماگنتیک‌کندتر از نیروهای قوی، لکن بی‌اندازه سریعترازنیروهای بطیء عمل می‌کنند.

آنچه دربارهٔ نیروها خواندید برای فهم اصول‌کلی‌طبقه‌بندی ذرات‌کافی‌است. درصفحات آینده به‌بررسی همهٔ ذرات‌می‌پردازیم.

www.takbook.com

فصل پنجم

درباب این‌که‌بالاخره‌خواننده می‌تواند با همهٔ ذرات بنیادی یکباره آشنا شود.



پس به من‌گوش ده تا آن را
که هم‌اکنون می‌بینی دریابی
برناردشاو
«سزار وکلئوپاترا»

سی وپنج

در زمان حاضر وجود ۳۵ ذرهٔ نسبتاً پایدار باطول عمربه‌مراتب بیش از زمان مخصوص هسته‌ای (10^{-22} ـ 10^{-23} ثانیه) ثابت شده است.

البته عدد ۳۵ رانمی‌توان قطعی دانست. از یکی از نامزدها یعنی گراویتون قبلاً ذکری به‌میان آمده است. غیر از این، چند

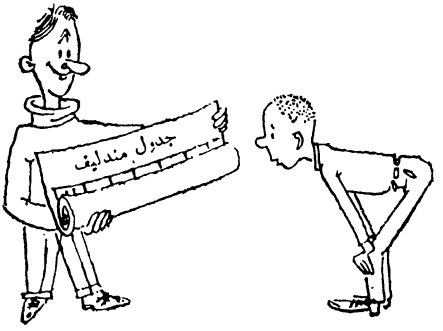
www.takbook.com

نامزد شایسته و معتبر دیگر نیز وجود دارد.

جرم مهمتر از همه فهرستی از ۳۵ ذره را نمی‌توان به‌هیچ وجه مختصر نامید. چگونه باید ذرات را در آن مرتب کرد؟

از همان ابتدا جرم را اساس طبقه‌بندی پذیرفته‌اند و ذرات را به‌ترتیب افزایش جرم آنها مرتب کرده‌اند.

مندلیف نیز در زمان خود همین اصل را اساس طبقه‌بندی اتمها قرار داد. سپس معلوم شد که کمیت اصلی در تشکیل جدول تناوبی بار هستهٔ اتم است نه جرم اتم. از آنجا که جرم هسته معمولاً با ازدیاد بار آن افزایش می‌یابد، مندلیف به کشف قانون تناوبی نایل آمد. باوجود این مواردی پیش آمد که مندلیف مجبور شد علی‌رغم قاعدهٔ کلی، خواص عناصر را اساس قرار دهد و عناصر با جرم کمتر را به‌دنبال عناصر باجرم بیشتر جا دهد.



مندلیف نیز در زمان خود همین اصل را اساس طبقه‌بندی اتمها قرار داد.

اما چرا جرم را مبنای طبقه‌بندی ذرات قرار داده‌اند؟ آیا این کار تکرار همان اشتباه مندلیف که جرم را به‌عنوان معیاری برای

www.takbook.com

طبقه‌بندی عناصر شیمیایی انتخاب کرد، نیست؟ هرچند ساختمان ذرات بنیادی برما معلوم نیست، بااین حال می‌توان گفت که دلایلی وجود دارد تا جرم را علامت اصلی ذره بدانیم.

جرم به‌سادگی اندازهٔ اینرسی که منشاء آن نامعلوم است، نیست. جرم‌دراصل‌به‌وسیلهٔ تأثیرات‌متقابله‌ای‌که ذره در آنهاشرکت می‌کند و نقشی که در این تأثیرات متقابله بازی می‌کند، آشکار می‌شود. بنابراین صفت بارز ذره، قابلیت آن در تأثیرات متقابله است.

گروههای ذرات

ویژگی اساسی ذره جرم آن‌است. همهٔ ذرات بدون استثنا دارای جرم هستند، درصورتی‌که کمیتهای دیگردربعضی ذرات وجود دارد ودربرخی وجودندارد[1]. ذرات برحسب جرم نه‌تنها در ترتیبی معین جاگرفته‌اند، بلکه در گروههای جداگانه سبك، متوسط و سنگین متحد شده‌اند.

این مسأله‌که اتحاد ذرات درگروهها برحسب جرم و درعین حال باطبقه‌بندی‌آنها برحسب نوع تأثیرات متقابله تااندازه‌ای زیاد مطابقت دارد، بسیار مهم است. درست‌تر آن است‌که طبقه‌بندی از روی نقش ذرات درتأثیرات متقابله یا از روی قابلیت آنها در تأثیرات متقابله‌گوناگون، صورت‌گیرد.

سخن‌کوتاه. جدول ذرات بنیادی در برابر شما است. حتماً توجه‌کرده‌اید، ابتدا به‌قسمت چپ جدول ازبالا به‌پایین توجه‌کنید.

۱ـ فوتون و نوترینو درحالت سکون دارای جرم نیستند اما در حال حرکت جرم دارند. آنها درحالت سکون دیگر وجود ندارند.

www.takbook.com

ذرات به‌چهارگروه تقسیم شده‌اند.

فوتون[۱] جدول با ذرهٔ فوق سبك یعنی فوتون افتتاح می‌شود. فوتون خود به‌تنهایی گروهی کامل‌را تشکیل می‌دهد.

نقش فوتون انتقال تأثیرات متقابلهٔ الکترومـاگنتیك است. فوتـون دراین تأثیرات متقابله نیز شرکت می‌کند. گمان می‌رودکه فوتون مانند ذرات دیگر درتأثیرات متقابلهٔ ضعیف نیز شرکت می‌کند، اما فرایندهایی‌که به‌وسیلهٔ تأثیرات متقابلهٔ ضعیف وباشرکت فوتونها روی می‌دهد، نـادر است. این فرایندها تاکنون بـه‌طور تجربی مشاهده نشده است.

لپتونها[۲] گروه بعدی راذرات سبك یعنی لپتونهاتشکیل می‌دهند. در این گـروه هشت ذره جا دارد: نوترینوالکترونی، نوترینو میوئونی، الکترون، μ – مزون و ضد ذرات مربوطه. جرم ذرات در حدی وسیع تغییر می‌کند: از صفر (برای‌نوترینو)تا۷/۲۰۶ برابرجرم‌الکترون (برای میوئون). به‌همین جهت‌نمی‌توان‌گفت‌که علامت عمدهٔ اتحاد این ذرات نزدیکی‌جرم آنهاست.

الکترون و μ – مـزون در تأثیرات متقابلـهٔ الکترومـاگنتیك شرکت می‌کنند، درصورتی‌که نوترینو فقط در تـأثیرات متقابلـهٔ ضعیف شرکت دارد. نقش الکترونها در ساختمان ماده بـرهمگی آشکار است. الکترونها پوستهٔ اتم راتشکیل می‌دهند. نوترینویکی

۱- photon ۲- lepton

www.takbook.com

از اجزای لازم در تجزیهٔ بسیاری از ذرات است. درصفحات بعد فصلی کامل به‌این ذره اختصاص یافته‌است که درآن ازجمله‌خواهید دانست که نوترینوی الکترونی و نوترینوی میوئونی چه تفاوتهایی با یکدیگر دارند.

پس چه‌چیز باعث شده است تا این ذرات دریك گروه متحد شوند. نوترینو از نظر جرم به‌فوتون نزدیکتر است تا به‌الکترون و μ – مزون ظاهراً از «خویشاوندان» π – مزون است.

قبل از هرچیز خاطر نشان می‌کنیم که تمام لپتونها دارای اسپین $\frac{1}{2}$ ، متفاوت با اسپین همسایگان نزدیك خود یعنی فوتون و مزونها، هستند. البته اسپین مشترك علامتی مهم در اتحاد آنهاست، لکن گمان نمی‌رود بتوان آن را اصلی و اساسی به‌حساب آورد. به‌مراتب اساسی‌تر این است که μ – مزون در تأثیرات متقابله قوی شرکت نمی‌کند ونوترینو هیچ رابطه‌ای با تأثیرات متقابلهٔ الکترو-ماگنتیك که «هدف‌زندگی» فوتون راتشکیل می‌دهد، ندارد. مهمتر ازهمه این است که لپتونها به‌وسیلهٔ عددکوانتمی مخصوص موسوم به‌بارلپتونی مشخص می‌شوند. هنوز طبیعت بارلپتونی شناخته نشده است ولی‌درعوض به‌خوبی‌معلوم شده‌است که‌این‌عدد چگونه‌آشکار می‌شود. در صفحات آینده شما هم دراین باره معلوماتی‌کسب خواهیدکرد، درست همان قدرکه فیزیکدانان برجسته می‌دانند.

مزونها

این‌گروه نیز متشکل از ۸ ذره است. اما چرا عدهٔ مزونها هم ۸ تاست ، اتفاقی نیست . طبقه‌بندی ذراتی‌که درتأثیرات متقابلهٔ قوی‌شرکت می‌کنند، به‌حدی

www.takbook.com

تکامل یافته است که این ادعا را به اثبات می‌رساند[1] .

سه تا از آنها، یعنی مزونهای π ، آشنایان قدیمی ماهستند. جز اینها چهار K – مزون تقریباً سه‌بارسنگین‌تر ازمزونهای πوجود دارد. آنها دومولتیپلت (دوبلت) بـاردار K^+، K° و K^-، $\overline{K}^\circ$ را تشکیل می‌دهند.

سنگین‌ترین ذره این گروه η° – مزون (اتـا ـ نول ـ مـزون) شبیه π° – مزون باضد ذرهٔ خود مطابقت می‌کند.

تمام ذرات‌گروه مزونها همانند π – مزون کوانتهای میدان هسته‌ای، ناقلان تأثیرات متقابلهٔ قوی هستند. شعاع عمل نیروهای هسته‌ای باجرم ذرهٔ ناقل‌تأثیرات متقابله نسبت عکس دارد. به‌همین جهت مزونهای K و η° می‌توانند تأثیرات متقابله رافقط درفواصل بسیار ناچیز انجام دهند. مزونهای π ناقلان عمدهٔ تأثیرات متقابلهٔ هسته‌ای هستند.

بدین‌طریق مزونها همانند سایرذرات سنگین‌تر از لپتونها در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت می‌کنند (البته بـه‌موازات شرکت در تأثیرات متقابلهٔ الکترومـاگنتیك وضعیف).

بازهم توجه‌کنیدکه اسپین همهٔ مزونها مساوی باصفرواسپین فوتون مساوی‌بایك است. اسپین صحیح ویژهٔ ذرات ناقل تأثیرات متقابله است. پس ماده از ذراتی ساخته شده است‌که اسپین آنها مضربی صحیح از $\frac{1}{2}$ است.

۱ـ چرا عدهٔ لپتونها ۸ تاست، تاحال روشن نشده است.

www.takbook.com

باریونها[1] باریونها آخرین و بزرگترین گروه ذرات هستند. بیست ذره از ۳۵ ذره در این گروه قرار دارند. باریونها سنگین‌ترین ذراتی هستند که در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت می‌کنند. تأثیرات متقابله بین باریونها به وسیلهٔ مزونها انجام می‌گیرد.

سبکترین باریونها ذرات دوبلت نوکلئونی یعنی پروتون و نوترون هستند. پس از آن ذرات سنگین‌تر ـ هیپرونها[2] قراردارند. تمام آنها در گروههای مولیتپلت باردار قرار می‌گیرند.

نخستین مولیتپلت هیپرونها فقط از یك ذره تشکیل شده‌است. این ذره Λ° (لاندا ـ نول) است. سپس به‌ترتیب افزایش جرم، تریپلتهای ذرات Σ : Σ^+ ، Σ° ، Σ^- و $\bar{\Sigma}^+$ ، $\bar{\Sigma}^\circ$ ، $\bar{\Sigma}^-$ قرار می‌گیرند. این ذرات نیز مانند تمام مولیتپلتها فقط به‌وسیلهٔ بارهای الکتریکی خود متمایزند و درتأثیرات متقابلهٔ قوی همچون ذره‌ای واحد عمل می‌کنند.

ذرات سنگین‌تر Ξ نیز دوبلتهای باردار: Ξ^- ، Ξ° و $\bar{\Xi}^-$ ، $\bar{\Xi}^\circ$ راتشکیل می‌دهند. اسپین تمام این ذرات مساوی‌با $\frac{\hbar}{2}$ است.

ذرهٔ Ω تمام‌گروه باریونها رابه‌هم پیوند می‌دهد. این‌آخرین ذرهٔ‌کشف شده است‌که درسال ۱۹۶۴ وارد جدول شده است.

تمام ذرات با تأثیرات متقابلهٔ قوی یعنی مزونها و باریونها

۱ـ barion ۲ـ hyperon

www.takbook.com

را اغلب آدرونها می‌نامند[۱].

باوجود این ممکن است ذرات بنیادی واقعاً بنیادی باشند

اینك به‌قسمت راست جدول توجه‌کنید. عدهٔ ویژگیهای ذرات یعنی جرم، اسپین، بارالکتریکی، عمرمتوسط و طرق عمدهٔتجزیه زیادنیست. البته همهٔ ویژگیها درجدول‌نیامده است و اندکی دیگر می‌توان به‌آنها اضافه‌کرد.

این مسأله امکان می‌دهد تا ذرات نامبرده در جدول راواقعاً بنیادی بدانیم. ساختمان بسیار پیچیدهٔ ذرات بنیادی رابابد به‌وسیلهٔ پارامترهای زیادتر نشان داد.

دربارهٔ طول عمر ذرات

از ۳۵ ذره فقط ۹ ذره (دونوع نوترینو، الکترون، پروتون، ضد ذرات آنهاوفوتون) پایدارند. طول عمر η° – مزون و π° – مزون وهمچنین هیپرونهای Σ° و $\bar{\Sigma}^\circ$ از همه‌کوتاهتراست. مدت زندگی آنها بین $۱۰^{-۱۴}$ ـ $۱۰^{-۱۷}$ ثانیه است. تجزیهٔ این ذرات به‌وسیلهٔ نیروهای‌الکترومـاگنتیك صورت می‌گیرد. زیرا درعدادمحصولات تجزیه تقریباً همیشه کوانتهای γ نیز یافت می‌شود. سایر تجزیه‌ها به‌مراتب‌کندتر روی می‌دهند و به‌وسیلهٔ تأثیرات متقابلهٔ ضعیف به وجود می‌آیند.

فکر نکنیدکه مثلاً طول‌عمر ازمرتبه $۱۰^{-۱۰}$ ثانیه مطلقاً ناچیز

۱- اصطلاح «آدرون» به‌وسیلهٔ اکون (Okun) فیزیکدان شوروی پیشنهاد شده است. این‌کلمه براساس‌کلمهٔ انگلیسی hard به‌معنی سنگین یاقوی ساخته شده است (ذرات سنگین درعین حال در تأثیرات متقابلهٔ قوی نیز شرکت می‌کنند). براثر جابجا کردن حروف (به‌منظور خوش‌آهنگی) اصطلاح «آدرون» پیدا شده است.

www.takbook.com

است. البته این‌مدت درمقیاس ماکروسکوپی ماکوچك است ولی درمقیاس دنیای خردعظیم است. اگرسرعت ذره مساوی باسرعت نور باشد، همانطورکه غالباً هست، ذره دراین مدت راهی نزدیك به یك سانتیمتر را می پیماید . ابعاد ذره از $۱۰^{-۱۳}$ سانتیمتر تجاوز نمی‌کند . پس راه پیموده شده به وسیلهٔ ذره دهها هزار میلیارد بار بیش از ابعاد آن است. برهمین قیاس، این مدت برای انسانی که بـا سرعت ۵ کیلومتر در ساعت راه می رود ، متجاوز از میلیون سال است.

اگر خوب دقت‌کنید متوجه خواهید شدکه طول عمر ذراتی که درنتیجهٔ تأثیرات متقابلهٔ ضعیف تجزیه می‌شوند، درحدی وسیع تغییر می‌یابدـ ازمدت زمان ماکروسکوپی ۱۷ دقیقه برای نوترون (با عمر پروانهٔ یك روزه قابـل مقایسه است) تا $۱۰^{-۱۰}$ ثانیه برای هیپرونها و مزونهای K . همانطورکه‌گفته شد سرعت فرایند معرف نیرو است.

بنابراین معلوم می‌شودکه سرعت تبدیل ذره نه‌تنها بـه‌وسیلهٔ نیرویی‌که این تبدیل رابه‌وجود می‌آورد بلکه به‌وسیلهٔ انرژی آزاد شده در موقع واکنش نیز معین می‌شود. اگـر تفاوت جرم ذره در حالت سکون ومحصولات تجزیهٔ آن‌کم است[۱]، پس سرعت‌تجزیه هم‌کم است. این تفاوت جرم برای نوترون نـزدیك بـه جرم یك الکترون و برای مثلاً هیپرون $^{\circ}۸$ بـه‌مراتب بیشتر، یعنی نزدیك به جرم ۴۳ الکترون است. اگر در هر مورد مقدار انرژی آزاد شده

۱ـ این تفاوت جرم برطبق فرمول $E=mc^{۲}$ است و انرژی آزاد شده‌را نشان می‌دهد.

www.takbook.com

را درنظر بگیریم، معلوم می‌شود که سرعت همهٔ تجزیه‌هایی که به وسیله تأثیرات متقابلهٔ ضعیف به‌وجود می‌آیند، یکسان است.

جهان از ۱۲ ذره

عدهٔ ذرات بنیادی باطول‌عمر زیاد رویهمرفته ۳۵ است. لکن همانطور که هل- مان[1] خاطر نشان‌کرده است، برای توضیح‌فیزیکی جهان یك‌دوجین ذره‌کفایت می‌کند. قبل ازهمه الکترون، پروتون ونوترون لازم‌است. اتمهای همهٔ مواد ازاین سه ذره ساخته شده‌اند. آنتی پودها یعنی ضدذرات این‌ذرات نیزوجود دارند: پوزیترون، آنتی‌پروتون وآنتی‌نوترون.

اما اگرفوتون نبود، اتمها به‌الکترون وهسته تجزیه‌می‌شدند. π – مزون برای پایداری هسته ضروری است. بنابراین باید بـه‌آن شش ذره (الکترون، پروتون، نوترون، پوزیترون، آنتی پروتون و آنتی نوترون) چهار ذرهٔ ناقل تأثیرات متقابله راهم افزود.

لکن تجربه نشان می‌دهدکه نوترون تجزیـه می‌شود. برای توضیح این تجزیه نوترینو لازم است وگرنه قوانین بقا اجرا نمی‌شود. بنابراین اگر نوترینو و آنتی نوترینو را هم بـه‌ذرات نامبرده اضافه‌کنیم، رویهم ۱۲ ذره می‌شود: تقریباً سه بارکمتر از آنهایی که واقعاً وجود دارند.

سخاوت نامفهوم

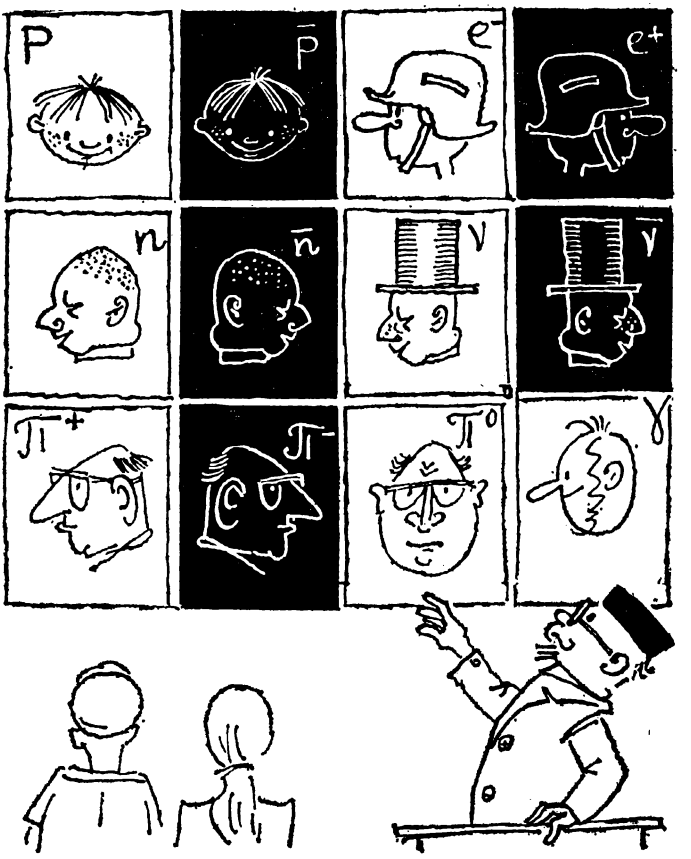
چرا دونوع نوترینو وجود دارد نه‌یکی، نقش μ – مزون چیست، تاحال آشکار نشده‌است. مفهوم وجود بعضی‌ذرات‌دیگر نیز کاملاً روشن‌نشده است. اثر این مجهولات در ذهن ما این تصور را ایجاد می‌کندکـه طبیعت چـه

۱- Hell' mann

www.takbook.com

اسرافهایی به‌خرج می‌دهد. حقیقت این است که معلومات مادربارهٔ ذرات بنیادی هنوز کم، زیاده ازحدکم است و به‌همین جهت قادر به‌درك بعضی مسائل نیستیم.

به‌این مسأله از جهت دیگر توجه می‌کنیم. لحظه‌ای رادرنظر آوریم که شتابدهنده‌ای در اختیار نداریم و اشعهٔ کیهانی نیز ذرات انرژی بسیار عظیم در برندارد. در آن صورت درشرایط کره‌خاکی



برای توضیح فیزیکی جهان یك‌دوجین ذره کافی است.

www.takbook.com

ما، در حرارتهای پایین در مقایسه با ستارگان، بسیاری از ذرات معلوم امروزی وجود نمی‌داشت. حتی π – مزون و μ – مزون نیز همچون ذرات واقعی وجود پیدا نمی‌کردند. برای پیدایش آنها انرژی کافی نبود. آنها فقط همانندذرات مجازی‌وجود پیدامی کردند وعدهٔذرات حقیقی به‌شدت محدود می‌شد. جالب است که‌دانشمندان دراین شرایط می‌توانستند فقط π – مزون را پیشگویی کنند، همان ذره ای‌که قبل از ساختن شتابدهنده‌ها، به وسیلهٔ یوکاوا پیشگویی شد. احتمال‌پیشگوییμ – مزون، نوترینو میوئونی ویك‌سری ذرات دیگر هم ناچیز بود.

