

ذرات بنیادی

گ. یا. میاکیشف

ترجمه باقر منطفرزاده

۷۴



ک. یا. میاکیشف



۷۴

ذرات بنیادی

ترجمة باقر مظفرزاده



مجموعه کتابهای علمی، تاریخی و فلسفی

میاکیشف، س. یا.

ذرات بنیادی

ترجمه باقر مظفرزاده

چاپ اول : ۱۳۵۳

چاپ : چاپخانه نقش جهان - تهران

شماره ثبت کتابخانه ملی: ۴۶۴-۱۳۵۳/۴/۲۹

حق چاپ محفوظ است.

هدف این کتاب نه تنها ایجاد تصورات اولیه درباره دنیای ذرات بنیادی است، بلکه ایجاد این امکان است که محیط دشوار و سرشار از کشفیات غیر منتظره و فرضیات جسورانه که فیزیکدانان در آن به مطالعه ذرات بنیادی می‌پردازند، احساس شود.

واقعیت مسلم در فیزیک ذرات بنیادی قابلیت تبدیل متقابل آنها به یکدیگر است. جای عمده در کتاب به شرح تأثیرات متقابلة ضعیف، هسته‌ای و الکترومagnetیک که این تبدیلات را به وجود می‌آورند، اختصاص دارد. هرچه بر طبق قوانین بقا مجاز است به همراه ذرات بنیادی می‌تواند روی دهد و به راستی هم روی می‌دهد. به همین جهت جایی عمده نیز به شرح قوانین بقا اختصاص داده شده است.

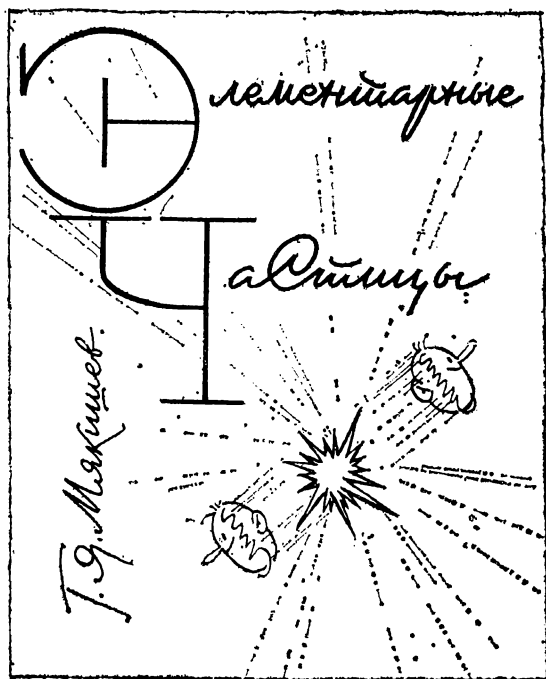
پدیده‌هایی که در دنیای مُخرد روی می‌دهد فقط بر اساس تئوریهای بزرگ قرن بیستم: تئوریهای نسبیت و مکانیک کوانتومی قابل فهم است. به اصول این تئوریا نیز توجه لازم شده است.

پس از مطالعه این کتاب ممکن نیست تصویری کاملاً روشن درباره ذرات بنیادی پیدا کرد. فعلاً کسی نمی‌داند که ذرات بنیادی چیست. اما در این کتاب اطلاعاتی درباره خواص ذراتی که نام بنیادی یافته‌اند و درباره طبقه‌بندی امروزی ذرات بنیادی می‌توان یافت. طبقه‌بندی ذرات بنیادی در حال حاضر به آن سطح عالی علمی رسیده است که امکان می‌دهد ذرات جدید را قبل از آنکه از راه آزمایش کشف شوند، پیشگویی کرد.

بالاخره از دشواریهایی که در راه ایجاد تئوری ذرات بنیادی و از مسائلی که در مقابل دانشمندان، قد علم می‌کنند، سخن رفته است.