برخوردهای ذرات دارای انرژیهای زیاد موجب‌پیدایشπ – مزون‌و ذرات دیگرمی‌شود (μ – مزون دراصل‌براثر تجزیهπ – مزون پدیدمی‌آید). می‌توان دنیایی رامجسم کردکه درآن افزایش انرژی ذراتی‌که برخورد می‌کنند، فقط موجب افزایش عدهٔ مزونهای π شود. اما طبیعت راهی دیگررا برگزیده است. درحقیقت با افزایش هرچه‌بیشترانرژی، پیونهاتولید می‌شوند، لکن‌همزمان با آن ذراتی سنگین‌تر نیز پدیدمی‌آیند. یعنی طبیعت به‌علتی ترجیح می‌دهد زیادی انرژی را به‌صورت انرژی سکون ذرات سنگین (نه‌ذرات سبك) بسته‌بندی کند.

باوجوداین می‌توان‌تصورکردکه تمام ذرات سنگین به‌حالت مجازی در دنیای انرژیهای‌کم وجود دارند (در مرزهستی ونیستی وجود دارند) وافزایش انرژی برخورد، به‌هستی ودرنتیجه به‌کشف آنها منجر می‌شود.

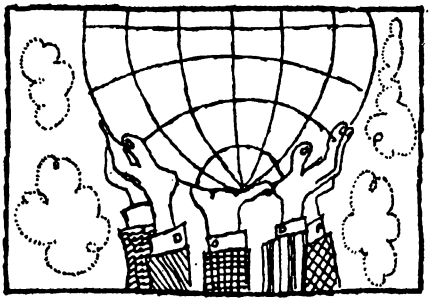
www.takbook.com

اسرار جهان به‌مراتب بیش از آن است که نه تنها گراسیو بلکه خود پرنس هاملت گمان می‌کرد.

www.takbook.com

فصل ششم

درباب آن‌که روشن خواهدشد
که جهان برقوانین بقا برجاست



قدرت آنها را در می‌یابیم .
خیرو برکت آنهاراحس‌می‌کنیم.

ف. ای. تیوتچف[1]
«اشعار»

درباهٔ آنچه نمی‌تواند باشد

سه‌نوع نیرو موجب پیدایش و تجزیهٔ ذرات بنیادی می‌شوند، موجب تبدیلات آنها می‌شوند. لکن مسألهٔ اساسی این است که: چه تبدیلاتی امکان پذیراست؟ پاسخ‌این پرسش به‌طرزی غیرمنتظره‌ساده است. تأثیرات متقابلهٔ‌الکترو ماگنتیك وضعیف‌می‌توانند فقط‌موجب

۱ـ Tutchev شاعر روس (۱۸۷۳-۱۸۰۳)

www.takbook.com

تبدیلاتی شوندکه قوانین بقا مجاز می‌داند. هر رویدادکه می‌تواند بدون نقض قوانین بقا روی دهد، در واقع روی می‌دهد. ذرات درچهار چوب این قوانین می‌توانند به‌هرشکلی رفتارکنند.

اگر پیش از این‌گمان می‌کردندکه قوانین اساسی برپایهٔ امکان رویدادها قراردارند، اکنون لازم است قوانینی را اساسی بدانیم که مقرر می‌دارند چه حادثه‌ای نمی‌تواند روی دهد. چنین قوانینی قوانین بقا هستند.

مهمترین‌دگرگونی‌تصورات دربارهٔ قوانین‌اساسی، درغایت امر به‌وسیلهٔ خصلت آماری حرکت و تبدیلات متقابلهٔ ذرات‌بنیادی آشکار می‌شود. همانا خصلت‌آماری قوانین اجازه نمی‌دهد تأکید کنیم‌که براثر برخورد دو ذره حتماً چه روی می‌دهد. مثلاً براثر برخورد دوپروتون سریع‌گوناگونترین ذرات پدید می‌آیند. ممکن است دو π – مزون و یك جفت K – مزون یا پنج π – مزون و ... پدید آیند. دریك سری بزرگ آزمایشهای یکسان همهٔ احتمالات خودنمایی می‌کنند. احتمالات نتایج‌نهایی‌برخورد متفاوتند اماتمام آنها، اگر با قوانین بقا تضادی نداشته باشند، مساوی با صفر نیستند.

خاطرنشان می‌کنیم که حتی یك واکنش بین ذرات حقیقی نمی‌تواند از جمله باقوانین بقای انرژی تناقض داشته باشد.

برای واکنشهای مجازی آزادی بیشتر وجود دارد. اجرای قوانین بقای انرژی برای آنها اجباری نیست (سایر قوانین بقاباید اجرا شوند).

www.takbook.com

چرا بعضی ذرات پایدارند؟

درنخستین آشنایی باذرات بنیادی، ناپایداری آنهامعمولاً حیرت‌آوراست. ولی درحقیقت نباید ازاین مسأله تعجب کرد. تبدیلات متقابله صفت عمدهٔ هستی ذرات بنیادی است.

تبدیلات مجازی ذرات به یکدیگر تحت تأثیر سه نوع نیرو هرگزقطع نمی‌شود. درصورتی‌که قوانین بقانقض نشود، دیریازود تبدیل حقیقی صورت می‌گیرد: ذرهٔ سنگین به‌ذرات سبکتر تجزیه می‌شود.

در این عمل هیچ چیز فرایند عکس را منع نمی‌کند. ذرات دختر پس ازبرخورد باهم یکی می‌شوند وبه‌ذرهٔ مادربدل می‌شوند. لکن احتمال چنین برخوردی‌بسیارکم است. ذرات ازمحل پیدایش به‌هرسو می‌گریزند وچون جهان از انبوه ذرات تشکیل نشده‌است، برخورد آنها با برادران و خواهران خود معمولاً روی نمی‌دهد واگر ناپایدارباشند پیش ازبرخورد تجزیه می‌شوند. همهٔفرایندهای دنیای خرد، ازآن جمله تبدیل ذرات، برگشت پذیرند. امااحتمال فرایندعکس درشرایط معمولی‌کم‌است. فقط درحالتهای‌فوق‌العاده متراکم ماده فرایندهای عکس همانند فرایندهای مستقیم غالباًروی می‌دهد. دراعماق ستارگان سنگین احتمالاً چنین است.

بنابراین باید انتظارداشت‌که ذرهٔ تولید شده نتواند مدتی‌زیاد وجود داشته باشد. در واقع نیز، جز بعضی موارد استثنایی، همین طور است.

باوجود این چرا ذرات پایدار وجود دارند؟ آری، باید از

www.takbook.com

این تعجب کـرد نه از تجزیهٔ ذرات. درك این که فوتون و نوتـرینو پایدارند، دشوار نیست. آنها از سبك هم سبکترند. جرم درحالت سکون آنها مساوی باصفر است و به ذرات سبکتر نیز نمی‌توانند تجزیه‌شوند. سایرذرات ظاهراً باید به‌فوتون و نوترینو تجزیه‌شوند. این مسأله با قانون بقای انرژی تناقض ندارد.

لکن دو ذرهٔ الکترون و پروتون از تجزیهٔ خودبخود احتراز می‌کنند. چرا؟ تنها به‌خاطر محدودیتی‌که بالزوم اجرای قوانین بقا ارتباط دارد. عللی دیگر وجود ندارد یا ما نمی‌شناسیم.

قوانین بقا چیست؟ لازم‌است ابتدا مختصری دربارهٔ این‌که‌قوانین بقا چیست، صحبت کنیم.

مجموعهٔ حقایق، هرچندکه بخودی خودمهم وجالب باشند، هنوز علم را تشکیل نمی‌دهند. وظیفهٔ علم عبارت از یافتن قوانین کلی طبیعت و توضیح فرایندهای گوناگون به‌کمك آنهاست. از قـوانین‌کلی می‌تـوان مثلاً قـوانین دینامیك نیوتون برای اجسام ماکروسکوپی یا قوانین مکانیك‌کوانتمی را نام برد.

ساده‌ترین شکل قانون‌کلی‌ثابت بودن یك‌کمیت است. چنین قوانینی را در فیزیك قوانین بقا می‌نامند. جستجوی‌کمیتهای ثابت خط‌مشی بی‌اندازه مهم تحقیق است.

اهمیت عمدهٔ قوانین‌بقا قبل ازهمه درخصلت بسیار همه‌جانبهٔ آنهاست. سایر قوانین‌کلی فیزیك فقط در ناحیه‌ای محدود قابـل استفاده‌اند. مثلاً قوانین‌نیوتون قادربه‌توضیح حرکت ذرات‌بنیادی وهمچنین حرکت اجسام ماکروسکوپی باسرعت نزدیك بـه‌سرعت

www.takbook.com

نور نیست. اما قوانین بقاشامل حرکت‌اجسام باهرجرم وهرسرعت است.

نمی‌توان‌گفت‌که براساس فقط بعضی از قوانین بقامی‌توان جریان هر فرایند را به‌طورکامل توضیح داد. نقش این قوانین تنها عبارت ازاین نیست‌که نشان دهند چه‌فرایندهایی امکان پذیرنیستند. بسیاری از ویژگیهای فرایندها را می‌توان به‌کمك قوانین بقا به طرزی بینهایت ساده توضیح داد.

وقتی‌که محقق شروع به‌نفوذ درمحیطی تازه‌شناخته می‌کند، ضرورت قوانین‌بقا احساس می‌شود. درموقع پیدایش فیزیك‌ذرات بنیادی نیز چنین بود. ماهیت پدیده‌ها درظلمت قرار داشت. فقط واقعیتهایی جداگانه و اغلب بی‌ارتباط بایکدیگر پردهٔ مجهول را اندکی بالامی‌زد. دراین شرایط قوانین‌بقاتنها امیدوچراغ راهنمای محقق بود. دانشمندان بااینکه هنوزاصل پدیده‌ها را درمحیط جدید نمی‌شناختند، با حقانیت‌کامل می‌توانستند بگویندکه در اینجا نیز بقای‌کمیتهای معلوم برما، حکمفرمایی می‌کند. برحسب درجهٔ نفوذ دراعماق دنیای خردقوانین‌بقای جدید، ویژهٔدنیای خردکشف شدند. این قوانین امکان دادند به عده‌ای عظیم از تبدیلات قابل مشاهدهٔ ذرات بنیادی پی‌ببریم.

بقای ایمپولس

دربارهٔ قانون بقای انرژی بقدرکافی بحث کرده‌ایم. حال قوانین بقای ایمپولس وممان ایمپولس را به‌طور مختصر مورد بررسی قرار می‌دهیم.

با قانون بقای ایمپولس یا مقدار حرکت‌کم یابیش آشنایی

www.takbook.com

داریم. زیرا جزءبرنامهٔدرسی دبیرستان‌است. دراین‌مورد به‌اختصار برگزار می‌کنیم.

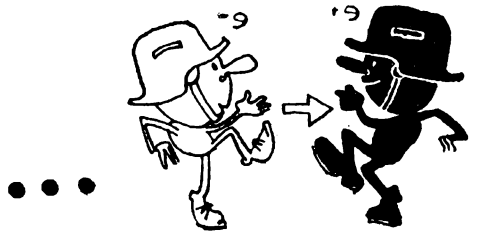
ایمپولس کمیت برداری مساوی باحاصل‌ضرب‌جرم جسم در سرعت آن است. ایمپولس کـلی یك دستگـاه از اجسام، دارای خاصیتی ساده وقابل توجه است: مادام‌که اجسام خارج بردستگاه تأثیرنکنند، دستگاه بدون تغییرباقی می‌ماند. این قانون چه درمورد اجسام بزرگ و چه در مورد موجودات خرد، درست است.

بیك‌مثال‌ازبقای‌ایمپولس‌اکتفامی‌کنیم. فرض‌کنیم که‌الکترون به‌آهستگی، به‌پوزیترون نزدیك‌شد وهردونابودشدند. نابودی روی داد. به‌جای‌آنها دوفوتون در دوسوی مخالف به‌سرعت ازیکدیگر دور شدند. چرا دو ذره تشکیل می‌شود نه یکی؟ و چرا در جهات مختلف می‌گریـزنـد نه باهم؟ برای پاسخ به‌این پرسشها هیچ لازم نیست بدانیم‌که درتأثیر متقابلهٔ الکترون باپوزیترون دراعماق خود الکترون چه روی می‌دهد. نیروهای مؤثر دراینجا نیروهای داخلی دستگاه هستند. آنها نمی‌توانند ایمپولس‌کلی راکه قبل از پیدایش فوتونها مساوی با صفر بود، تغییر دهند. امـا اگر فقط یك فوتون پدیدآید ایمپولس آن مساوی بـاصفر نخواهد بود. آخر برای ذرهٔ نوری آرامش‌که مفهومی ندارد. بنابراین نبایدکمتر از دوفوتون که درجهات مختلف می‌گریزند، پدیدآید.

بقای ممان ایمپولس ممـان ایمپولس یاممـان مقدار حرکت‌شدت حرکت دورانی‌است. هرجسم‌که دورمحور خود می‌چرخد، دارای ممـان مقدار حرکت است. فرفره‌ای‌که به

www.takbook.com

سرعت می‌چرخد، کرهٔزمین، جفتی که والس‌می‌رقصند دارای‌ممان ایمپولس هستند. ممان ایمپولس کمیت برداری است. جهت بردار ممان در امتداد محور چرخش است.



الکترون به‌آهستگی به پوزیترون نزدیک‌شد...

جسم نه‌تنها می‌تواند دورمحور خود بچرخدبلکه دورجسمی دیگر نیزگردش‌می‌کند. مثلاً کرهٔزمین درهرشبانه روز یک‌بار دور محور خود می‌چرخد وغیر ازآن درطول سال یک‌بار دورخورشید می‌گردد. کـرهٔزمین به‌موازات ممان ایمپولس خودممان اربیتالی (مداری) نیز دارد.

اگرنیروهای خارجی ممان‌نیروها رابه‌وجودنیاورند، ممان کلی مقدارحرکت دستگاه ثابت می‌ماند. برای اینکه وضع محور فرفره‌ای سنگین راکه به‌سرعت می‌چرخد، درفضا تغییر دهیم، باید نیرویی به‌کاربریم.

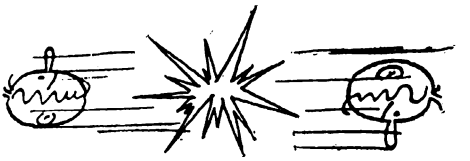
قانون بقای ممان ایمپولس همانند قانون بقای ایمپولس چه برای اجسام ماکروسکوپی وچه برای ذرات بنیادی درست است.

مـا دیگر دربارهٔ اسپین ذره یعنی ممان اختصاصی ایمپولس صحبت می‌کردیم. ذرات به‌موازات اسپین می‌توانند ممان‌اربیتالی مقدار حرکت نیز داشته باشند. مقادیـر ممان اربیتالی مضاربـی

www.takbook.com

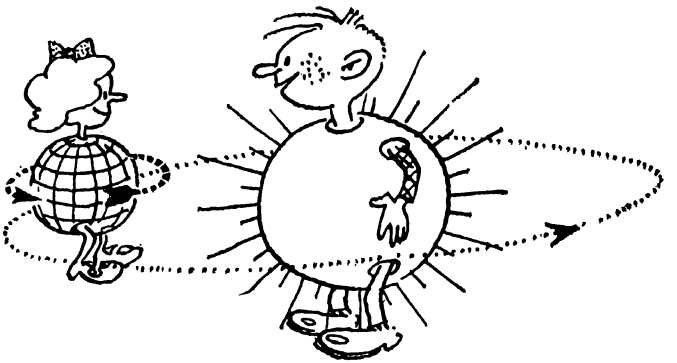
صحیح از ثابت پلانك ($\hbar$) است.

اگر ممان اربیتالی در تبدیل ذرات تغییر نیابد، اسپین کلی دستگاه ثابت می‌ماند. مثلاً π^+ – مزون ساکن به μ^+ – مزون



... نابودی روی داد و دوفوتون درسوهای مخالف به سرعت از یکدیگر دور شدند.

ونوترینو تجزیه می‌شود. اسپین π – مزون مساوی باصفر است. میوئون و نوترینوپس از تجزیهٔ π – مزون به‌سوهای کاملاً مخالف می‌گریزند وممان اربیتالی حرکت نسبی آنها مساوی باصفراست. به‌همین جهت ممان اسپینی کلی نیز باید مساوی باصفر باشد. μ^+ – مزون و نوترینو که درسوهای مخالف حرکت می‌کنند در سوهای مخالف یکدیگر به‌چرخش درمی‌آیند.



کرهٔزمین در هرشبانه روز یك‌بار دور محور خود می‌چرخد و غیر از آن درطول سال یك‌بار دور خورشید می‌گردد.

www.takbook.com

درموارد پیچیده‌تر تجزیه، ذرات می‌توانند ممان اربیتالی‌نیز داشته باشند. درآن صورت مجموع‌ممان ایمپولس، یعنی‌اربیتالی به‌اضافهٔ اسپینی، ثابت می‌ماند.

بقای بار الکتریکی گروه قوانین بقاکه پس از این ازآنهاگفتگو خواهیم‌کرد ویژگیهایی خاص خود دارند. غیراز قانون بقای بارالکتریکی بقیه به‌تازگی‌کشف شده‌اند.

قانون بقای بارالکتریکی از نقطه نظر ماکروسکوپی چنین به‌نظر می‌آید: بارالکتریکی در دستگاه بسته ثابت می‌ماند. اما از نقطه نظر میکروسکوپی به‌این معنی است‌که درتمام تبدیلات ذرات بنیادی تفاوت بین عدهٔ ذرات باردار مثبت و منفی ثابت می‌ماند. اگر ذره‌ای باردار به‌وجود آید، درهمان حال به‌طور حتم پیدایش ذرهٔ باردار باعلامت مخالف را مشاهده خواهیم‌کرد. درتجزیهٔ هر ذره مجموع جبری بارها ثابت می‌ماند. مثلاً درتجزیهٔ نوترون به موازات پروتون مثبت الکترون منفی نیز پدید می‌آید.

ما نمی‌دانیم چرا بارالکتریکی در طبیعت حفظ می‌شود. اما بادانستن این‌که بارالکتریکی حفظ می‌شود می‌توانیم‌به‌علت‌پایداری الکترونها پی‌بریم. الکترون سبکترین ذرهٔ باردار است و به‌همین علت نمی‌تواند تجزیه شود. ذرات سبکتر یعنی فوتون و نوترینو بارالکتریکی‌ندارند. بنابراین تجزیهٔ الکترون به‌طور قطع منجر به نقض قانون بقای بارالکتریکی می‌شد. توضیح پایداری الکترون شاید بزرگترین خدمت قانون بقای بارالکتریکی است.

www.takbook.com

قانون بقای بار باریونی چیست؟

قانون بقای باریونها (پروتون و تمام ذرات سنگین‌تر) به‌طور تجربی با تجزیه و تحلیل عده‌ای زیاد از واقعیتهای مشاهده شدهٔ تبدیلات ذرات بنیادی برقرار شده‌است. تفاوت عدهٔ باریونها و آنتی‌باریونها درهردستگاه بدون تغییرباقی می‌ماند. فقط جفتهای باریون ـ آنتی باریون می‌توانند به‌وجود آیند و نابود شوند. درمحصولات تجزیهٔ هرباریون حتماً باریون سبکتر وجود دارد. اینك چند مثال برای واکنشهای تجزیه:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

$$\Lambda^\circ \rightarrow p + \pi^-$$

$$\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^\circ$$

$$\Sigma^\circ \rightarrow \Lambda^\circ + \gamma$$

پروتون بعداً تجزیه نمی‌شود زیرا سبکترین باریونهاست. پایداری هسته‌ها و درنتیجه تمام کائنات بربقای عدهٔ باریونها قرار دارد.

می‌توان یك عددکوانتمی مخصوص به‌نام باربایونی به‌کار بردکه مقدار آن برای باریونها ۱ + و برای تمام آنتی باریونها ۱ ـ است. در آن صورت بقای عدهٔ باریونها بقای مجموع جبری بارهای باریونی است. همهٔ ذرات دارای باربایونی در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت می‌کنند. الکترونها و سایر لپتونها باربایونی ندارند. ناقلان تأثیرات متقابلهٔ هسته‌ای یعنی مزونهای π و K نیز

www.takbook.com

باربار یونی ندارند، همانطورکه فوتونها دارای بارالکتریکی نیستند.

این قانون چقدر ساده‌است وعلل وجودی آن چقدرنامفهوم! پس‌مانع نیرومند درتجزیهٔ پروتون چیست؟ پروتون دارای مقداری زیاد انرژی سکون (درمقایسه با ذرات سبك) وامکانات گوناگون تجزیه به‌مزونها و لپتونهاست. قانون بقای باربار یونی فقط تصدیق واقعیتی‌روشن‌است بدون‌آنکه‌کوششی برای توضیح آن به‌عمل‌آید.

قانون‌بقای‌بارلپتونی قانون‌بقای بارلپتونی کاملاً شبیه قانون‌بقای باربار یونی است. تفاوت بین عدهٔ لپتونهاو آنتی لپتونها درتمام تبدیلات ذرات بنیادی محفوظ می‌ماند. مثلاً براثر تجزیهٔ نوترون دولپتون پدیدمی‌آید: الکترون وآنتی‌نوترینو. بعلاوه پیدایش آنتی نوترینو، نه نوترینو، به‌وسیلهٔ قانون بقای عدهٔ لپتونها مقید شده است.

اگر به‌لپتونها بارلپتونی ۱+ و به‌آنتی لپتونها بار ۱− نسبت دهیم، جمع جبری بارهای لپتونی در واکنشهای گوناگون باید بدون تغییر بماند.

باکشف دونوع نوترینوکه در فصل آینده از آنها صحبت خواهیم‌کرد، قانون بقای بارلپتونی پیچیده‌تر می‌شود. معلوم شده است‌که دونوع بارلپتونی وجود دارد. لکن بهتر است دراین باره بعداً صحبت‌کنیم.

درصفحات آینده بازهم با دوقانون بقاآشنایی پیدا خواهید کرد و اگر تا آن زمان بقای اسپین ایزوتوپی در تأثیرات متقابلهٔ

www.takbook.com

قوی را از یاد نبرده باشید، تصوری دربارهٔ سری کامل قوانین بقا خواهید داشت.

جبر واکنشهای بین ذرات

به‌موازات قوانین بقا در واکنشهای بین‌ذرات دو قاعدهٔ فوق‌العاده کلی اجرا می‌شود. دربارهٔ یکی از آنها یعنی برگشت پذیری تمام واکنشها قبلاً صحبت کرده‌ایم. اگر واکنش

$$A+B+C+\ldots\rightarrow K+L+M+\ldots$$

انجام می‌شود، پس واکنش عکس نیز امکان وجود پیدا می‌کند:

$$K+L+M+\ldots\rightarrow A+B+C+\ldots$$

قاعدهٔ دوم کمی پیچیده‌تر است. درمعادلهٔ واکنش بین ذرات می‌توان هر ذره را با تعویض آن به‌وسیلهٔ ضد ذره، از طرف چپ معادله به‌راست یا برعکس از طرف راست به‌چپ برد. دراین‌عمل واکنشی جدید به‌دست می‌آید که حتماً در طبیعت صورت می‌گیرد. مثلاً اگر واکنش

$$A+B\rightarrow K+L$$

انجام پذیر است، پس واکنش

$$A\rightarrow K+L+\bar{B}$$

نیز عملی است.

دراین واکنش هیچ‌چیز غیرمنتظره وجود ندارد. براثر چنین جابجایی حتی یك قانون بقا آشکارا نقض نمی‌شود. در واقع‌عمل انتقال ذره ازیك‌طرف معادله به‌طرف دیگر مانند این است که‌به‌هر

www.takbook.com

دوطرف معادله ذره‌ای افزوده باشیم که نسبت به‌یکی از اجزای واکنش، ضد ذره محسوب می‌شود. البته اگر درطرف چپ معادله فقط یك ذره وجود داشته باشد، چنین عملی ممکن نیست زیرا پس از انتقال این ذره به‌طرف دیگر معادله، فقط صفر باقی می‌ماندکه باقانون بقای انرژی مطابقت‌ندارد. اینك به‌این دومثال توجه‌کنید:

مثال اول ـ می‌دانیم‌که نوترون به‌سه ذره تجزیه می‌شود:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

واکنش عکس یعنی وقتی‌که این سه ذره به‌صورتی واحد در آیند، امکان پذیر است:

$$p + e^- + \bar{\nu} \rightarrow n$$

حال با تعویض الکترون با پوزیترون آن را به‌طرف راست معادله می‌بریم:

$$p + \bar{\nu} \rightarrow n + e^+$$

پروتون آنتی نوترینو جذب می‌کند و به‌نوترون و پوزیترون تبدیل می‌شود. درست همین واکنش امکان داد برای نخستین‌بار آنتی ـ نوترینو را از راه آزمایش‌کشف‌کنند.

مثال دوم ـ در نتیجهٔ تأثیر متقابلهٔ قوی، پروتون به طور مجازی ممکن است به‌پروتون و π° ـ مزون تبدیل شود:

$$p \rightarrow p + \pi^\circ$$

واکنش عکس عبارت است از ترکیب پروتون با π° ـ مزون:

$$p + \pi^\circ \rightarrow p$$

پروتون را به‌طرف راست می‌بریم و آن را با آنتی پروتون عوض

www.takbook.com

می‌کنیم:

$$\pi^{\circ} \rightarrow p + p$$

همانطورکه می‌دانیم پروتون و آنتی پروتون یکدیگر را نابود می‌کنند و دوفوتون بوجود می‌آید:

$$p + \bar{p} \rightarrow \gamma + \gamma$$

بنابراین نتیجهٔ نهایی چنین خواهد بود:

$$\pi^{\circ} \rightarrow \gamma + \gamma$$

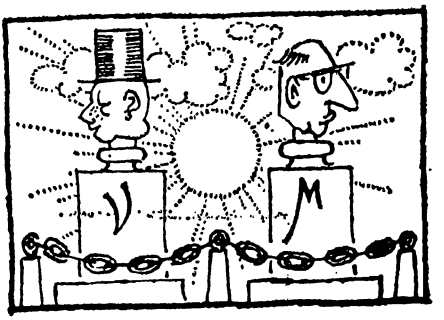
یعنی π° – مزون به‌دوفوتون تجزیه می‌شود، تجزیه‌ای‌که حقیقتاً روی می‌دهد.

هل ـ مان خاطرنشان می‌کند: «برای آدم تازه‌کار این رشته افکار و قضاوتها ممکن است جابجایی سادهٔ علامتها جلوه‌کند. لکن نباید فراموش‌کردکه این جابجایی همچون نتیجهٔ محاسبات مفصل (واغلب بسیار پیچیده) احتمالات امکان پذیر است. درنتیجهٔ نهایی به‌پیشگویی منطقاً صحیح حادثه‌ای‌که باید روی دهد، می ـ رسیم، حال هرقدرکه طول بکشد...».

www.takbook.com

فصل هفتم

درباب داستان یکی ازجالبترین ذرات ـ نوترینو و یکی از نامفهومترین ذرات ـ μ ـ مزون



چنان اسرار آمیز و نامفهوم بود
که من جرئت سرپیچی نداشتم.
آنتوان دوسنت ـ اگزوپری
«شاهزاده‌کوچولو»

قدری تاریخ

کلمهٔ نوترینو برای نخستین‌بار درحدود ۳۰سال پیش‌درصفحات مجلات علمی‌پدیدارشد. ذره جدید به‌طرزی غیرعادی وارد علم شد. خواص آن عجیب می‌نمود وبعید نیست‌که عمیقترین اسرار طبیعت بااین ذره‌بستگی داشته‌باشد. لازم آمد این ذره را «اختراع کنند» تا شالوده‌ای‌که بنای فیزیك برآن استوار است، فرونریزد. یك ربع قرن از این ذره به‌عنوان

www.takbook.com

موجودی واهی درصفحات کتابها ومجلات یادمی کردند. بااینکه این ذره برای توضیح بسیاری از تبدیلات قابل مشاهده کاملاً لازم بود، خودآن مدتهادست نیافتنی باقی ماند، تااینکه بالاخره درسال ۱۹۵۶ از راه آزمایش کشف شد.

نوترینو به‌معنی نوترون کوچك است. این نام‌را انریکوفرمی[۱] فیزیکدان ایتالیایی برآن نهاد. درتابستان سال ۱۹۶۲ معلوم شدکه نوترینو یکی نیست بلکه دو نوترینو وجود دارد. اگر درنظربگیریم که هرذره باهمزادی به‌نام ضد ذره مطابقت می کند، پس‌چهارنوع نوترینو وجود دارد: دو نوترینو و دو آنتی نوترینو.

نوترینو و بقای انرژی

درتجزیهٔ‌بتایی‌هسته‌های‌رادیوآکتیو، الکترون از هسته خارج می‌شود. اما عجیب است که انرژی هستهٔ اولیه با مجموع انرژیهای هستهٔ نهایی و الکترون خارج شده مطابقت نمی کند. انرژی هستهٔ اولیه همیشه بیش از مجموع انرژیهای هستهٔ نهایی و الکترون است.

پس ازکشف نوترون معلوم شدکه علت تجزیهٔ‌بتایی هسته‌آن است که یکی ازنوترونهای هسته الکترون می‌تابد وبه‌پروتون تبدیل می‌شود. لکن انرژی نوترون همیشه بیش از مجموع انرژی ذرات تولید شده به‌وسیلهٔ‌آن است. آیا قسمتی از انرژی بدون اینکه اثری از خود برجاگذارد، واقعاً نابود می‌شود؟

آنگاه ولفهانگ پائولی[۲] فیزیکدان سوئیسی این سؤال را مطرح کرد: آیا همراه پروتون والکترون درتجزیهٔ نوترون، ذره‌ای

۱- Enrico Fermi ۲- W. Pauli

www.takbook.com

نامرئی که کسر انرژی را باخود می‌برد، به‌وجود نمی‌آید؟ وجود این ذره به‌این جهت احساس نمی‌شود که جرم درحالت سکون و بارالکتریکی ندارد وقادر به‌کندن الکترون از اتم و ازهم پاشیدن هسته نیست یعنی نمی‌تواند آثاری قابل مشاهده راکه ما معمولاً از روی آن دربارهٔ پیدایش ذره قضاوت می‌کنیم، تولیدکند.

البته بی‌معنی است بگوییم گویا ذره، هرچقدر عجیب باشد، اصلاً باهیچ چیز در تأثیر متقابله شرکت نمی‌کند، زیرا در این صورت ورود نوترینو در فیزیك به معنای انکار پرده‌پوشی شدهٔ قانون بقای انرژی خواهد بود ونتیجه اینکه انرژی همراه‌نوترینو، بدون بازگشت و برای همیشه ناپدید می‌شود. حال معلوم می‌شود چرا پائولی گمان می‌کردکه نوترینو فقط درتأثیرات متقابلهٔ ضعیف شرکت می‌کند و به همین جهت می‌تواند از میان قشر بزرگ ماده بگذرد، بدون اینکه اثری از خود برجا گذارد.

نوترینو تنها ذره‌ای است که فقط در تأثیرات متقابلهٔ ضعیف شرکت می‌کند. جرم سکون نوترینو همچون جرم سکون فوتون مساوی باصفراست وساده‌تر بگوییم نوترینوی ساکن وجودندارد. نوترینو همیشه باسرعت نور درحرکت است. حساب کرده‌اند که نوترینو درچه قشری باماده درتأثیر متقابله قرار می‌گیرد. افسوس، نتیجه بهیچوجه تسلی بخش نیست. کرهٔ زمین برای نوترینو شفافتر از بهترین شیشه‌های اپتیك برای نوراست. ازهر 10^{10} نوترینوکه از مرکز کرهٔ زمین می‌گذرد، احتمال دارد تنها یك نوترینو در تأثیر متقابله با ذرات دیگر شرکت‌کند. در دیواری به ضخامت متجاوز

www.takbook.com

از ده برابر ابعادکهکشان ما، نوترینو بدون شك جذب می‌شود. باوجود این نوترینو درکرهٔ زمین کشف شد!

نوترینو کشف شد! چگونه نوترینو (درست‌تر، همزاد آن ـ آنتی نوترینو) در آزمایشگاه کشف شد؟

تئوری کلی واکنش بین ذرات پیشگویی می‌کردکه براثر برخورد آنتی‌نوترینو با پروتون، پوزیترون ونوترون پدید می‌آیند. احتمال چنین واکنشی به‌سبب قابلیت نفوذ عجیب آنتی نوترینو کم است. اما اگر عدهٔ آنتی نوترینوها خیلی زیاد باشد، می‌توان به کشف آنها امیدوار بود. در موقع کار رآکتور اتمی، براثر تجزیهٔ هستهٔ اورانیوم عده‌ای کثیر نوترون‌آزاد به وجود می‌آید. نوترونها سپس تجزیه می‌شوند و دسته‌های عظیم آنتی نوترینو پدید می‌آیند. در هرثانیه در حدود 10^{18} آنتی نوترینو به‌وجود می‌آیند.

آزمایش کشف آنتی‌نوترینو درسال ۱۹۵۶ در ایالات متحده به‌عمل آمد. درداخل زمین در نزدیکی رآکتور، جعبه‌ای بادیواره‌هایی از سرب و پارافین که محتویات جعبه را از تشعشعات بیگانه حفظ می‌کرد، قرار دادند. در جعبه ۲۰۰ لیترآب که به‌وسیلهٔ قشر سینتیلاتور[1] مایع احاطه شده بود، جا دادند.

براثر برخوردآنتی‌نوترینوبایکی ازپروتونهای مولکول آب، پوزیترون پدید می‌آید. برخورد پوزیترون با یکی از الکترونها دوکوانت گاما تولید می‌کند. کوانتهای گاما سبب درخشندگی سینتیلاتور می‌شوندکه به‌وسیلهٔ ۱۵۰ تقویت‌کنندهٔ نور ثبت می‌شود.

۱ـ Scintillateur ماده‌ای است‌که براثر عبورکوانتهای‌گاما از آن، می‌درخشد.

www.takbook.com

نوترون به‌وجود آمده براثر واکنش پس از مدتی سرگردانی (چند میلیونیم ثانیه) جذب هستهٔ کادمیم می‌شود (کادمیم را مخصوصاً به خاطر قابلیت شدید آن در جذب نوترون به‌آب می‌افزایند). سپس هستهٔ کادمیم چندکوانت گاما می‌تابد و به‌این ترتیب پیدایش نوترون را اعلام می‌کند. با پیدایش دوکوانت گاما که در جهات متفاوت می‌گریزند و سپس بازهم چندکوانت گاما، وجود آنتی نوترینو با آن‌درجه آشکار که فقط درجهان ذرات بنیادی‌امکان پذیر است، به اثبات می‌رسد، هرچند نه‌خیلی آشکار، درعوض کاملاً قطعی.

شگفت‌انگیزترین ذره

نقش نوترینو تنها عبارت از توضیح تجزیهٔ نوترون نیست. اگر پیدایش نوترینو یا آنتی‌نوترینو درنظرگرفته نشود، تبدیلات بسیاری ازذرات بنیادی قوانین‌بقا را«نقض می‌کنند.» مثلاً اگر بیلان‌انرژی وسایرکمیتهای ثابت رابرای تجزیهٔ مزونهای π که دراتاق ویلسون مشاهده می‌شود، ارزیابی کنیم، بازهم نا برابری همانند آنچه در تجزیهٔ نوترون روی می دهد، آشکار می‌شود. یعنی در اینجا هم نوترینو به‌وجود می‌آید.

لکن در تجزیه π^-ـ مزون ذره‌ای نامفهومتر از نوترینو پدید می‌آید. کوشش می‌کنیم تا چگونگی تجزیهٔ π^- مزون را پیشگویی کنیم. می‌دانیم هرواکنشی که به‌وسیلهٔ قوانین بقا منع نشده باشد، امکان پذیر است. یعنی واکنش

$$\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu$$

کاملاً قابل قبول است. این واکنش حاکی از آن است که پیون

www.takbook.com

مثبت به‌پوزیترون ونوترینو تجزیه می‌شود. دراین عمل قوانین‌بقای انرژی اجرا می‌شود. همچنین قوانین بقای الکتریسیته و بارلپتونی اجرا شده‌اند.

چنین واکنشی در حقیقت صورت می‌گیرد. اما فقط ۰/۰۱۴ درصد پیونها این‌گونه تجزیه می‌شوند و ۹۹/۹۸۶ درصد پیونها به μ – مزون ونوترینو تجزیه می‌شوند. μ – مزون یعنی ذره‌ای که۲۰۷ بارسنگین‌تر ازالکترون است، بعدها به‌پوزیترون، نوترینو وآنتی‌نوترینو تجزیه می‌شود (شکل ۶):

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}$$

لکن شگفت‌انگیزآن نیست که پیون غالباً به‌میوئون ونوترینو تجزیه می‌شود.

ازتئوری تأثیرات متقابلهٔ ضعیف برمی‌آیدکه پیدایش میوئون نسبتاً سنگین درتجزیهٔ پیون فوق‌العاده محتملتر ازپیدایش ذرهٔسبکتر یعنی الکترون است.

شگفت‌انگیز این است که درطبیعت میوئون پدید می‌آید.

همانطورکه قبلاً گفته شدمیوئون همزادکامل العیارالکترون از هرجهت غیر از جرم است. این مسأله‌که یکی از ذرات یعنی الکترون پایدار است و دیگری یعنی میوئون بدون نقض قوانین بقا تجزیه می‌شود (عمر میوئون نزدیك به 10^{-6} ثانیه است) اصولی نیست.

هنوزکاملاً روشن نشده است چرا μ – مزون‌که هیچ‌تفاوتی باالکترون ندارد، دارای چنان جرم عظیم است. در مورد ذرات

www.takbook.com

دیگر ظاهراً اطمینانی استوار حاصل شده است که فقط تفاوت در تأثیرات متقابله می‌تواند سبب تفاوت جرم باشد. اما دراین مورد هیچ تفاوتی در تأثیرات متقابله وجود ندارد!

تنهایك راه باقی می‌ماندکه فرض کنیم وجود μ – مزون با پدیده‌هایی ناشناخته مربوط است. عبدالسلام فیزیکدان پاکستانی دربارهٔ μ – مزون‌چنین‌می‌گوید: «تئوریهای‌امروزی مافقط‌مراحلی به‌سوی هماهنگی درونی و تناسب همه‌جانبه است. شاید امروز μ – مزون بیهوده به‌نظر برسد. لکن پس ازکشف طبیعت حقیقی‌آن شیفتهٔ هماهنگی آن در طرح‌کلی خواهیم شد و خواهیم دیدکه μ – مزون جزء لاینفك چیزی عمیقتر، مهمتر وکاملتر است. اعتقاد به‌هماهنگی درونی طبیعت درگذشته ثمرات خود را به‌بار آورده است. من اطمینان دارم‌که درآینده نیز چنین خواهد بود.»

نامرئی حریف خود را می‌یابد

با وجود این ما از بعضی چیزها سر در آورده‌ایم. همین چندی پیش فیزیکدانان در بارهٔ خصلت تجزیهٔ μ – مزون در شك و تردید بودند. μ – مزون به‌الکترون (یاپوزیترون)، نوترینو و آنتی نوترینو تجزیه می‌شود. برای اینکه بارلپتونی محفوظ بماند، یك نوترینوکافی نیست. اما چرا μ – مزون مطابق طرح:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$$

به‌الکترون و فوتون تجزیه نشود، در صورتی‌که همهٔ قوانین بقا در آن اجرا شده است؟ اینك، حداقل تا اندازه‌ای، می‌دانیم‌که چرا این فرایند امکان ندارد.

www.takbook.com

توجه کردید که نوترینو ممکن است یا به همراه الکترون (مثلاً براثر تجزیهٔ نوترونها) یا بـه همراه μ – مزون (مثلاً براثر تجزیـه پیونها) پدید آید. نوترینو را درمورد اول الکترونی و درمورد دوم میوئونی می‌گویند. قبلاً هردو نوترینو رایکسان می‌دانستند، هرچند کـه واقعیتهایی وجود نداشت تا این مسألـه را مستقیماً بـه اثبات برساند.

اما چرا دونوع نوترینو وجود دارد؟ این مسأله فقط وقتی به صورت مبرم درآمد که امکان واقعی حل آن به‌وسیلهٔ آزمایش به وجود آمد. اندیشهٔ آزمایش از بـرونـو پونتکوروو[1] فیزیکـدان شوروی بود.

در صورت یکسان بودن نوترینوهای الکترونی و میوئونـی تئوری پیشگویی می‌کردکه براثر برخورد آنتی نوترینو باپروتون، همراه نوترون ممکن است یا پوزیترون یا μ – مزون به‌وجودآید:

$$p+\bar{\nu}\rightarrow n+e^{+}$$

یا

$$p+\bar{\nu}\rightarrow n+\mu^{+}$$

اما اگرنوترینو بانوترون برخوردکند، همراه‌پروتون ممکن است الکترون یا μ – مزون تولید شود:

$$n+\nu\rightarrow p+e^{-}$$

یا

$$n+\nu\rightarrow p+\mu^{-}$$

درآزمایشهای سال ۱۹۵۶ ازآن جهت پیدایش μ – مزون‌روی ندادکه آنتی‌نوترینوهای تولیدشده به‌وسیلهٔ رآکتورها برای به‌وجود

۱- Bruno Pontekorvo

www.takbook.com

آوردن این فرایند انرژی کافی نداشتند. اگر موفق می‌شدند آنتی‌نوترینوها با انرژی زیاد به‌دست آورند، در آن صورت میوئونها نیز می‌بایستی مانند پوزیترونها به‌مقدار زیاد تولید شوند.

برای افزایش انرژی آنتی نوترینوی الکترونی لازم است سرعت نوترون را به‌شدت زیاد کرد. اما چگونه؟ شتابدهندهٔ نوترونها که وجود ندارد. همهٔ روشهای شتاب دادن فقط برای ذرات باردار مناسب هستند. یك راه باقی می‌ماند. می‌توان نوترینو و آنتی‌نوترینوی میوئونی با انرژی زیاد به‌دست آورد، درصورتی که پیونهای تولید کنندهٔ آنها سرعتهای کافی داشته باشند. پیونهای سریع نیز بر اثر بمباران هدف به‌وسیلهٔ پروتونهایی که سرعتی زیاد گرفته‌اند، به‌وجود می‌آیند. البته امید به دست آوردن دستهٔ متراکم آنتی نوترینو با انرژی زیاد اندك است، زیرا شدت دستهٔ پروتونی در شتابدهنده باشدت دستهٔ نوترونی در رآکتور از زمین تا آسمان فرق دارد. اما افزایش انرژی ذرات برخوردکننده احتمال تأثیرات متقابلهٔ ضعیف را به‌شدت افزایش می‌دهد.

ببینیم هدف از این آزمایش چه بود. اگر هر دو نوترینو یکسانند پس نوترینو و آنتی نوترینوی میوئونی باید هم میوئون و هم الکترون یاپوزیترون را به‌وجود آورند واگر هم تفاوت دارند پس باید انتظار داشت که فقط میوئون به‌وجود آید.

آزمایش درسال ۱۹۶۲ در ایالات متحده طرح ریزی شد. پروتونها درشتابدهنده با انرژی از مرتبهٔ ۱۵ میلیارد الکترون ولت سرعت گرفتند و هدفی از بریلیم را بمباران کردند. مزونهای π به

www.takbook.com

وجود آمدند. سپس با تجزیهٔ پیونها آنتی نوترینوها و نوترینوهای با انرژی زیاد پدید آمدند.

برای ثبت ذراتی که به وسیلهٔ نوترینوهـا تولید شده بودنـد، دستگاهی به‌نام اتاق اخگری کـه به‌روشی جدیـد ساخته شده بود، بـه‌کار رفت. جز این دستگاه هیچ دستگاه ثبات دیگـر قادر نبود چندین تن پروتون و نوترون لازم برای مشاهدهٔ عدهٔ محسوس نوترینوی وارد واکنش، داشته باشد.

اتاق شامـل یك بستهٔ ده تنی از صفحات آلومینیمی بود کـه بین آنها ولتاژ زیاد ایجاد شده بود. در همان جایی که ذرهٔ باردار سریع درصفحه نفوذ می‌کند، تخلیهٔ جرقه‌ای حاصل می‌شود (شکل ۷). پیونها، میوئونها، نوترینوها و آنتی نوترینوهـا قبل از اینکه وارد اتاق شوند، از قشر زره به‌ضخامت ۱۳٫۵ متر گذشته بودنـد. در این عمل مزونها جذب شدند، اما برای نوترینو این قشر کاملاً شفاف بود[1]. نوترینوها و آنتی نوترینوها درتأثیر متقابله بانوترونها و پروتونهای هستهٔ آلومینیم ذراتی جدید به‌وجود آوردند.

تمام اتاق از شمار شگرهای ذرات احاطه شده بود. شمارشگرها ولتاژ بین صفحات را فقط وقتی برقرار می‌کردند که ذره‌ای ثبت‌شدنی به‌وسیلهٔ نوترینوی خارج‌شده ازشتابدهنده به‌وجود آمده‌بود. درهمان لحظات نیزردجرقه‌ای ذره‌عکسبرداری می‌شد. امکان ثبت ذراتی که از خارج بطور اتفاقی وارد اتاق می‌شدنـد (مانند اشعهٔ

۱ـ شتابدهنده با نصف قدرت خودکارمی‌کرد، وگرنه ضخامت دیوارها نمی‌بایستی بطرزی وحشت‌آور افزایش می‌دادند.

www.takbook.com

کیهانی) وجود نداشت. مطالعه شش ماه طول کشید و در طول این مدت وجود ۵۰ میوئون کشف شد (شکل ۸). حتی یك الکترون یا پوزیترون دیده به‌عالم هستی نگشود. این به آن معنی است که نوترینوهای میوئونی فقط می‌توانند میوئون تولید کنند. وجود دونوع آنتی‌نوترینو قطعاً به‌اثبات رسیده بود.

دو نوع بار لپتونی هنوز روشن نشده است که تفاوت بین نوترینوهای الکترونی و میوئونی در چیست. طبیعت دراینجا مسأله‌ای تازه را دربرابردانشمندان قرار داده‌است. اما یك چیز روشن است : دونوع بارلپتونی وجود دارد و هر یك از آنها مستقل از دیگری ثابت باقی‌می‌ماند.

به الکترون و نوترینوی الکترونی بارلپتونی الکترونی ۱ + وبه ضد ذرات آنها بار ۱ − ، به μ^-ـ مزون و نوترینوی‌میوئونی بارلپتونی میوئونی ۱ + و به μ^+ـمزون و آنتی نوترینوی میوئونی بار۱ − را باید نسبت داد. درهر واکنش بین ذرات چه مجموع بارلپتونی الکترونی وچه مجموع بارلپتونی میوئونی، مستقل ازهم ثابت می‌مانند. بادر نظر گرفتن قوانین بقای بار لپتونی می توان تمام واکنشهای معلوم را که با شرکت لپتونها صورت می‌گیرند، توضیح داد.

آنتی نوترینوی میوئونی براثر برخورد با پروتون به‌این‌جهت نمی‌تواند نوترون و پوزیترون تولیدکند که بارلپتونی میوئونی محفوظ نمی‌ماند. به همین دلیل نیز واکنش

$$\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$$

www.takbook.com

صورت نمی‌گیرد .

بر اثر تجزیهٔ μ^-ـ مزون الکترون، آنتی‌نوترینوی‌الکترونی و نوترینوی میوئونی تشکیل می‌شود :

$$\mu^- \rightarrow e^- + \overline{\nu_e} + \nu_\mu$$

نوترینو و تقارن آئینه‌ای جهان

نوترینو قوانین بقای انرژی و سایر کمیتهای مکانیکی را «نجات داد» ولی یك اصل بسیار مهم دیگر را ویران‌کرد .

تا سال ۱۹۵۶ همه معتقد بـه تقارن آئینه‌ای جهان بـودند ، تصویر آئینه‌ای هر شیئی را نیز شیئی ممکن طبیعت مـی‌دانستند و تصویر آئینه‌ای هر فرایندی راکه در طبیعت روی می‌دهد نیزممکن می‌شمردند . هیچ نـوع تفاوت اساسی بین راست و چپ وجود ندارد . زیرا در انعکاس آئینه‌ای راست بـا چپ و چپ با راست جا بجا می‌شود.

هرچند در جهان زنده تقارن آئینه‌ای وجود ندارد ، مثلاً قلب انسان در طرف چپ قرار دارد، با وجود این چنین مواردی را می‌توان مولود شرایط اتفاقی در نخستین مرحلهٔ توسعه و تکامل زندگی درکرهٔ زمین دانست . وجود نسخهٔ آئینه‌ای ارگانیسم بـا قوانین اساسی طبیعت هیچ تناقضی ندارد . مثلاً ، هر چند بندرت، هستند آدمهایی‌که قلب آنها در طرف راست قرارگرفته است.

تقارن آئینه‌ای طبیعت به زبان تئوری‌کوانتمی اجرای قانون بقایی مخصوص به نام قانون بقای ذوجیت است. قـانون بقای ذوجیت به این معنی است‌که‌طبیعت تفاوتی بین راست پیچی وچپ

www.takbook.com

در انعکاس آئینه‌ای راست باچپ و چپ با راست جا بجا می‌شود .

پیچی دستگاههای مختصات نمی‌شناسد .

در سال ۱۹۵۶ لی[۱] و یانگ[۲] فیزیکدانان امریکایی متوجه شدند که هیچ نوع واقعیت تجربی تقارن آئینه‌ای را در فرایندهای تأثیرات متقابلهٔ ضعیف تأیید نمی‌کند . بدون شك تقارن درتأثیرات متقابلهٔ الکترو ماگنتیك و قوی وجود دارد . اما در تأثیرات متقابلهٔ ضعیف چطور ؟ ! اطمینان فیزیکدانان به تقارن جهان خیلی محکم و قطعی بود . از این لحاظ نامه‌ای که پائولی در ۱۷ ژانویهٔ سال ۱۹۵۷ به وایسکوپف[۳] نوشت ، جالب است : «من باورندارم که خدا چپ دست ضعیف است و حاضرم مبلغی زیاد شرط ببندم که آزمایشها وجود تقارن را تأیید خواهندکرد» .

لکن پس از دو روز در ایالات متحده آزمایشهایی انجام گرفت که به روشنی نشان داد در تأثیرات متقابلهٔ ضعیف تقارن راست و چپ وجود ندارد . در ۲۷ ژانویه پائولی نوشت : «حال

۱- Lee ۲- Yang ۳- Weiskopf

www.takbook.com

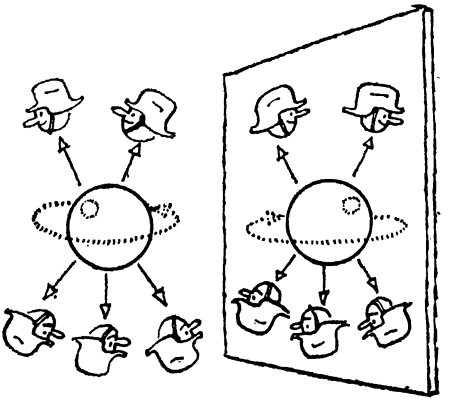
که نخستین هیجان برطرف شد، من دارم به خود می‌آیم . به‌راستی چقدر دردناك بود . ساعت ۸ بعد از ظهر روز سه‌شنبه بیست ویکم قصد داشتم دربارهٔ تئوری نوترینویی سخنرانی کنم . ساعت ۵ بعد از ظهر سه کار تجربی دریافت داشتم . من دچار هیجان شده بودم نه از آن جهت که خدا دست چپ را ترجیح می‌دهد، بلکه از آن جهت که تقارن بین چپ و راست را وقتی حفظ می‌کند که خود را قوی نشان می‌دهد . به عقیدهٔ من اینك مهمتر از همه حل این مسأله است که چرا تأثیرات متقابلهٔ قوی نسبت به چپ و راست متقارن است.»

بزودی این مسأله تا اندازه‌ای روشن شد ومعلوم شد که با خواص غیر عادی نوترینو که در نتیجهٔ تأثیرات متقابلهٔ ضعیف به وجود می‌آید، مربوط است .

اما بهتر است ابتدا چندکلمه‌ای از خود آزمایشها صحبت کنیم. ایدهٔ آزمایشها چنین است . تمام هسته‌ها از جمله هسته‌های رادیو آکتیو به‌شکلی معین‌می‌چرخند. هسته‌ها دارای‌ممان مکانیکی اختصاصی‌ایمپولس یعنی‌اسپین هستند .براثر تجزیهٔ بتایی، الکترونها ازهسته خارج می‌شوند. اگر درطبیعت تقارن‌آئینه‌ای وجود دارد، پس جهت حرکت الکترونهایی که از هسته جدا می‌شوند ، نباید به‌جهت چرخش‌هسته بستگی داشته باشد. فرض‌کنیم هسته‌ها عکس عقربهٔ ساعت بچرخند، در صورتی‌که از بالا به پایین به آنها نگاه کنیم (چنین سمتگیری می‌تواند دردماهای پایین درمیدان مغناطیسی شدید به وجودآید) ونیز فرض‌کنیم اکثر الکترونها ازهسته به‌طرف پایین بتابند. درآن صورت در انعکاس‌آئینه‌ای جهت‌چرخش هسته

www.takbook.com

به‌طورمعکوس تغییر می‌یابد ولی‌جهت تابش‌اصلی الکترونهابه‌همان شکل‌باقی می‌ماند. این‌نقض تقارن‌آئینه‌ای است. اما اگرالکترونها بااحتمال مساوی به‌بالا و به‌پایین می‌تابیدند چنین نبود، یعنی تقارن آئینه‌ای وجود داشت.



در انعکاس آئینه‌ای جهت چرخش هسته به‌طور معکوس تغییر می‌یابد ولی جهت تابش اصلی الکترونها به همان شکل باقی می‌ماند.

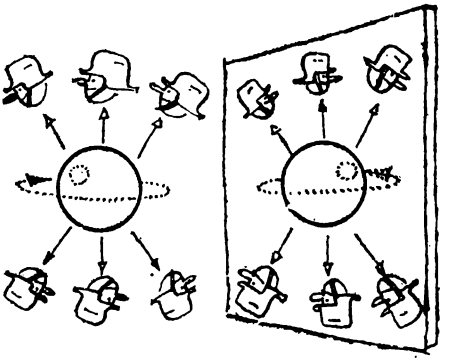
آزمایشهای وو[۱] از روی‌مشاهدهٔ تجزیهٔرادیوآکتیوی‌کبالت (Co^{60}) نشان دادندکه‌شصت درصدهسته‌های سمت‌یابی شدهٔ‌کبالت الکترونها را به طرف پایین می‌تابند. سپس با تکرار این‌آزمایشها در بسیاری از آزمایشگاههای جهان شکی در تخلف از تقارن آئینه‌ای باقی نگذاشت.

این آزمایش جالب را با خواص نوترینوهایی که همراه الکترونها در تجزیهٔ بتایی از هسته می‌تابند، توضیح می‌دهند. فضای خالی به طور آئینه‌ای متقارن است اما نوترینو تنها ذره‌ای است‌که تقارن‌آئینه‌ای ندارد. نوترینو و آنتی‌نوترینو به‌شکلی‌کاملاً

۱- Wu

www.takbook.com

معین می‌چرخند . آنها شبیه مارپیچ یا پیچ هستند . جهت حرکت با جهت چرخش رابطه‌ای معین دارد . آنتی‌نوترینو پیچ راست باجهت حرکت و نوترینو پیچ چپ با جهت حرکت می‌سازد . در صورتی که الکترون می‌تواند چه به راست و چه بـه چپ نسبت به جهت



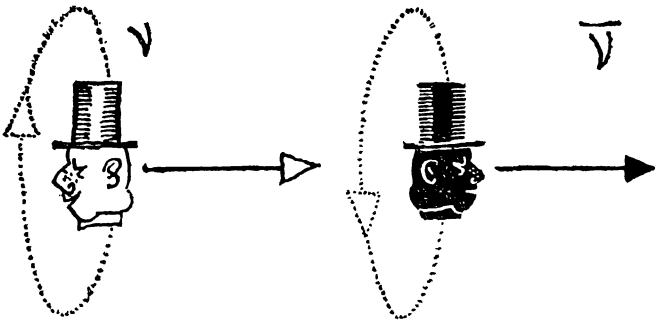
اگر الکترونها بـا احتمال مساوی به بـالا وبـه پایین می‌تابیدند، نقض‌تقارن آئینه‌ای وجود نداشت.

حرکت بچرخد . با در نظرگرفتن این خاصیت نـوترینو می‌توان توضیح داد چرا الکترونها در جهتی معین از هسته خارج می‌شوند.

بعدها نقض تقارن آئینه‌ای درتجزیهٔ π – مزون و μ – مزون کشف شد. دراینجا نیز نوترینوها پدید می‌آیند و بـا چرخش خود موجب نقض بقای ذوجیت می‌شوند.

باوجود این خیلی مانده است تاهمه چیز روشن شود. نقض تقارن آئینه‌ای مثلاً درموقع پیدایش وتجزیهٔ ذره Λ° مشاهده می‌شود. اما دراین‌فرایندهانوترینوهااصلاً شرکت‌نمی‌کنند. تأثیرات متقابلهٔ ضعیف همیشه موجب نقض تقارن آئینه ای می‌شوند. درمواردی‌که پیدایش نوترینو روی‌نمی‌دهد، سبب نقضها روشن نشده است.

www.takbook.com



آنتی نوترینو پیچ راست باجهت حرکت و نوترینو پیچ چپ باجهت حرکت را می‌سازد.

اتفاق بارها

بزرگترین عدم تقارن جهان ما از نقطه نظر فیزیك ذرات بنیادی عبارت از این است که جهان ما تماماً از ذرات ساخته شده است. ضد ذرات مهمانانی نسبتاً نادر هستند. اما آنها نیز مطابق قوانین اساسی طبیعت به طور مساوی با ذرات حق وجود دارند. آنتی پروتونها و آنتی نوترونها می‌توانند ضدهسته را تشکیل دهند. ضد هسته‌ها به‌همراه پوزیترونها می‌توانند آنتی اتمها و تکه‌های ضدماده را به‌وجود آورند.

ما دربارهٔ جدایی مادهٔ کائنات از ضد ماده اطلاعی نداریم. اما اگراین جدایی نبود، نه‌ما وشما ونه جهان عینی وجودنداشت. خطرانفجار نابودکننده اجازهٔ نزدیکی ماده وضد ماده رانمی‌دهد. شاید ضد ماده درجایی، خارج از مرزهای ناحیهٔ مرئی کائنات وجود دارد، جایی که هیچ خبری از آن به‌ما نمی‌رسد.

باوجود این تا سال ۱۹۵۷ فیزیکدانان معتقد بودندکه اگر همه ذرات را با ضد ذرات عوض کنیم، دنیایی حاصل می‌شودکه در آن تمام وقایع کاملاً همانند جهان ما روی می‌دهد و گمان

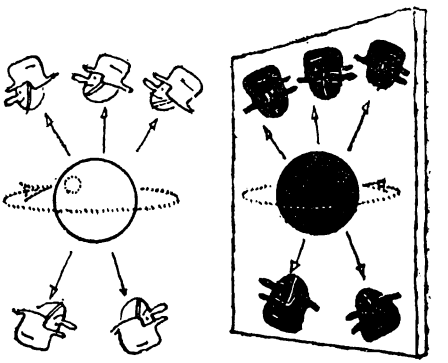
www.takbook.com

می‌کردند که طبیعت نسبت به‌اتفاق بارداری متقارن است.

لکن خواص نوترینو را به‌خاطر بیاوریم. در اتفاق بارداری همهٔ نوترینوها جانشین آنتی‌نوترینوها و برعکس همهٔ آنتی‌نوترینوها جانشین نوترینوها می‌شوند. اما به‌سبب چرخش این ذره، فرایندها درجهانی که نوترینو جای آنتی نوترینو را بگیرد، بـه شکلی دیگر روی خواهند داد. آنها چنان به‌نظرخواهندآمد که درموقع انعکاس آئینه‌ای به‌نظر می‌آیند، انعکاسی که درست چرخش نوترینو را نیز تغییر دهد. پس طبیعی است که تجزیه آنتی‌کبالت را درست همانند تجزیهٔ کبالت که درآئینه دیده می‌شود، ممکن بدانیم.

با اتحاد دوعدم تقارن (آئینه‌ای وبارداری) به‌تقارنی عالیتر می‌رسیم که نام‌اصل ذوجیت مرکب راگرفته است. مطابق این‌اصل اگر ذرات را باضد ذرات عوض‌کنیم، تصویر آئینه‌ای هر فرایند درطبیعت فرایندی امکان پذیر است.

اگر قبلاً گمان می‌کردند که تفاوت تصویر جسم درآئینه با



اگر ذرات را با ضد ذرات عوض کنیم، تصویر آئینه‌ای هرفرایند درطبیعت‌فرایندی امکان‌پذیر است.

www.takbook.com

خود جسم فقط در تعویض چپ با راست است، برطبق فرضیه‌های جدید تصویر باید ازضد ماده باشد. تصویر آئینه‌ای نوترینو، آنتی نوترینو و تصویر آئینه‌ای الکترون، پوزیترون است. شما درآئینه ضد من خود را می‌بینید: چپ جای راست وذره جای ضد ذره را گرفته است.

www.takbook.com

فصل هشتم

درباب داستان ذراتی که «عجیب و غریب» نام گرفته‌اند و اطلاعاتی دیگر دربارهٔ تأثیرات متقابلهٔ ضعیف

زیبایی‌واقعی‌بدون‌ذره‌ای غرابت وجود ندارد.
فرنسیس بکن[1]

ذرات جدید فقط جفت جفت پدیدار می‌شوند

دانشمندان از سال ۱۹۴۷ به سرعت به‌تکمیل جدول ذرات بنیادی با ذرات جدید پرداختند. البته نه از آن جهت‌که طبیعت ذرات را بهتر شناخته بودند وردیابی ذرات باموفقیت بیشتر توأم بود، بلکه شتاب دهنده‌هایی قویتر ساخته شده بود و در آزمایشگاههای فیزیکدانان ذرات با انرژی زیاد آنقدر فراوان به وجود آمده بودکه سابقه نداشت. در طول هشت سال شانزده ذرهٔ

۱ـ F. Bacon فیلسوف انگلیسی (۱۶۲۶-۱۵۶۱)

www.takbook.com

جدید (مزونهای Kو هیپرونها) کشف شد.

بین آنها ذرات خنثای K°- مزون و Λ° - هیپرون غیر قابل رؤیت در اتاق ویلسون وجود دارند. این ذرات موجودیت خودرا با مسیرهایی به شکلV که محصولات تجزیهٔ آنها را تشکیل‌می‌دهند و حامل بارالکتریکی هستند، اعلام داشتند (شکل ۹) :

$$\Lambda^{\circ} \longrightarrow P + \pi^{-}$$

به زودی متوجه ویژگی عجیب ذرات جدید شدند: آنهافقط دوتا دوتا ویا به صورت گروههای بزرگ به‌وجود می‌آیند (شکل ۱۰). فیزیکدانان مدتهاست که بـه پیدایش دوتایی ذره و ضد ذره عادت‌کرده‌اند. اما دراینجا ابداً چنین نبوده است. اینك یك نمونه از این واکنشها :

$$P + P \longrightarrow P + \Lambda^{\circ} + K^{+}$$

براثر برخورد دوپروتون ذرهٔ Λ° و K^{+}- مزون تولیدمی‌شود و یکی از پروتونها نیز باقی می‌ماند.

ترکیب جفتهایی‌که به وجود می‌آیند محدود است. مثلاً ذرهٔ Λ° می‌تواند همراه با K^{+}- مزون یا Σ^{+} - هیپرون به وجود آید نه با K^{-}- مزون و Σ^{-} - هیپرون .

دراز عمری باور نکردنی

جرم سکون مزونهای K و هیپرونها به میزان قابل ملاحظه از جرم نوکلئونها بیشتر است. به‌همین جهت تعجب‌آور نیست‌که آنها فقط در تأثیرات متقابلهٔ ذرات (معمولاً پروتونهای) انرژی زیاد تولید می‌شوند. ذرات جدید محصول تأثیر متقابلهٔ قوی هستند و گرنه به

www.takbook.com

مقدار زیاد تولیدنمی‌شدند. شایدتصور شودکه این ذرات‌نمی‌توانند عمری دراز داشته باشند. آنها به سبب همان تأثیرات متقابلهٔقوی باید تجزیه شوند، اگر... اگر قوانین‌بقا اجازه دهند. مثلاً ذرهٔ Λ° باید به‌سرعت به پروتون وپیون منفی تجزیه شود.

واکنش نیز در حقیقت همین طور صورت می‌گیرد زیرا نه قوانین مکانیکی بقا و نه قوانین بقای بارهای گوناگون نقض نمی‌شوند. اما فرایند تجزیه به‌شکلی عجیب به تأخیر می‌افتد. طول عمر Λ°- هیپرون(از مرتبهٔ 10^{-10} ثانیه) درمقایسه باطول‌عمرذراتی که به‌وسیلهٔ تأثیرات متقابلهٔ قوی تجزیه می‌شوند (10^{-23} ـ 10^{-22} ثانیه) خیلی‌زیادتراست. اگراین‌افزایش عمردرمورد انسان‌صورت گیرد، سن انسان از سن منظومهٔ شمسی بیشتر خواهد شد. تأثیرات متقابلهٔ قوی والکترومـاگنتیك‌می‌توانندابن ذرات (درست‌ترجفتهای ذرات)را به‌وجود آورند اما به‌عللی نمی‌توانند آنها را نابودکنند.

نظری به‌طول عمرذرات جدید بیندازید وآنها را با طول‌عمر مزونهای π باردارکه درنتیجهٔتأثیرات‌متقابلهٔضعیف تجزیه‌می‌شوند، مقایسه‌کنید. مزونهای K نیز در طول همین مـدت تجزیه می‌شوند. زمان تجزیهٔ هیپرونها نیز تقریباً همین است. پی‌بردید که این مسأله تصادفی نیست؟

آری چنین است! تجزیهٔ ذرات جدید همان‌گونه‌که دقیقترین آزمایشها نشان می‌دهند، به‌وسیلهٔ تأثیرات متقابلهٔ ضعیف صورت می‌گیرد. زیرا این ذرات عمر طولانی دارند. در اینجا بار دیگربه طور عینی ثابت می‌شودکه تأثیرات متقابلهٔ ضعیف خیلی کند است

www.takbook.com

اما بهیچوجه نیروهایی ناچیز نیست. آنها اعمالی را انجام می‌دهند که قویترین (یا سریعترین) نیروهای طبیعت در انجام آنهاناتوانند.

پیدایش دوتایی و درازی عمر از خواص عجیب ذرات‌جدید است. به همین جهت فیزیکدانـان این ذرات را ذرات عجیب و غریب نامیده‌اند.

علت دراز عمری فیزیکدانان، با تجربه‌دریافته‌اند اگرحادثه‌ای که ظاهراً باید روی دهد ، روی ندهد ، پس باید به‌جستجوی‌قانون بقای‌دیگر پرداخت. چنین قانونی نیزبه‌وسیلهٔ هل ـ مان فیزیکدان امریکایی و نیشیجیما دانشمند ژاپـونی‌کشف شده است .

بنا به‌عقیدهٔاین دانشمندان ذرات‌عجیب ناقل‌یك عددکوانتمی دیگر هستند که در تأثیرات متقابلهٔ قوی و الکترومـاگنتیك حفظ می‌شود اما در تأثیرات متقابلهٔ ضعیف ثابت نمی ماند . این عدد کوانتمی‌را غرابت‌نامیده‌اند. قانون‌بقای غرابت هم پیدایش‌دوتایی و هم دراز عمری ذرات عجیب را توضیح می‌دهد ، هرچند برای خود آن تا حال تعبیری روشن پیدا نشده است.

مطابق این نظریه ذرات Λ° ، Σ^+ ، Σ^- ، Σ°، K^- ، $\overline{K^\circ}$ غرابت مساوی‌با۱ـ، ذرات $\overline{\Lambda^\circ}$، $\bar{\Sigma}^+$ ، $\bar{\Sigma}^-$، $\overline{\Sigma^\circ}$، K^+، K°غرابت ۱+ ، ذرات Ξ^- ، Ξ° غرابت ۲− ، ذرات $\bar{\Xi}^-$ ، $\bar{\Xi}^\circ$ غرابت ۲+ دارند ، و نوکلئونها ، مـزونهای π و مزونهای η° غرابت ندارند .

جمع جبری غرابتها درهرواکنشی که به‌وسیلهٔ تأثیرات‌متقابلهٔ

www.takbook.com

قوی یا الکترومـاگنتیك به‌وجود می‌آید، بدون تغییر باقی‌می‌ماند. به‌همین جهت تأثیرات متقابلهٔ‌قوی در برخوردهای ذرات، یکباره کمتر از دو ذره دارای غرابت با علامتهای مخالف به وجود نمی‌آورند. مثلاً در برخورد پروتونها، ذرات Λ° و K^+ تشکیل می‌شوند نه ذرات Λ° و K^-. در پیدایش ذرات Ξ° بازهم دو ذره مزون عجیب همزمان پدیدار می‌شوند:

$$P + P \longrightarrow \Xi^\circ + P + K^\circ + K^+$$

ذرهٔ Ξ° غرابت ۲ − و ذرات K° و K^+ در مجموع غرابت ۲ + دارند. به‌همین جهت چنین واکنشی می‌تواند در نتیجهٔ‌تأثیرات متقابلهٔ‌قوی صورت گیرد.

اما تأثیرات متقابلهٔ‌قوی نمی‌توانند ذرات عجیب را متلاشی کنند. برای‌تجزیه به‌سایرذرات عجیب، انرژی‌نمی‌تواندکاری‌انجام دهد و ذرات سبکتر نیز فاقد غرابت هستند. بنابراین تأثیرات‌متقابلهٔ هسته‌ای و الکترو ماگنتیك در این مورد ناتوانند[1]. فقط تأثیرات متقابلهٔ ضعیف بالاخره‌ذرات عجیب رابه‌پایان عمر نزدیك‌می‌کنند.

کشف قانون بقای غرابت امکان داده است نه تنها به رفتار مزونهای K و هیپرونهـا پی‌برند بلکه بسیاری از این ذرات از آن جمله هیپرونهای Σ° و Ξ° را پیشگویی کنند.

۱ـ تجزیه Σ° ـ هیپرون استثنا را تشکیل می دهد؛ $\Sigma^\circ \longrightarrow \Lambda^\circ + \gamma$ واکنش بوسیلهٔ نیروهای الکترومـاگنتیك صورت‌می‌گیرد. نیروهای هسته‌ای‌نمی‌توانند اسپین‌ایزوتوپی‌را تغییر دهند. اسپین ایزوتوپی‌در ذرات Σ° مساوی با یك و در Λ° ـ هیپرون مساوی باصفر است.

www.takbook.com

مزونهای شگفت انگیز K° و $\overline{K^\circ}$

موفق شده‌اندخواصی شگفت‌انگیز حتی برای مزونهای عجیب K° و $\overline{K^\circ}$ پیشگویی کنند. این ذرات تنها در علامت غرابت تفاوت دارند و در بقیهٔ خواص همانندند . از آنجا کـه غرابت فقط در تـأثیرات متقابلهٔ قوی (نه در ضعیف) ثابت می‌ماند، K° و $\overline{K^\circ}$ باید فقط در واکنشهایی که درست تأثیرات متقابلهٔ قوی موجب به وجود آمدن آنها شده‌اند ، همانند ذرات متفاوت رفتار کنند . مثلاً درواکنش

$$\pi^- + P \rightarrow K^\circ + \Lambda^\circ$$

K° ـ مزون با غرابت ۱ + به‌وجود می‌آید نه‌ضد ذره $\overline{K^\circ}$ با غرابت ۱ − . تنها $\overline{K^\circ}$ (نه K°) بر اثر بـرخورد بـا پروتون می‌تواند Λ° ـ هیپرون را به وجود آورد :

$$\overline{K^\circ} + P \rightarrow \pi^+ + \Lambda^\circ$$

K° و $\overline{K^\circ}$ در تجزیه نیز باید یکسان رفتار کنند زیرا تجزیه را تأثیرات متقابلهٔضعیف که‌رعایت غرابت رانمی‌کند، باعث‌می‌شود.

این مسأله قابل فهم است امـا به راستی وضع بسیار پیچیده است . مزونهـای خنثـای K نسبت بـه تجزیه نـه مانند یك ذره بلـکه همانند دو ذره با راههای متفاوت تجزیه و با طول عمرهای متفاوت وحتی با جرمهای نسبتاً متفاوت رفتار می‌کنند . مزونهای خنثای K فقط شامل ذرات K° و $\overline{K^\circ}$ نیست بلکه شامل مـزونهای K_1° و K_2° نیز هست . طبیعت ذرات خنثای K را در پیدایش به یك طریق ودر تجزیه به شکلی کاملاً دیگر از یکدیگر متمایز می‌سازد. گمان نمی‌رود در این کتاب کوچك بتوان بقدر کافی توضیح دادکه

www.takbook.com

قضیه از چه قرار است . با وجود این برای آزمایش سعی می‌کنیم وضع را تا حدی روشن کنیم .

مزونهای K° و $\overline{K^\circ}$ نسبت به تأثیرات متقابلهٔ ضعیف بایدمانند یك ذره رفتارکنند . به همین‌جهت هر K ـ مزون خنثی آماده تجزیه شدن را می‌توان همچون مخلوطی از K° ـ مزون و $\overline{K^\circ}$ ـ مزون ، درست ترمانند دونوع مخلوط باذوجیت مرکب متفاوت تصورکرد. توضیح این مسأله دشوارتر از همه است .

به خاطر می‌آورید ؟ ذوجیت مرکب ثابت می‌ماند . این به آن معنی است که اگر ذرات را با ضد ذرات عوض کنیم و تمام منظره را درآئینه منعکس‌سازیم همهٔ وقایع دنیای خرد باید همچنان مانند قبل از اجرای این اعمال روی دهد . پس رفتارکمیتهای مبین حالات ذرات در مکانیك کوانتمی (آنها توابع موجی نامیده می‌شوند) در عمل تعویض ذرات با ضد ذرات که با انعکاس آئینه‌ای همزمان است ، متفاوت است . در بعضی موارد تابع موجی اصلاً تغییر نمی‌کند، یعنی ذوجیت مثبت است ولی در برخی مواردعلامت را تغییر می‌دهد، یعنی ذوجیت منفی است .

حالت K_1° ـ مزون را می‌توان همانند مجموع حالات مزونهای K° و $\overline{K^\circ}$ و حالت K_2° ـ مزون را همچون تفاوت همان حالات با شدت مساوی دانست[1] :

$$K_1^\circ = \frac{K^\circ + \overline{K^\circ}}{\sqrt{2}}$$

۱ ـ توضیح مفهوم ضریب $\frac{1}{\sqrt{2}}$ در اینجا امکان ندارد.

www.takbook.com

$$K_2^\circ = \frac{K^\circ - \overline{K^\circ}}{\sqrt{2}}$$

مزونهای K_1° و K_2° با ذوجیت مرکب از یکدیگر متمایزند: ذوجیت مرکب در ذرهٔ K_1° مثبت و در K_2° منفی است.

ذراتی که با ذوجیت مرکب از یکدیگر متمایزند، در موقع تجزیه نیز باید رفتاری متفاوت داشته باشند. مزونها K_1° می‌توانند به دو πـ مزون تجزیه شوند. زیرا دستگاهی از دو π ـ مزون ذوجیت‌مثبت دارد و K_2°ـ مزون فقط به‌سه π ـ مزون تجزیه‌می‌شود زیرا ذوجیت‌دستگاهی از سه π ـ مزون منفی‌است. ذوجیت‌مرکب در تأثیرات متقابلهٔ ضعیف باید محفوظ بماند.

تفاوت‌درکانالهای تجزیه‌موجب تفاوت درطول‌عمرمی‌شود. طول عمر مزونهای K_2° تقریباً صدبار بیشتر از مزونهای K_2° است.

ذرات K° و $\overline{K^\circ}$ را نیز می‌توان مخلوطی از مزونهای K_1° و K_2° با شدت یکسان دانست:

$$K^\circ = \frac{K_1^\circ + K_2^\circ}{\sqrt{2}}$$

$$\overline{K_\circ} = \frac{K_1^\circ - K_2^\circ}{\sqrt{2}}$$

این معادلات به شکلی ساده از معادلات قبلی نتیجه می‌شوند.

این گفته‌ها ابداً ثمرهٔ خیالبافی عجیب‌وغریب نیست. آزمایش می‌گوید که در واقع نیز همین طور است.

فرض کنیم که‌براثر برخورد مزونهای سریع $-\pi$ با پروتونهای

www.takbook.com

هدف ، مزونهای K°به وجود آیند . اینها ذراتی با غرابت ۱ + هستند و در برخورد با پروتون نمی‌توانند هیپرونهای Λ°را به وجود آورند . اما بعد چه روی می‌دهد ؟ K°- مزون مخلوطی از ذرات K_1°و K_2°است . مزونهای K_1°به سرعت تجزیه می‌شوند و در فاصلهٔ چند متری هدف فقط مزونهای K_2°باقی می‌مانند . اگر در نظر بگیریم که مزونهای K_2°مخلوط مزونهای K°و $\overline{K^{\circ}}$ به مقدار مساوی است، پس درفاصلهٔ چندمتری هدف عدهٔ مساوی مزونهای K°و $\overline{K^{\circ}}$ را خواهیم داشت. ولی مزونهای $\overline{K^{\circ}}$می‌توانند درواکنش با پروتونهای هدف دوم که دورتر ازاولی قرار دارد، شرکت کنند وهیپرونهای Λ° را به وجود آورند . اما مزونهای $\overline{K^{\circ}}$که ابتدا در دسته وجود نداشتند! همهٔ اینها درست در آزمایش مشاهده شده است .

عملاً چنین نتیجه می‌شود که تأثیرات متقابلهٔ ضعیف در خلأ قادرند مزونهای K° را به مزونهای $\overline{K^{\circ}}$ و بالعکس تبدیل کنند :

$$K^{\circ} \rightleftarrows \overline{K^{\circ}}$$

این تبدیل ازآن جهت امکان‌پذیر است که درتأثیرات متقابلهٔضعیف غرابت محفوظ نمی‌ماند .

حوادث حیرت‌انگیز به‌همین جاختم نمی‌شود. پس از هدف دوم عدهٔ مزونهای $\overline{K^{\circ}}$کمتر از عدهٔ مزونهای K° است زیرا قسمتی از مزونهای $\overline{k^{\circ}}$ در واکنش با پروتونهاشرکت می کند . پس‌تناسب بین K°و $\overline{K^{\circ}}$ در تولید مزونهای K_2°خالص بهم می‌خورد . در نتیجه مزونهای K_1°ظاهر می‌شوند واز نو امکان مشاهدهٔ تجزیه به دو π-

www.takbook.com

مزون به وجود می‌آید (شکل ۱۱).

در اینجا همه چیز بینهایت غیرعادی است. این حوادث دنیای خرد را می‌توان با منظرهٔ زیرشبیه دانست. دسته‌ای از کلاغهای خاکستری از روی تخته سنگی به‌هوا پریدند. اما در این دسته هر کلاغ درحقیقت مخلوط مساوی از عقاب و قرقی است. در بین راه قسمت قرقی کلاغها نابود می‌شوند و فقط عقابها به پرواز ادامه می‌دهند. ضمناً هر عقاب مخلوط مساوی از کلاغهای سفید و خاکستری است. در تخته سنگی دیگر قسمتی از کلاغهای سفید نابود می‌شوند و بقیه به هوا می‌پرند. اما این به‌نوبهٔ خود به معنی آن است که قرقیهایی که قبلاً درکنارتخته سنگ اول نابود شده بودند، پدیدارشده‌اند. خیالپردازی محض است. با وجود این همه وقایع برای مزونهای K° درست همین‌گونه روی می‌دهد.

تزلزل جدید

در سال ۱۹۶۴ معلوم شد که پژوهشهای جدید از نو اساس تئوری ذرات بنیادی را متزلزل کرده است. مزونهای خنثای K باز هم وجه تمایزی پیدا کرده‌اند. در فاصلهٔ ۱۹متری هدفی که دستهٔ مزونهای K° در آن به وجود آمده است، دو π ـ مزون (نه سه π ـ مزون برطبق معمول) مشاهده شده است. هرچند امکان این نوع تجزیه اندك است (در حدود ۲/. درصد)، اما در وجود آن شکی نیست.

مزونهای K_{1}° در این فاصلهٔ زیاد نمی توانند وجود داشته باشند. پس مزونهای K_{2}° به دو π ـ مزون تجزیه شده‌اند، یعنی بی‌کم وکاست نقض ذوجیت مرکب در تأثیرات متقابلهٔ ضعیف. قانون

www.takbook.com

بقایی که بتازگی برقرار شده بود، نقض می‌شود .

هنوز روشن نشده است که قضیه از چه قرار است. گمان می‌کنند که این تجزیه را نیروهای مخصوص مافوق ضعیف باعث شده باشند. اما این چه نیروهایی است؟ تاکنون هیچ اثری دیگر از این نیروها پیدا نشده است .

مطابق تئوری موجود نقض ذوجیت مرکب باید موجب برگشت‌ناپذیری پدیده‌ها برحسب‌زمان دردنیای‌خرد باشد. این یکی از جدیترین تزلزل مبانی است که زمانی در فیزیك روی داده است.

از زمان کشف جدید چند سال می‌گذرد اما تا حال موفق به حل قطعی آن نشده‌اند .

تاثیرات متقابلهٔ ضعیف همه کاره‌اند

زندگی ذرات عجیب به‌وسیلهٔ تأثیرات‌متقابلهٔ ضعیف به پایان می‌رسد. اگر تأثیرات‌متقابلهٔ ضعیف نبود ، پایداری این ذرات کمتر از الکترون و پروتون نبود .

قبلاخاطرنشان کرده‌ایم که‌تأثیرات‌متقابلهٔ ضعیف همه‌کاره‌اند. لکن این نیروها بقدری کند عمل می‌کنند که نمی‌توانند با نیروهای هسته‌ای و الکترومـاگنتیك رقابت کنند. تأثیرات متقابلهٔ ضعیف‌قادر نیستند در فرایندهایی که تحت تأثیر نیروهای قـویتر طبیعت قرار می‌گیرند، شرکت کنند . اما تـأثیرات متقابلهٔ ضعیف در دو مورد قاطعاً عمل می‌کنند : در فرایندهایی که نوترینوها به‌وجود می‌آیند ودر فرایندهایی که غرابت تغییر می‌کند . در اینجا سایر تأثیرات متقابله ناتوانند. نوترینو فقط در تـأثیرات متقابلهٔ ضعیف شرکت

www.takbook.com

می‌کند و تنها تأثیرات متقابلهٔ ضعیف می‌توانند غرابت را تغییر دهند. این فرایندها با یك سرعت داخلی صورت می‌گیرند و به وسیلهٔ یك مقدار ثابت تأثیرات متقابله مشخص می‌شوند.

این همه‌کاره بودن که در نتیجهٔ آن، تبدیلات کاملاً متفاوت با یك ثابت ارتباط مشخص می‌شوند، از کجا پیدا شده است؟ این مسأله اخیراً روشن شده است.

مطابق تئوریهای امروزی در تأثیرات متقابلهٔ ضعیف همیشه چهار ذره به‌نام فرمیون[۱] با اسپین $\frac{\hbar}{۲}$ شرکت می‌کنند. همه‌کاره‌بودن تأثیرات متقابلهٔ ضعیف عبارت از این است که تأثیر متقابلهٔ هر دو فرمیون به‌یك شکل صورت می‌گیرد و با یك ثابت ارتباط مشخص می‌شود. فقط لازم است که هرجفت فرمیون که در تأثیرات متقابله شرکت دارد، شامل یك ذره باردار و یك ذرهٔ خنثی باشد. لپتونها و باریونها هریك جفتهای جداگانه‌را تشکیل می‌دهند. اما تأثیر متقابلهٔ ضعیف در تمام این جفتها یکسان عمل می‌کند.

درمورد تجزیهٔ نوترون و μ - مزون خصلت چهار فرمیونی تأثیر متقابله به چشم می‌خورد، یعنی همهٔ فرمیونها که در تأثیرات متقابله شرکت می‌کنند، حضور دارند. اما همیشه این‌طور نیست. مثلاً در تجزیه π - مزون :

$$\pi^+ \longrightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

در اینجا فقط دو فرمیون μ^+ و ν_μ مستقیماً شرکت دارند. معهذا این واکنش را نیز تأثیر متقابلهٔ چهارفرمیونی به‌وجود آورده

۱- fermion

www.takbook.com

است. منتها آن را در دومرحله انجام می‌دهد. در نخستین مرحله π^+ ـ مزون درمدتی کوتاه مجازاً تولید جفت‌پروتون ـ آنتی‌نوترون می‌کند و سپس تأثیر متقابلهٔ ضعیف این جفت را به μـ مزون و نوترینوی میوئونی تبدیل می‌کند.

$$\underbrace{\pi^+ \longrightarrow p + \bar{n}}_{\text{تأثیر متقابلهٔ قوی}} \longrightarrow \underbrace{\mu^+ + \nu}_{\text{تأثیر متقابلهٔ ضعیف چهار فرمیونی}}$$

مرحلهٔ میانی این واکنش مشاهده نمی‌شود و به همین جهت خصلت چهارفرمیونی تأثیر متقابله پوشیده می‌ماند. وضع در سایر واکنشها نیز چنین است.

ذره‌ای که خواص آن را می‌شناسیم ولی نمی‌دانیم وجود دارد یا نه

توجه کردید که همهٔ گروههای پیشین تأثیرمتقابله به وسیلهٔ میدان، درست‌تر به وسیلهٔ مبادلهٔ کوانتهای میدانهای مربوطه وجود پیدامی کنند. تأثیر متقابلهٔ ضعیف به تعبیر امروزی از استثنائات است. گمان می‌رود که تمام چهار فرمیون در یك نقطه بدون هیچگونه واسطه‌ای در تأثیرات متقابله شرکت می‌کنند.

آیا واقعاً همین‌طور است؟ شاید میدان تأثیرات متقابلهٔ ضعیف وجود دارد وبر وفق معمول کوانتهای این میدان نیز وجود دارند. بازهم نوعی از ذرات بنیادی؟ آری، فرضیه می‌گوید که تأثیرات متقابله بین جفتهای فرمیونها به کمك ذراتی مخصوص به نام بوزونهای[۱]

۱ـ boson

www.takbook.com

میانی صورت می‌گیرد. بوزونها ذراتی هستندکه اسپین صحیح (در واحد $\hbar$) دارند. بطوری‌که از تئوری، از آن جمله ازقوانین بقا برمی‌آید، بوزونها باید بارالکتریکی داشته باشند. جرم آنها باید از مزونهای K بیشتر باشد. زیرا درغیر این صورت مزونهای K باید به بوزون میانی و کوانتγ تجزیه شوند. چنین تجزیه‌ای واقعاً مشاهده نشده است.

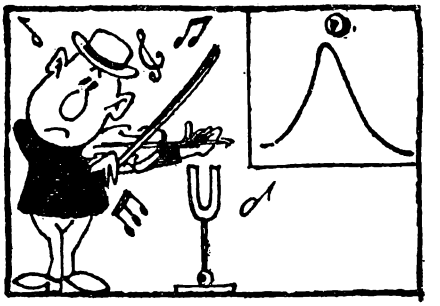
بوزون میانی نیز مانند سایرذرات نمی‌تواند پایدار باشد. طول‌عمر آن بایدنزدیك به $۱۰^{-۱۷}$ثانیه باشد. بوزون میانی‌می‌تواند به μـ مزون و نوترینو، الکترون و نوترینو یا به چند πـ مزون تجزیه شود. بوزونهامی‌توانند نوترینوهای‌با انرژی زیاد درمیدان هسته به وجود آورند.

با وجودکوششهایی‌که در راه یافتن بوزویها به‌عمل آمده است، تاکنون موفق به پیداکردن آنها نشده‌اند. دربارهٔ این ذره خیلی چیزها می دانیم. فقط مهمتر از همه را نمی‌دانیم: اصلاً وجود دارد یا نه؟

www.takbook.com

فصل نهم

در باب ناپایدارترین ذرات



چند تا هستند ، آنها را به‌کجا می‌رانند؟
پوشکین
«شیاطین»

ناپایدارترین

در ردیف ۳۵ ذرهٔ نسبتاً دراز عمر ذرات‌ی وجود دارند، بقدری کوتاهٔ عمر، که معمولاً کسی جرأت نمی‌کند آنها را ذرات بنیادی بنامد. اینها رزونانسها هستند. اصطلاح «رزونانس» بیشتر مبین طریقهٔ پیدایش ذرات است نه طبیعت آنها . عدهٔ رزونانسها خیلی زیاد و متجاوز از دویست است و دایماً نیز برعدهٔ آنها افزوده می‌شود.

۱ـ resonance

www.takbook.com

طریقه‌ای که به‌کمك آن رزونانسها کشف شدند، فوق‌العاده شایان توجه است. عمر رزونانسها 10^{-23} ـ 10^{-22} ثانیه است. رزونانسها در طول این مدت راهی در حدود قطر نوکلئون را می‌پیمایند. در اینجا دیگر حتی آرزوی مشاهدهٔ اثر آنها در اتاق ویلسون یا اتاق حبابی بیهوده است.

طول عمر رزونانسها از آن جهت بسیار کوتاه است که حتی یك قانون بقانیز مانع تجزیهٔ آنها تحت تأثیر نیروهای قوی نمی‌شود. طول عمر آنها با ذراتی که در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت می‌کنند، مطابقت دارد.

پس چگونه توانسته‌اند رزونانسها را بیابند و طول عمر ناچیز آنها را برآورد کنند؟

نیافتنی را هم می‌توان یافت

درسال ۱۹۶۰ گروه محققان دانشگاه کالیفرنیا (ایالات متحده) به‌کمك اتاق حبابی واکنش بین مزونهای سریع K، که در شتابدهنده به وجود آمده بودند، و پروتونهای هیدروژن مایع داخل اتاق را مورد مطالعه قرار دادند. واکنش برطبق طرح زیر صورت می‌گرفت:

$$K^- + P \longrightarrow \Lambda^\circ + \pi^+ + \pi^-$$

از مسیر ذراتی که در این واکنش شرکت داشتند، چند صد عکس تهیه شد. سپس ارتباط عدهٔ مزونهای $+\pi$ و $-\pi$ به وجود آمده با انرژی آنها به‌کمك ماشین حساب ارزیابی شد.

تصادفی نبود که دست به این کار زدند. درست به‌همین طریق ممکن بود به‌کشف ذرات بسیار کوتاه عمر امید داشت.

www.takbook.com

ایده چنین است : اگر در برخورد K^-وP یکباره سه ذره تولید می‌شود ، همانطور که در عکس دیده می‌شود (شکل ۱۲) ، پس انرژی‌مزونهای π^- می‌توانست گوناگونترین مقادیر رابپذیرد: از نزدیك به صفر تا حداکثری‌که قانون بقای انرژی مجازمی‌داند. انرژی اولیه K^-ـ مزون و پروتون نیز بین ذراتی کـه به وجود می‌آیند، باید تقسیم شود .

در حقیقت معلوم شدکه‌منحنی ارتباط عدهٔ پیونهای به‌وجود آمده با انرژی، ماکزیممی تند داشت (شکل ۱۳) . قسمت اعظم مزونها با انرژیی کاملاً مشخص به وجود می‌آمدند.

این مسأله راتنها به یك طریق می‌توان توضیح داد. درمرحلهٔ اول واکنش مورد تحقیق فقط دو ذره به وجود می‌آید :

$$K^- + P \longrightarrow Y^{*-} + \pi^+$$

در این عمل قوانین بقای انرژی و ایمپولس، انرژی هرذره را همسان معین‌می‌کنند. ازاین‌رو مزونهای π^+ باید با انرژیی‌معین به‌وجود آیند .

در مرحلهٔ دوم واکنش ، ذرهٔ میانی یـا رزونانس Y^{*-} به Λ° ـ هیپرون و π^- ـ مزون تجزیه می‌شود :

$$Y^{*-} \longrightarrow \pi^- + \Lambda^\circ$$

این‌تجزیه بقدری سریع‌روی می‌دهدکه در عکس مسیرذرات مثل اینکه هر سه ذرهٔ π^+ ، π^- وΛ° از یك نقطه برمی‌خیزند . اگر رزونانس Y^{*-} تشکیل نمی‌شد،ماکزیمم تند منحنی‌که ارتباط‌عدهٔ

www.takbook.com

مزونها را با انرژی بیان می‌کند، وجود نداشت[۱].

از روی بیلان انرژی و ایمپولس می‌توان انرژی سکون رزونانس تولید شده Y^{*-} و جرم آن را معین کرد. جرم Y^{*-} برحسب انرژی مساوی با ۱۸۳۲ میلیون الکترون ولت است.

اماطول عمررزونانس. ماکزیمم‌منحنی‌توزیع انرژی‌مزونهای π^+ پهنای نزدیك به شصت میلیون الکترون ولت دارد. یعنی‌انرژی یا جرم‌سکون‌رزونانس کاملاً ثابت نیست. برطبق اصل عدم‌قطعیت، هرچه‌عدم قطعیت در انرژی‌دستگاه بیشتر باشد، طول عمر آن‌کمتر است :

$$\Delta t \sim \frac{h}{\Delta E}$$

با دانستن ΔE طول عمر رزونانس Y^{*-} به‌دست می‌آیدکه ازمرتبهٔ 10^{-23} ثانیه است.

رزونانس Y^{*-} بارمنفی دارد. اما در برخورد مزونهای K بانوکلئونها رزونانسهای مثبت و خنثی Y^{*+} و Y^{*0} نیز پدید می‌آیند. هر سه‌ذره‌جرمهای نزدیك به یکدیگر دارند وتریپلت‌باردار با اسپین ایزوتوپی مساوی با واحد را به وجود می‌آورند[۲].

انواع رزونانسها

رزونانسهای Y^* نخستین ذرات‌کشف شده از این نوع نیستند. انریکوفرمی در سال ۱۹۵۲ رزونانسی را درموقع پراکندگی‌پیونها روی نوکلئونهاکشف‌کرد.

۱ـ در بعضی موارد یکباره سه ذره تولید می‌شوند. به همین جهت مزونها با انرژیهای متفاوت یافت می‌شوند.

۲ـ این سه رزونانس را اغلب با علامتهای Σ^{*-}، Σ^{*0}، Σ^{*+} مشخص می‌کنند.

www.takbook.com

احتمال پراکندگی پیونهای مثبت‌روی پروتون وقتی‌که انرژی‌دستهٔ پیونی به ۱۹۵میلیون الکترون ولت می‌رسد، به‌شدت‌افزایش‌می‌یابد (شکل ۱۴).

شکل منحنی خیلی شبیه منحنی رابطهٔ نوسان مکانیکی با فرکانس است وهمین شباهت نیزاساس نامگذاری ذرات‌کوتاه‌عمر یعنی رزونانسها قرارگرفت.

درصورتی که در نظربگیریم واکنش در دو مرحله صورت می‌گیرد، می‌توان پیدایش ماکزیمم در منحنی ارتباط عدهٔ پیونهای پراکنده شده باانرژی‌آنهارا توضیح‌داد. ابتدا π ـ مزون بانوکلئون یکی می‌شود و رزونانس را تشکیل می‌دهد و سپس این رزونانس تجزیه می‌شود :

$$\pi^+ + P \longrightarrow N^{*++} \longrightarrow \pi^+ + P$$

از روی منحنی رزونانسی معلوم می‌شودکه طول‌عمر ذره N^{*++} از مرتبهٔ 10^{-23} ثانیه است.

رزونانس N^{*++} حامل دوبار الکتریکی است . با مطالعه پراکندگی مزونهای π روی نوکلئونها سه رزونانس‌دیگرنیزکشف شده‌اند: N^{*-} ، $N^{*\circ}$ و N^{*+} . هرچهار رزونانس N[1] مولتیپلت با اسپین ایزوتوپی $\frac{3}{2}$ را تشکیل می‌دهند.

رزونانسهایی که‌تاحال‌دربارهٔ آنهاصحبت کردیم، رزونانسهای باریونی نام دارند . رزونانسهای مزونی نیز وجود دارند که بار باریونی ندارند وتنها به‌مزونها تجزیه می‌شوند.

۱ـ گاهی آنها را با علامتهای Δ^{++} ، Δ^- ، Δ° و Δ^+ مشخص می‌کنند .

www.takbook.com

یکی از این ذره‌ها در موقع پراکندگی آنتی پروتونها روی پروتونها کشف شده است . این واکنش نیز در دو مرحله صورت می‌گیرد. ابتدا دو π ـ مزون و رزونانس ω° به وجود می‌آیند :

$$P + \bar{P} \longrightarrow \pi^+ + \pi^- + \omega^\circ$$

رزونانس ω° فاقد باراست واسپین صحیح دارد ودر طول $۱۰^{-۲۳}$ ثانیه به‌سه π ـ مزون تجزیه می‌شود:

$$\omega^\circ \longrightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^\circ$$

رزونانسهای دیگر راکه تاکنون شناخته شده‌اند نام نمی‌بریم وفقط‌خاطرنشان می‌کنیم‌که با هریك ازذراتی‌که در تأثیرات‌متقابلهٔ قوی شرکت دارند ونسبتاً پایدارند، گروهی از رزونانسها با جرم بیشتر مطابقت دارند. رزونانسها را می‌توان حالتهای تحریك شدهٔ ذرات‌پایدار دانست. مثلاً رزونانس ω° حالت‌تحریك‌شدهٔ مزونهای π است. رزونانسهای N^* حالتهای تحریك شدهٔ نوکلئونها و رزونانسهای Y^* حالتهای تحریك شدهٔ هیپرونهای Σ هستند.

آیا رزونانس ذرهٔ بنیادی است ؟

حداقل دو احتمال وجود دارد. یکی این‌که تصورکنیم رزونانسها اصلاً نوعی جدید از ذرات بنیادی نیستند بلکه سازمانی فشرده از ذراتی‌هستندکه درتأثیرات‌متقابلهٔ قوی‌شرکت‌دارند، سازمانی‌فشرده از ذراتی‌که به همانها تجزیه می‌شوند . مثلا رزونانس نوکلئونی چیزی مانند اتم π ـ مزونی است‌که در آن، مزون جای‌الکترون‌را می‌گیرد ونقش نیروهای‌کولونی‌را نیروهای هسته‌ای به‌عهده‌دارند. طول عمر این اتم بقدری‌کم است که گمان نمی‌رود π ـ مزون در

www.takbook.com

این مدت حتی‌چند گردش به‌دور هسته انجام دهد. از این نقطه‌نظر رزونانس را در حقیقت می‌توان حالت تحریك شدهٔ نوکلئونی دانست که در «پوستین» مزونهای مجازی یك مزون حقیقی دارد.

احتمال دیگر عبارت از این است که رزونانسها را ذرات بنیادی که دست‌کمی از همقطاران دراز عمر خود ندارند، بدانیم. زیرا تمام آنها با جرم، بارالکتریکی، اسپین، باریونی، اسپین ایزوتوپی، غرابت وذوجیت معین مشخص می‌شوند. همانطورکه بعد خواهیم دید، اکنون این نقطه نظر محتملتر به‌نظر می‌رسد.

بدون شك کشف رزونانسها تصویر پیچیدهٔ خانوادهٔ ذرات بنیادی را پیچیده‌ترکرده است. اما ظاهراً این پیچیدگی زودگذر است. می‌توان امیدوار بودکه پس از پیچیدگی یکنواخت طولانی ناگهان، البته به‌کمك رزونانسها، همه چیز را روشنتر از پیش ببینیم. این امیدها براساس طبقه‌بندی ذراتی که در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت دارند، به وجود آمده است.

www.takbook.com

فصل دهم

درباب نظام ذراتی که در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت دارند و این که کوارك چیست

سه کوارك مسترمارك
جویس[1]
«بیداری فینگان»

سوپرمولتیپلتها

حال به ذراتی که در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت دارند، دقیقتر می‌نگریم. گروهی از هشت مزون، گروهی از هشت باریون و گروهی از هشت آنتی باریون جلب توجه می‌کنند. هریك از این گروهها طبیعتاً به مولتیپلتهای باردار تقسیم می‌شود. تفاوت جرم ذرات در داخل هریك از مولتیپلتهای باردار را می‌توان نتیجهٔ بارالکتریکی دانست.

۱ـ James Joyce نویسندهٔ ایرلندی (۱۹۴۱ ـ ۱۸۸۲)

www.takbook.com

سه گروه نامبرده به شدت از یکدیگر متمایزند. اولاً اسپین متفاوت دارند. اسپین مزونها مساوی با صفر و اسپین باریونها و آنتی‌باریونها مساوی با $\frac{\hbar}{۲}$ است. مقدار باربار یونی درهرسه گروه متفاوت است[۱]. اسپین مشترك و باربار یونی یکسان وجه مشترك ذرات گروههاست[۲]. تفاوت جرم در ذرات یك گروه چندان زیاد نیست (مخصوصاً بین مولیتپلتهای باردار مجاور).

در اینجا این فکر خود بخود به وجود می‌آید: هرگروه را باید همانند چیزی واحد، همچون سوپر مولتیپلتی در نظر گرفت.

اما ذرات مولتیپلت باردار مختلف که در یك سوپرمولتیپلت شرکت می‌کنند، از چه نظر متفاوتند؟ بخودی خود واضح است که در جرم و اسپین ایزوتوپی متفاوتند. دیگر در چه چیز؟ فقط در غرابت و دیگر هیچ.

اگر مقدار تصویر اسپین ایزوتوپی را روی محور افقی و و مقدار غرابت را روی محور عمودی ببریم، اشکال منظم هندسی جالبی به دست می‌آید. به راستی عجیب نیست؟

سوپر مولتیپلتهای رزونانسی

رزونانسهای باریونی نیز در یك سوپرمولتیپلت متحد می‌شوند. اینها رزونانسهای N^* و Y^* یا همانطور که امروزه نشان می‌دهند، رزونانسهای Δ و Σ^* هستند. وجه اشتراك آنها اسپین مشترك $\frac{۳}{۲}$ و

۱ــ فعلاً ذرهٔ Ω^- را مورد مطالعه قرار نمی دهیم.

۲ــ اگر ذرات را فقط از لحاظ اسپین و باربار یونی متفاوت بدانیم، در آن صورت همهٔ مزونها (ذرات وضد ذرات) دریك گروه وباریونها وآنتی‌باریونها درگروههای متفاوت قرارمی‌گیرند.

www.takbook.com

باربار یونی یکسان ۱+ است . رزونانسهای Ξ^{*-} و Ξ^{*0} را که پیش از این از آنها ذکری به میان نیاورده‌ایم نیز باید به این‌سوپر-مولتیپلت نسبت داد. این رزونانسها دوبلت باردار با همان اسپین و باربار یونی را تشکیل می‌دهند.

جالبتر از همه این است که در این سوپرمولتیپلت وجه تمایز مولتیپلتهای باردار از یکدیگر در یك مقدار جرم معادل با ۱۴۶ میلیون الکترون ولت است. مقدار غرابت نیز در مولتیپلتهای باردار متفاوت است: دررزونانسهای Δ مساوی باصفر، در رزونانسهای Σ^* مساوی با یك و در رزونانسهای Ξ مساوی با ۲ است .

اگر تصویر اسپین ایزوتوپی را روی محور افقی و غرابت را روی محور عمودی ببریم، ذوذنقه‌ای به‌دست می‌آید. ولی اگر ذره‌ای باغرابت ۳ – واسپین $\frac{3}{2}$ وعدد باریونی ۱+ وجود می‌داشت، ذوذنقه به مثلث تبدیل می‌شد.

رزونانسهای مزونی نیز سوپرمولتیپلت مخصوص به خود را تشکیل می‌دهند. سوپرمولتیپلتهای رزونانسی دیگر نیز وجود دارند ولی ما از آنها یاد نخواهیم کرد.

کوارکها

همانطورکه می‌بینید، نظامی جدید برای عدهٔ بسیار زیاد ذرات بنیادی ، چه ذرات نسبتاً پایدار وچه رزونانسها، برقرار شده است.

حال مسأله نظام‌ذرات بنیادی راکه پس ازکشف رزونانسها به‌طور اساسی تجدید ساختمان‌یافته است، از نقطه نظر جدیدمورد مطالعه قرار می‌دهیم.

www.takbook.com

عده‌ای زیاد از ذراتی که در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت می‌کنند، کشف شده است. آنها با اعداد کوانتمی درونی مانند بارالکتریکی، باریونی و غرابت مشخص می‌شوند. این اعداد درتأثیرات متقابلهٔقوی‌والکترومگنتیك محفوظ‌می‌مانند. آیاممکن نیست تمام ذراتی که در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت می‌کنند، مرکب باشند و قوانین بقای اعداد کوانتمی فقط مبین بقای عدهٔ بنیادی‌ترین‌ذرات، یعنی‌اجزای تشکیل‌دهندهٔ ذرات بنیادی معمولی، باشند؟

این اندیشه ثمربخش درآمد و امکان داد تانظام جدید ذراتی راکه درتأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت‌دارند، کاملاً عینی‌مجسم کنیم.

اینك نخستین و مهمترین مسأله. چند ذرهٔ زیربنیادی می‌تواند وجود پیداکند؟ چه خوب است‌که عدهٔ آنها زیاد نباشد. تشکیل دویست ذره فقط ازدو یاسه‌ذره خیلی جالب است. به‌عقیدهٔهل‌مان وتسویك[1] رویهم فقط سه ذره‌کافی است.

عدهٔ ذرات زیربنیادی‌کم است اما درعوض خواص آنها به غایت غیرعادی است. به همین جهت هل‌مان به این ذرات نامی عجیب داده است. قهرمان اصلی در رمان جویس «بیداری‌فینگان» خودرا مارك، سلطانی ازافسانه‌های قرون وسطی می‌داندکه‌برادرزاده‌اش تریستان، زنش ایزولدو را ربوده است. مارك با کشتی‌به دنبال ایزولدو روان می‌شود. مرغان دریایی بالای سرآنهابه‌پرواز در می‌آیند وکینه‌توزانه فریاد می‌زنند: «سه کوارك[2] مسترمارك!»

۱ـ Zweig ۲ـ three quarks سه قار قار، سه وق وق

www.takbook.com

وفریاد اسرار آمیز و وحشتناك آنها هر چند بلندتر می‌شود : «سه کوارك، سه‌کوارك، سه‌کوارك، سه‌کوارك!». کوارکها شیاطینند. هل‌ـمان با انتخاب این نام ظاهراً خواسته است وجود قابل‌تردید این ذرات زیربنیادی را خاطرنشان‌کند.

علامتهای P ، n ، λ را برای‌کوارکها پذیرفته‌اند. غیرعادی بودن‌کوارکها در این است‌که آنها بارهای الکتریکی و باریونی کسری دارند. مقدار بار و غرابت‌کوارکها در جدول آورده شده است.

علامت‌کوارك	بارالکتریکی	غرابت	بار باریونی
p	$+\frac{۲}{۳}$	۰	$\frac{۱}{۳}$
n	$-\frac{۱}{۳}$	۰	$\frac{۱}{۳}$
λ	$-\frac{۱}{۳}$	-۱	$\frac{۱}{۳}$

اسپین همهٔ آنها مساوی با $\frac{\hbar}{۲}$ است زیرا فقط از ذرات با اسپین $\frac{۱}{۲}$ می‌توان‌ذراتی‌با اسپین‌صفرویك‌یعنی مزونها ورزونانسهای مزونی را ساخت.

درردیف‌کوارکهاباید وجود آنتی‌کوارکهاراکه‌باروغرابت با علامت مخالف دارند، ممکن شمرد.

www.takbook.com

پیشگویی ذرهٔ Ω⁻ حال به طرح ذرات بنیادی از کوارکها می‌پردازیم. ساده‌تر از همه این است که از رزونانسهای باریونی شروع کنیم. کودکی که جمع کسرها را می‌داند نیز از عهدهٔ حل این مسأله برمی‌آید.

اسپین این رزونانسها $\frac{3}{2}$ است. پس هریك از آنها باید از سه کوارك با اسپینهای موازی تشکیل یافته باشد. غرابت رزونانسهای Δ مساوی باصفر است. یعنی آنها نباید دارای کوارکهای λ باشند. هریك از رزونانسهای Σ^* یك کوارك λ و هر یك از رزونانسهای Ξ^* دو کوارك λ دارد.

درك این مسأله دشوار نیست که از سه کوارك باسمتگیری یکسان اسپین می‌توان ۱۰ ترکیب متفاوت به‌دست آورد:

$$ppp \qquad pp n \qquad p nn \qquad nnn$$
$$pp\lambda \qquad pn\lambda \qquad nn\lambda$$
$$p\lambda\lambda \qquad n\lambda\lambda$$
$$\lambda\lambda\lambda$$

تمام این ترکیبات بارهای صحیح و غرابتهای متفاوت دارند. در ترکیبات سه خط اول رزونانسهای Δ، Σ^* و Ξ^* را می‌توان دید. اما $\lambda\lambda\lambda$ چیست؟ بیگمان ذره‌ای تازه است!

سعی می‌کنیم تا خواص رزونانس $\lambda\lambda\lambda$ را پیشگویی کنیم. اینك ما می‌توانیم این کار را تقریباً همانقدر موفقیت آمیز انجام دهیم که فیزیکدانان واقعی انجام می‌دهند. اسپین رزونانس مساوی با $\frac{3}{2}$، بارالکتریکی ۱-، غرابت ۳- است. بعلاوه جرم را هم می‌توان

www.takbook.com

پیشگویی کرد. اما چگونه؟

اگر جرم رزونانسهای خطوط مجاور را با یکدیگر مقایسه کنیم معلوم می‌شود که جرم رزونانسهای بالایی از جرم رزونانسهای پایینی بیشتر است. بعلاوه تفاوت بین جرم ذراتی که در خطوط مجاور قرار گرفته‌اند، همانطور که قبلاً گفته شد، تقریباً یکسان و مساوی با ۰/۱۶ جرم نوکلئون، معادل با ۱۴۶ میلیون الکترون ولت است. یعنی اگر جرم کوارکهای p و n را یکسان در نظر بگیریم، جرم کوارک λ، ۱۴۶ میلیون الکترون ولت بیشتر است.

با دانستن جرم رزونانسهای Ξ^* می‌توان پیشگویی کرد که جرم ذرهٔ $\lambda\lambda\lambda$ باید مساوی با ۱۶۷۶ میلیون الکترون ولت باشد.

چنین ذره‌ای در ۳۱ ژانویه سال ۱۹۶۴ در آزمایشگاه بروکهایون[1] (ایالات متحده) درموقع تحقیق برخوردهای مزونهای k انرژی زیاد با پروتونها پیدا شد. این درست همان ذرهٔ Ω^-، آخرین ذرهٔ بنیادی در جدول ماست[2]. ذرهٔ Ω^- در واکنش

$$K^- + p \longrightarrow \Omega^- + K^+ + K^\circ$$

کشف شد. خواص آن درست با پیشگوییها مطابقت داشت.

هرچند ذرهٔ Ω^-، مطابق طبقه‌بندی، جزء رزونانسهاست، خیلی بیشتر از رزونانسها عمر می‌کند. تجزیه برطبق طرح

$$\Omega^- \longrightarrow \Xi^\circ + \pi^-$$

در مدت 10^{-8} ثانیه روی می‌دهد. بدینطریق ذرهٔ Ω^- باید از جمله ذرات دراز عمر به حساب آید و به همین جهت است که

۱ـ Brookhaven ۲ـ ضد ذرهٔ آن یعنی $\overline{\Omega}^+$ نیز در سال ۱۹۷۱ کشف شد.

www.takbook.com

درجدول ذرات بنیادی جا دارد.

طول‌عمر زیاد ذرهٔ Ω^- به وسیلهٔ غرابت زیادآن (۳ـ) آشکار می‌شود. مادام که مجموع جرمهای سکون ذرات با غرابت کلی ۳ـ بیش از جرم سکون ذرهٔ Ω^- است ، تجزیه ذرهٔ Ω^- «از طریق کانال‌قوی» که غرابت را تغییر نمی‌دهد، ممنوع است.

ذرهٔ Ω^- نمونه‌ای روشن است که نشان می‌دهد فرق اساسی بین رزونانسها و ذرات به‌اصطلاح بنیادی وجود ندارد. اگرقوانین بقا مانع تجزیهٔ سریع رزونانس شوند ، رزونانس به صورت ذرهٔ بنیادی معمولی اما فوق‌العاده سنگین در می‌آید.

طرح کوارکی باریونها و مزونها

حال ببینیم چگونه می‌توان باریونها ومزونها را ازکوارکها ساخت. وضع در اینجا کمی پیچیده‌تر از ساختمان رزونانسهای باریونی است. باریونها اسپین کسری دارند و بنابراین درساختمان‌باریونها همانند رزونانسهای باریونی حداقل سه کوارك می‌توانند شرکت کنند .

به دست‌آوردن اسپین $\frac{\hbar}{2}$ دشوار نیست . برای این‌کار باید فرض‌کنیم‌که دوکوارك اسپینهای مـوازی دارند و اسپین سوم به سوی مخالف سمتگیری شده است:

وضع برای اغلب باریونها ساده است. به‌طور مثال نوترون را در نظرمی‌گیریم. بارالکتریکی وغرابت‌آن مساوی باصفراست. پس نوترون باید ازیك‌کوارك P و دوکوارك n تشکیل یافته باشد،

www.takbook.com

یعنی ساختمان pnn را داشته باشد . هیپرون Ξ^- شامل یك کوارك n و دو کوارك λ یعنی دارای ساختمان $n\lambda\lambda$ است.

به‌همین ترتیب‌می‌توان ساختمان سایر باریونها را معین کرد.

اما چرا باریونهاهشت تا هستند ومانند رزونانسهای‌باریونی ده‌تانیستند؟اینجاست که‌دشواریهایی‌درتوضیح واقعیت پیدامی‌شود. باریونها با ساختمان کـوارکی را می‌توان به صورت طرح شش ضلعی تنظیم کرد:

$$\begin{array}{ccccc} & & pnn & & p\,pn \\ & nn\lambda & & pn\lambda & & p\,p\lambda \\ & & & pn\lambda & \\ & & n\lambda\lambda & & p\lambda\lambda & \end{array}$$

هـر تـرکیب کوارکها بـا با ریونـی مشخص مطابقت دارد . در این طرح درست هشت‌ترکیب دیده می‌شود. قبل از همه توجه‌کنید که‌در این‌جدول ترکیبی ازسه‌کوارك یکسان‌وجودندارد.سه‌کوارك یکسان ، همانطورکه از مکانیك کوانتمی بـر می‌آید ، اسپینهای موازی دارند وبنا براین می‌توانند فقط رزونانسهایی با اسپین $\frac{3}{2}$ را تشکیل دهند .

دوترکیب‌یکسان $pn\lambda$ هیپرونهای Λ° وΣ° را مجسم می‌کنند. از آن جهت دو ذرهٔ متفاوت به‌دست می‌آید که سمتگیری متقابل اسپینهای سه‌کوارك می‌تواند مختلف باشد.

حال به مزونها می‌پردازیم. اسپین وباربایونی آنهامساوی با صفر است. به همین جهت مزونها باید از جفت‌کـوارك ـ آنتی

www.takbook.com

کوارك ساخته شده باشند. ذرات تشکیل یافته از چنین جفتهایی با اسپین و باربایونی مخالف‌مشخص می‌شوند وهمین درست‌اسپین و باربایونی مساوی با صفر جفت را تأمین می‌کند.

مثلاً π^+ ـ مزون چیزی جز ترکیب $p\bar{n}$ نیست ، K^+ ـ مزون شامل کوارك p و آنتی‌کوارك $\bar{\lambda}$ است . ترکیبهای ممکن کوارك ـ آنتی‌کوارك را نیز می‌توان در طرح شش ضلعی جاداد:

$$\begin{array}{ccc} p\bar{\lambda} & & n\bar{\lambda} \\ n\bar{p} & (p\bar{p} \text{ و } n\bar{n} ، \lambda\bar{\lambda}) & p\bar{n} \\ \lambda\bar{p} & & \lambda\bar{n} \end{array}$$

در اینجا، غیر از وضع در مرکز شش ضلعی، همه چیزساده است. متأسفانه باید ازتوضیح آن چشم بپوشیم. فقط می‌توان‌بطور مختصر گفت که مزونهای π° و η° (در مرکز شش‌ضلعی جا دارند) ترکیبهایی از جفتهای یکسان‌کوارك ـ آنتی‌کوارك هستند.

اما آیا کوارکها وجود دارند !

باری ، واقعاً می‌توان ذرات معلوم را از کوارکهاساخت. می‌توان، اگر... کوارکها به‌راستی وجود داشته باشند.

نظام جدید ذراتی که در تأثیرات متقابلهٔقوی شرکت‌می‌کنند وبراساس سوپر مولتیپلتهاقرار دارد، تا حدودی حقیقت رامنعکس می‌کند. پیشگویی ذرهٔ Ω^- هم تصادفی نبوده است. حتی اگر فردا ثابت شودکه‌کوارکها وجود ندارند و تعبیرکـوارکی نظام جدید ذرات با حقیقت وفق نمی‌دهـد، خط بطلان بر آنچه کسب شده است، نمی‌کشد.

www.takbook.com

هنوز هم درجستجوی کوارکها هستند . ابتدا به شدت ولی اکنون باحرارتی کمتر درجستجوی آنهاهستند. اما بهرحال جستجو ادامه دارد. ظاهراً بهتر است بگوییم نباید در جستجوی آنهاباشند بلکه باید آنها را در شتابدهنده‌ها بسازند. لکن هنوز موفق به ساختن آنها نشده‌اند. از قرار معلوم جرم سکون آنها خیلی زیاد است وقدرت شتابدهنده‌های امروزی کافی نیست.

شتابدهنده‌های خیلی قوی فعلاً دراختیار طبیعت است. بعضی ذرات اشعهٔ کیهانی دارای چنان انرژی عظیم هستند که می‌توانند کوارکهای آزادرا تولیدکنند، البته اگرکوارکها درطبیعت وجود داشته باشند. بنابراین کوارکها را باید در اتمسفرکرهٔ زمین و در آب اقیانوسها جستجوکرد. زیراکوارك دارای بارکسری مساوی با $\frac{1}{3}$ یا $\frac{2}{3}$ بارالکتریکی است وذرات باردار معمولی نمی‌توانندآن را بطورکامل خنثی کنند.

و. براگینسکی برای کشف کوارکها در دانشگاه مسکو آزمایشهایی جالب انجام داده است. این آزمایشهاکه از نظرایده به‌آزمایشهای معروف‌میلیکن[1] نزدیکند تا حال نتیجهٔ مثبت‌نداده‌اند.

دشواریها

باید گفت که باقبول مدل کوارکی ذراتی که در تأثیرات متقابلهٔ قوی شرکت دارند، همیشه اوضاع بروفق مراد نیست. مدلی که دربارهٔ آن صحبت کردیم‌مدل ذرات درحالت سکون‌بود . دراین‌مدل ذرات از کوارکها ساخته شده‌اند، درست مانند این که کودك برجی از مکعبها بسازد. اما

۱- Millikan

www.takbook.com

کوارکها حتماً حرکت می‌کنند و حرکت آنها نیز نمی‌تواند تأثیری در خواص ذرات حاصل نداشته باشد و ما هم این حرکت را در نظر نگرفته‌ایم.

آری نمی‌توانیم هم چنانکه باید و شاید در نظر بگیریم. زیرا دربارهٔ نیروهای مربوط به کوارکها عملاً هیچ چیز نمی‌دانیم. تنها می‌توان گفت که این نیروها عظیمند و گرنه شکافتن ذره به کوارکها دشوار نبود. گمان می‌رود که جرم کوارک ۷-۱۰ بار بیش از جرم نوکلئون باشد. به‌همین جهت در تشکیل پروتون از سه کوارک باید انرژی عظیم تقریباً معادل با ۳۰ برابر جرم سکون نوکلئون خارج شود. دانشمندان فعلاً باچنین تابش متمرکز انرژی روبرو نشده‌اند. از کوارک در نوکلئون فقط سایه‌ای رنگ‌پریده به‌جا می‌ماند. تمام بارهای آن محفوظ می‌ماند، اما تقریباً تمام جرم نابود می‌شود. به‌حد کافی غیرعادی است، با وجود این محال نیست.

www.takbook.com

نتیجه

پس ذرهٔ بنیادی چیست ؟ فصل اول کتاب نیز به همین مطلب اختصاص داده شده است. شاید مفید باشد هم اکنون باردیگر آن را بخوانید . مسلماً به‌فهم مطالب، بیشتر کمك خواهد کرد و بیشتر آگاهی خواهید یافت.

بسیاری چیزها دربارهٔ ذرات بنیادی هم اکنون بر ما روشن است . دربارهٔ خـواص ذرات بنیادی و قوانین رفتار آنها خیلی چیزها می‌دانیم . اما احساس کلی پس از خواندن کتاب احتمالاً همان‌است که پس از خواندن‌فصل اول دست می‌دهد. روشن‌نیست که ذرهٔ بنیادی چیست. فرضیه‌هایی گوناگون وجود داردکه همیشه باهم بخوبی‌توافق ندارند. باوجود این بعضی چیزها تاحدی‌درست می‌نماید. از آن جمله ممکن است تمام ذرات از ذرات بنیادی‌تر تشکیل یافته باشند. آری، بعضیها امکان دارد!

مسأله‌ای حل نشده باقی می‌ماند: آیا تمام ذرات کشف‌شده به‌یك اندازه بنیادیند؟ آیا دموکراسی کامل درجهان ذرات بنیادی حکمفرماست یا ذره‌های آریستوکرات ازنوع کوارکها، مدعیان منحصر به‌فرد مقام بنیادی وجود دارند؟

یك چیز روشن است: کوچکترین امید بـه شناسایـی تمام و

www.takbook.com

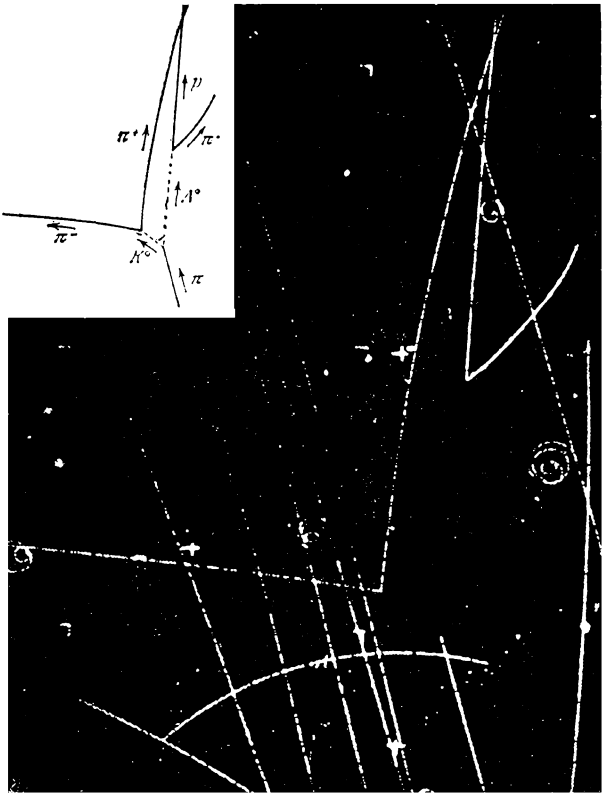
کمال یکی ازآنها وجود ندارد و روابط بین ذرات بنیادی چنان استوار است که هرذره را مـی‌توان یکـی از اجزای ذرات دیگر دانست.

پروتون را به‌عنوان نمونه درنظر می‌گیریم. این ذره به‌وسیلهٔ ابرمزونهای مجازی π و K احاطه‌شده‌است. مزونهای K که‌سنگین‌ترند، به مرکز هسته نزدیکترند و مزونهای π در نقاط دورافتاده‌تر قرار دارند. پس مـزونهای π و K از اجزای ساختمانی پـروتون هستند. اما نه‌تنها این‌ذرات بلکه تمام ذرات دیگر نیز در ساختمان پروتون دخالت دارند! فوتونهای مجازی هـم پروتون را احاطه کرده‌اند. این فوتونها می‌توانند جفت الکترون ـ پوزیترون را بـه وجودآورند ومزونها هم می‌توانند جفت نوکلئون‌ـآنتی‌نوکلئون، هیپرونهای عجیب و رزونانسها را تولیدکنند. پس تمام ذرات تـا حدی در «پوستین» پروتونی دخالت دارنـد و درخواص پـروتون تأثیر می‌کنند.

حلقه‌ای بسته به دست می‌آید: خواص یك ذره به وسیلهٔتمام ذرات دیگر معین می‌شود. آیا جایی ازاین حلقه باز می‌شود؟ آیا ذراتی وجود دارندکه تمام ذرات دیگر از آنها ساخته شده باشند؟ یاچنین ذراتی اصلاً وجود ندارند؟ فعلاً کسی نمی‌داند.

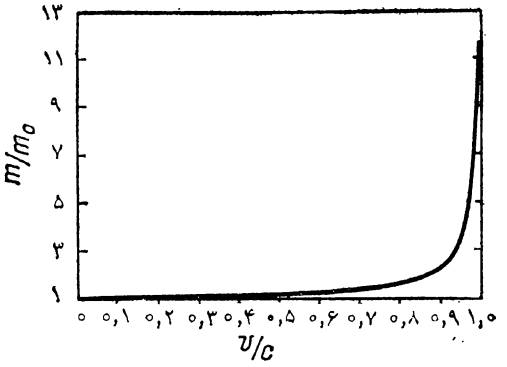
وضع در جهان ذرات بنیادی آنچنان حاد است که انتظار حل آن، هرچند بطور جزئی، طولانی نخواهد بود.

www.takbook.com

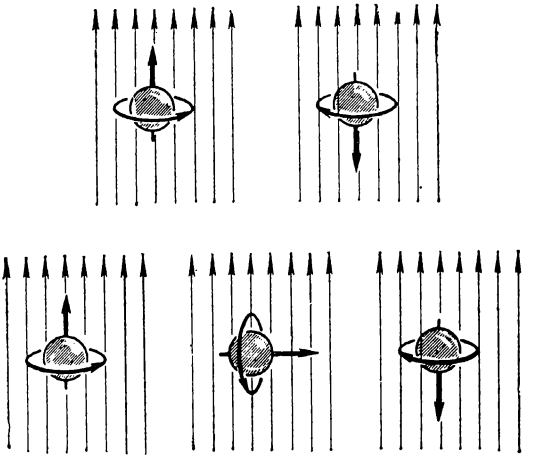


شکل ۹. تجزیهٔ دو ذرهٔ بنیادی درفرایندتأثیر متقابلهٔ ضعیف. تجزیه در اتاق حبابی ثبت شده است. پی- مزون منفی (π^-) انرژی زیاد که در بواترون سه دست آمده است، وارد اتاق‌می‌شود و با پروتون هیدروژن‌مایع برخورد می‌کند. دراین برخورد K ـ مزون خنثی(K°) و ذرهٔ لاندا (Λ°) تولید می‌شود. این ذرات بار ندارند و اثری از خود به جا نمی‌گذارند . K- مزون خنثی به π ـ مزون منفی‌و π ـ مزون مثبت، ذرهٔ لاندا به پروتون (P) و π ـ مزون منفی تجزیه می‌شود .

www.takbook.com

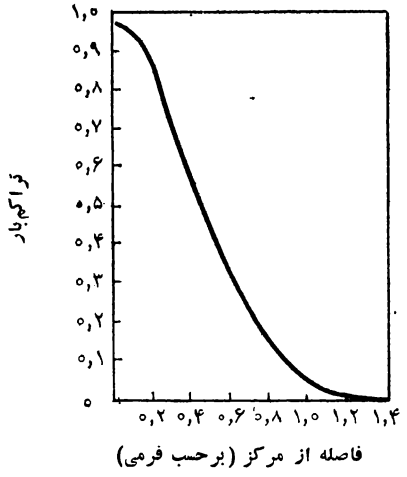


شکل ۲. افزایش جرم ذرهٔ متحرک با ازدیاد سرعت حرکت آن .

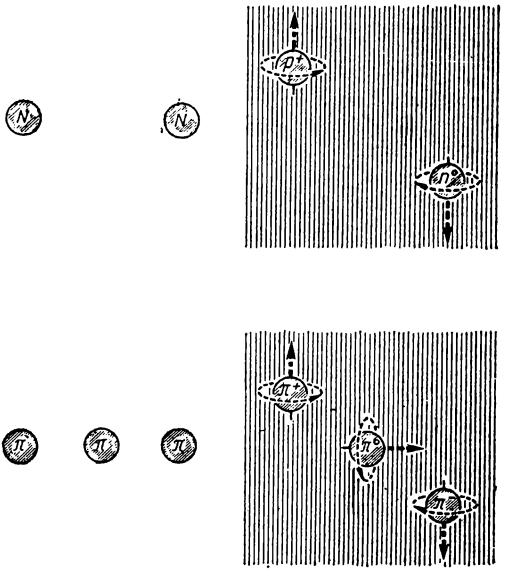


شکل ۳. ذره‌ای‌که می‌چرخد فقط اوضاعی معین را نسبت به میدان مغناطیسی خارجی می‌پذیرد. ذرات با اسپین $\frac{۱}{۲}$ (در بالا) طوری قرار می‌گیرند که اسپین در جهت میدان یاعکس میدان سمتگیری‌شده باشد. ذرات بااسپین۱ (در پائین) سه وضع‌ممکن دارند : سمتگیری اسپین در جهت میدان ، عمود بر میدان و عکس میدان .

www.takbook.com

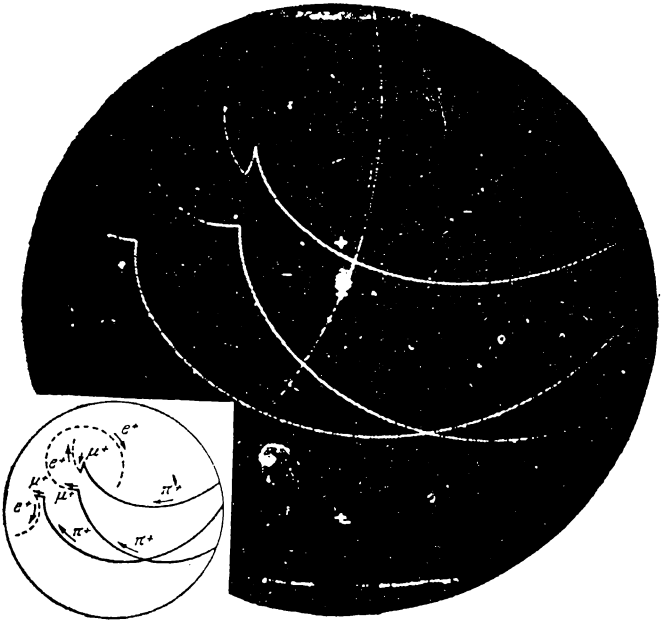


شکل ۴. تغییر تراکم بار پروتون برحسب دوری از مرکز (10^{-13}cm = یک فرمی)



شکل ۵. اوضاع مختلف ذره‌ها در نتیجهٔ تأثیر متقابله پیدا می‌شود. در فقدان تأثیر متقابلهٔ الکترومگنتیک تمام نوکلئونها مانند همهٔ پیونها غیر قابل تمیزند. اما اگر این تأثیرات متقابله در نظر گرفته شوند، اسپین ایزوتوپی نوکلئونها را به پروتون و نوترون، پیونها را به سه نوع متفاوت (از نظر بار) تقسیم می‌کند.

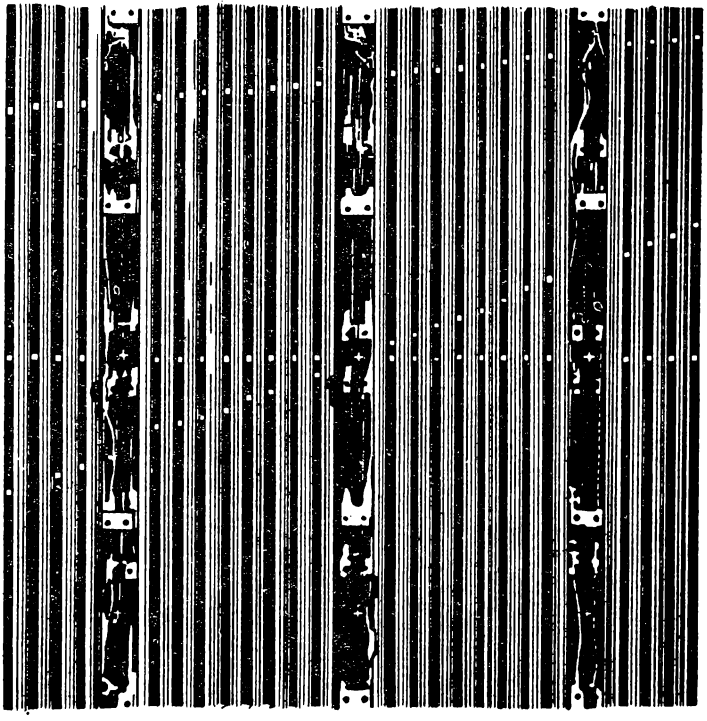
www.takbook.com



شکل ۶ . تجزیه π^- مزون و μ^- مزون در اتاق حبابی.

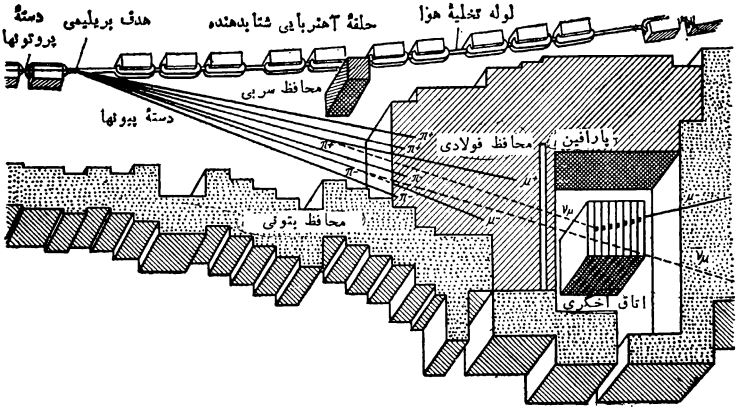
هریك از سه π مزون مثبت به‌میوئون مثبت و نوترینو تجزیه می‌شود. نوترینو اثری به‌جا نمی‌گذارد. اما میوئونها به‌صورت مسیرهای کوتاه ثبت می‌شوند. سپس هریك ازمیوئونها به پوزیترون ، نوترینو وآنتی نوترینو تجزیه می‌شود. تنها پوزیترون اثری به‌جا می‌گذارد .

www.takbook.com



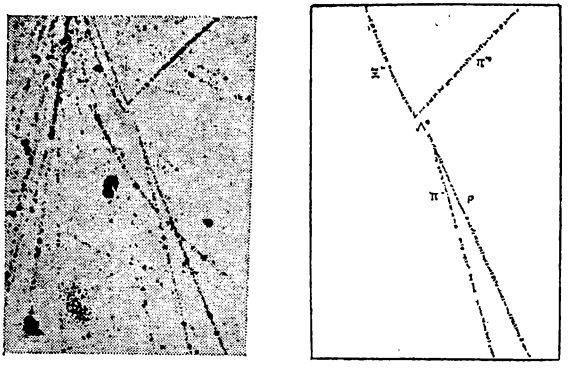
شکل ۷. رد ذراتی که به وسیله بوترینو در اتاق اختگری تولید شده است.

www.takbook.com



شکل ۸. طرح آزمایش کشف دو نوع نوترینو .

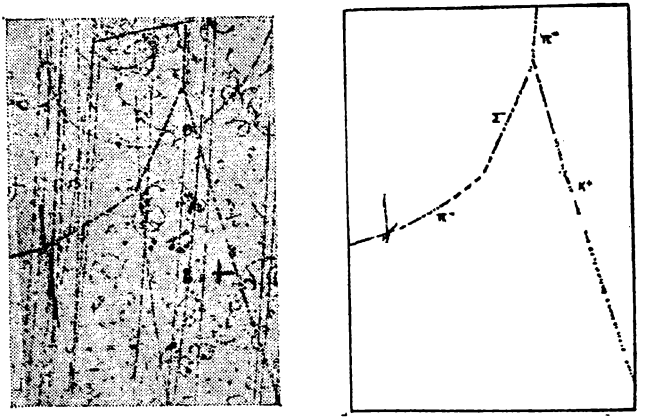
دسته پروتونها با انرژی پانزده میلیارد الکترون ولت به سوی هدف بریلیمی فرستاده شد. براثر برخورد با هدف، دستهٔ قوی پیونها به وجود آمد. در حدوده درصد پیونها قبل از داخل شدن در دیواری به ضخامت ۱۳/۵ متر به میوئونها و نوترینوها تجزیه شدند. پیونها ومیوئونها در دیوار باقی ماندند، اما نوترینوها به آسانی از دیوار گذشتند و وارد اتاق اخگری شدند. بر اثر پیدایش میوئونها (مسیر خط نقطه چین) که در نتیجهٔ تأثیرات متقابلهٔ نوترینوها یا آنتی‌نوترینوها به وجود آمده بودند، اتاق «به کار افتاد».



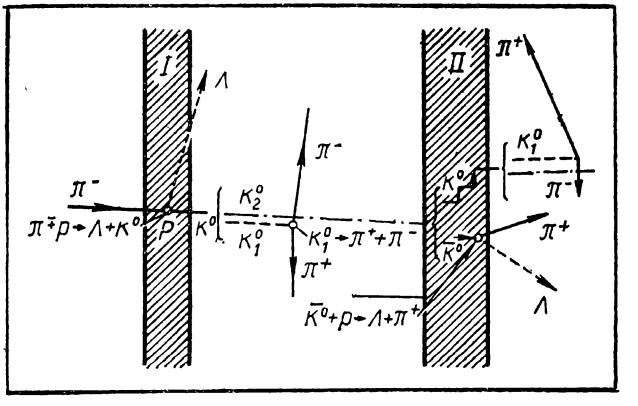
شکل ۹. نمونهٔ تجزیهٔ ذرات عجیب .

ذرهٔ منفی Ξ به‌ذرهٔ خنثی Λ° و پیون منفی تجزیه می‌شود . سپس ذرهٔ Λ° به پروتون و پیون منفی دیگر تجزیه می‌شود .

www.takbook.com

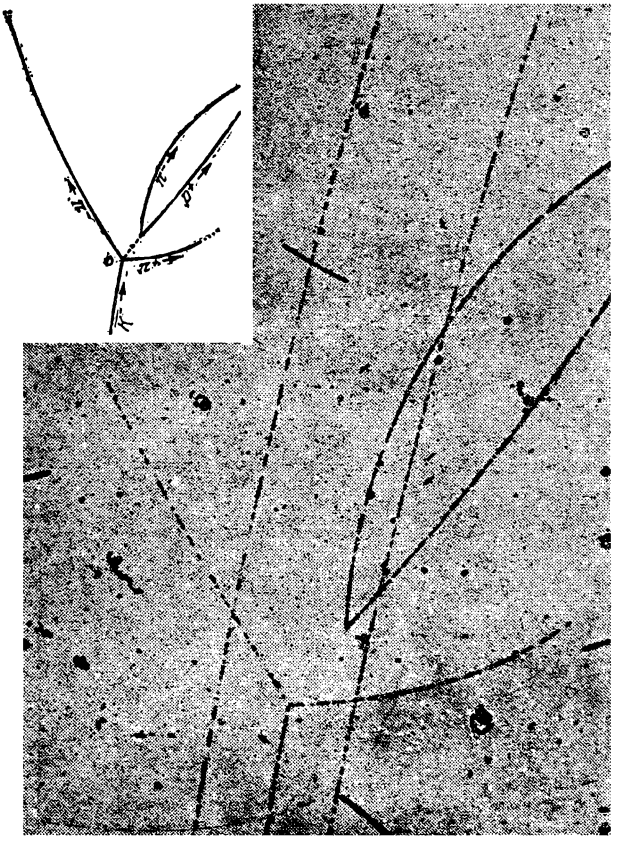


شکل ۱۰. پیدایش همزمان ذرات عجیب .
وقتی‌که پیون دراتاق حبابی با پروتون برخوردکرد ، ذرات Σ^- و K^+ همزمان تشکیل شدند . سپس ذرهٔ Σ^- به پیون و نوترون نامرئی تجزیه شد .



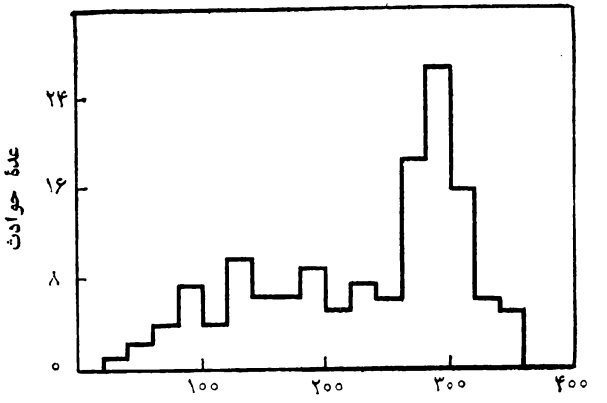
شکل ۱۱. طرح پیدایش وتجزیهٔ مزونهای خنثی K.

www.takbook.com

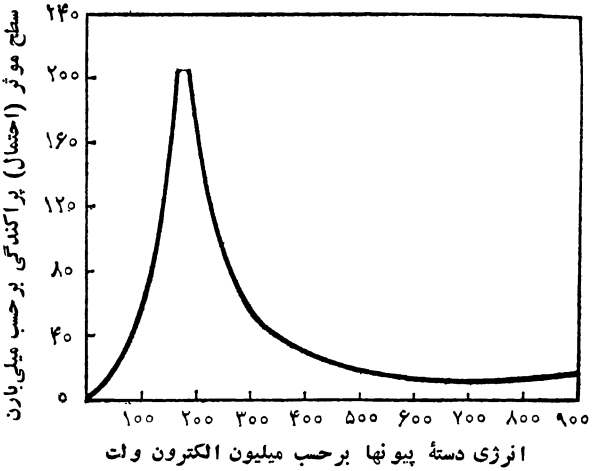


شکل۱۲. در برخورد K^- مزون‌منفی با پروتون در اتاق حبابی (در نقطهٔ o) رزونانس Y^* و پیون منفی (π^-) تشکیل می‌شود. ذرهٔ Y^* قبل از اینکه بتواند مسیری به جا گذارد، به‌ذرهٔ Λ° که مسیری بـه جا نمی‌گذارد (خط نقطه چین) و پیون مثبت (π^+) تجزیه می‌شود. ذرهٔ Λ° به‌نوبهٔ خود به پروتون و پیون منفی (π^-) تجزیه می‌شود.

www.takbook.com



شکل ۱۳. کشف ذره ـ رزونانس از روی نمودار رابطهٔ عدهٔ ذرات π ـ مزون با انرژی.



شکل ۱۴. رزونانس پیون ـ پروتونی . سطح مؤثر یـا احتمال پراکندگی پیون مثبت روی پروتونها که بر حسب میلی‌بارن[1] اندازه‌گیری شده است ، بشدت افزایش می‌یابد و از حدود ۱۰۰Mev به حداکثر ۱۹۵Mev می‌رسد وسپس تقریبا بهمان شکل بشدت کاهش می‌یابد .

۱ـ بارن (barn) واحد سطح مؤثر فرایندهای هسته‌ای است. یك بارن مساوی با $۱۰^{-۲۴}cm^{۲}$ است .

www.takbook.com

امیرکبیر منتشر کرده است :

درقلمرو ریاضیات
الکساندر پترویچ دوموریاد
ترجمهٔ پرویز شهریاری

مؤلف کوشیده است تامسائل سادهٔ مربوط به‌بازیها، سرگرمیها ونقشه‌هارا از دیدگاه ریاضی بررسی کند وخواننده را وادارد تا به‌پیرامون خود ازنظرگاهی علمی بنگرد و ایـن توانایی را به‌دست آورد کـه از هـر مطلب ساده‌ای، مسأله‌ای ریاضی بسازد.

درپی فیثاغورث
شه‌پان ـ النسکی
ترجمهٔ پرویز شهریاری

این کتاب به‌افتخار ریاضیدان بزرگ وآفرینندهٔ مکتب ریاضی، در پی فیثاغورث نام گرفته‌است. کتاب سرشار ازچیستانهای هیجان‌انگیزریاضی و کشف دلپذیر آنها است، که در دو فصل بزرگ شکل می‌گیرد. درپی فیثاغورث نگرش تاریخی به روند دلپذیر تاریخ ریاضی‌است، ازاینرو سوای دانشجویان رشتهٔ ریاضی، بسیاری نیزاز مطالعهٔ آن لذت می‌برند. درپی فیثاغورث کتابی است که هنوز همتایی در زمینهٔ کتابی از ایندست نیافته ست.

www.takbook.com

تقارن در هندسه و جبر
ترجمهٔ پرویزشهریاری

درونمایهٔ گفتارهای کتاب حاضررا می‌باید به‌عنوان مدخلی برای ورود به تقارن برداشت کرد. سه مقاله‌ای که در این کتاب آمده از نشریهٔ مشهور ریاضیات دردبیرستان چاپ اتحاد شوروی سالهای ۴-۱۹۶۳ برگردانده شده است. مترجم درگوشه‌ای‌ازپیشگفتارمی‌نویسد: «دربارهٔ تقارن، مطالب بسیار می‌توان گفت وابتدا نظرم براین بودکه باتوجه به یادداشتهای متعددی‌که دراین زمینه فراهم‌آورده بودم. مشروحتر بحث شود ولی‌موقع تنظیم دریغم آمدکه قالب این مقالات‌را برهم بزنم، زیرا این‌مقالات به‌همین صورت خود می‌تواند مورد استفادهٔ خاص دانش‌آموزان ودانشجویان واقع شود.»

سرگرمیهای فیزیك (دوجلد)
ای. پرلمان
ترجمهٔ مهندس احمد تمدن

پرلمان، در این کتاب برآن است تا بـه بازآفرینی آنچه کـه از فیزیك فرا گرفته‌ایم، یاری دهد. نه‌آنکه به‌دانسته‌های ما دربارهٔ فیزیك مسألهٔ تازه‌ای بیفزاید، به‌زبـانی روشنتر، نویسنده سعی دارد، گـردزدایی و غبارروبی‌ای بکند از فراگرفته‌های مـا درقلمرو مبانی علم فیزیك وهم‌آموزشی دگرباره به‌خاطر احیاء آنها، واینکه چگونه به‌شکلهای گونه‌گون، آنرا به‌کاربریم. پرلمان باکشش وشیرینی افسانه‌های علمی نویسندگان خیالپردازی همچون ژول‌ورن، جی. اچ. ولز و مارك‌تواین، به‌چیستانها، مطالب شگفت‌انگیز، داستانها، تجربیات سرگرم‌کننده، حقایق باورنکردنـی و مقایسه‌های خلاف انتظاری‌کـه همگی وابسته به «فیزیك» و متکی به‌رخ‌نمودهـای روزانه و افسانه‌های علمی است دست یازیده واعتقاد داردکه افسانه‌های علمی برای کتابهایی از این‌گونه بسیار شایسته‌اند.
سرگرمیهای فیزیك نخستین بار در اوایل این قرن نوشته شد و ازآن پس هر بارکه کتاب چاپ تازه‌ای‌یافت، پرلمان پی‌جویانه و با الهام‌ازپیشرفتهای فیزیك مدرن، دستکاریهایی درآن‌کرده است.

www.takbook.com

تفریحات ریاضی
مارتین گاردنر
ترجمهٔ مهندس هرمزشهریاری

تبدیل اشکال هندسی ومسألهٔابوالوفا تردستی بانخ وآزاد کردن قیچی بدون بریدن نخ/منحنی‌های متساوی‌العرض‌ومته‌ای‌که سوراخ‌چهارگوش‌می‌سازد / شعبده‌بازی وحیله‌های ریاضی ورق/چند مسألهٔ توپولوژی وبطری بی‌پشت‌و رو گلین وآشنایی باپارادکس وتخم مرغی‌که نباید باشد ولی هست، مباحث جالب این‌کتاب است.

جادوی اعداد
سیدنی ه. لمب
ترجمهٔ جلال تقی‌زاده ـ هوشنگ جوزوی

این‌کتاب‌را درسری (کتابهای‌سیمرغ) منتشر کرده‌ایم. جادوی اعداد مجموعهٔ جالبی است از رازها، بازیها و نیرنگهای ریاضی و بخوبی قابلیت اعداد و مفاهیم نمادی وسمبلیك آنها را درتعیین مشخصات دقیق بیان می‌کند. کتاب، می‌تواند بویژه برای دوستداران ریاضی و تمرین ذهنی وبرای ورزیدگی در تحلیلهای ریاضی کمك بسزایی باشد.

دورهٔ اختصاصی جبر مقدماتی
سرگی ایوسیفوویچ نووسلو
ترجمهٔ پرویز شهریاری

کتاب حاضر در اصل، برای‌کلاسهای «تربیت معلم» نوشته شده است و به همین مناسبت‌کوشش شده است تا مطالب، دقیق وبدون ابهام باشد و از هرگونه بی‌دقتی معمول کتابهای درسی پرهیز شود. از این روی، افزون برآنکه دانش‌آموزان ودانشجویان دوستدار ریاضیات ازاین‌کتاب بهرهٔ فراوان می‌برند، بیش ازهمه می‌تواند «کتاب دستی» هر معلم ریاضی باشد و درکار پرزحمت تدریس ریاضی دبیرستان راهنمای همیشگی او.

www.takbook.com

سرگرمیهای جبر
یا. ای. پرلمان
ترجمهٔ پرویز شهریاری

مؤلف درمقدمهٔ کتاب می‌نویسد: «نبایداین کتاب‌را به‌عنوان کتاب درسی ساده‌شده‌ای ازجبر نگاه کرد. کتاب سرگرمیهای جبر هم‌مثل سایر نوشته‌های من‌نه بخاطرمطالعهٔ درسی، بلکه برای‌مطالعهٔ آزاد تهیه شده‌است. برای‌این کتاب خواننده‌ای درنظر گرفته شده است‌که ـ ولو بطور مبهم و یا نیمه‌فراموش‌شده هم باشد ـ با بعضی ازمفاهیم جبر آشنایی داشته باشد.
سرگرمیهای جبر تلاش می‌کند تا این تزلزلهای فکری را استواری بخشد و اطلاعات پراکنده وناهمواری راکه درذهن وجود دارد جان دهد ومنظم‌کند. وازآن مهمتررغبت مطالعهٔ مطالب جبررا درخواننده برانگیزد واورابه‌سوی تکمیل آنچه درکتابهای درسی وجود ندارد رهنمون شود. برخلاف کتابهایی ازاین‌گونه، که فرض را برعدم اطلاع خواننده از مقدمات ریاضی می‌گیرد؛ کتاب سرگرمیهای جبر بخصوص متوجه این است که اطلاعات ریاضی دبیرستانی‌را استحکام بخشد وقدرت‌کارخواننده را درآن زمینه توسعه دهد.»

فهرست سالانهٔ انتشارات خود را به‌تازگی منتشرکرده‌ایم.
علاقه‌مندان می‌توانند به نشانی «خیابان سعدی شمالی ـ نبش فرهاد ـ شمارهٔ ۲۳۵ ـ دایرهٔ روابط عمومی مؤسسهٔ انتشارات امیرکبیر» برای ما نامه بنویسند تا فهرست را ـ به رایگان ـ برای ایشان بفرستیم.

کتابخانه مجازی ریاضیات

www.takbook.com

این کتاب به‌سرمایهٔ مؤسسهٔ انتشارات امیرکبیر به‌چاپ رسیده‌است