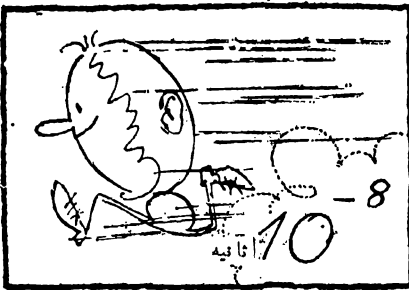
ذرات بنیادی





فصل یکم

مقدمه، اما مهمترین و
شاید هم دشوارترین



جز يك سفیدی
در آن نشانه‌ای از صا و نیست .

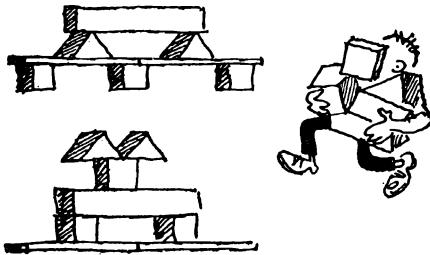
اویدیوس^۱
«دگرگونیا»

تبدیلات، تبدیلات، تبدیلات،
شاخه‌های بی‌برگ ناگهان جان می‌گیرند و
تبدیلات .
پس از چند روز برگهای چسبناك بهاری بر آنها
سبز می‌شوند.

کمی بعد کرم چاق چلمن به پروانه‌ای ظریف تبدیل می‌شود.

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

پس از چند سال پسر بچه مردی با وقار می شود.
چوب خشك در آتش در عرض چند دقیقه نابود می شود و
مشتی خاکستر بر جا می ماند، دفترچه های تمیز و مرتب پس از چند
روز یا چند هفته به صورت برگه هایی کهنه در می آیند. با گذشت
زمان تغییراتی در مغز پیدا می شود - بیشتر می داند.
تبدیلات در محیط ما با خود ما صورت می گیرد، بعضی
تبدیلات مانند انفجار بمب در يك لحظه صورت می گیرد: بعضی
دیگر مانند تشکیل کره زمین، سیارات و ستارگان هزاران یا حتی
میلیونها و میلیارد ها سال طول می کشد.
تبدیلاتی خارق العاده نیز حداقل در افسانه ها وجود دارد.
پسرك از جای مُسم آب نوشید و به برك تغییر صورت داد. دختر زیبا
به اراده جادوگر کین توز به قورباغه سبزرنگ تبدیل شد. افسانه هایی
دیگر نیز وجود دارد که پر از این گونه حوادث است.



این تبدیلات در اصل نظیر تبدیل
خانه عروسی متشکل از مکعبهای
چوبی به پل راه آهن متشکل از همان
مکعبهاست، با این تفاوت که مکعبها
به شکلی دیگر قرار گرفته اند.

اینها تبدیلات، هست ولی البته تبدیلات کاملاً حقیقی نیست.
این تبدیلات در اصل نظیر تبدیل خانه عروسی متشکل از
مکعبهای چوبی به پل راه آهن متشکل از همان مکعبهاست، با این
تفاوت که مکعبها به شکلی دیگر قرار گرفته اند و بعلاوه ممکن است

عده آنها نیز کمتر یا بیشتر باشد.

تبدیلاتی که در باره آنها صحبت کردیم و زندگی شما و زندگی جهان نیز شامل آنهاست، تقریباً به طور کامل عبارت از تشکیل ترکیبات جدید از يك گروه «مکعبها»ست. در این تبدیلات خود این «مکعبها» تغییری پیدا نمی کنند. قبلاً این «مکعبها»ی غیر قابل تغییر را که بینهایت سخت تر از اجسامی هستند که از آنها تشکیل یافته اند، اتم به حساب می آوردند. سپس «مکعبها»ی اولیه جهان را اجزای اتم پنداشتند و به آنها نام ذرات بنیادی دادند.

تشکیل ترکیب جدید از ذرات موجود چنین است مفهوم تبدیلات معمولی. البته تفاوت پروانه از کرم خیلی بیشتر از تفاوت دو ساختمان از يك دسته مکعب است. با وجود این در هر دو جا ترکیبی جدید از ذرات پیشین داریم. حتی تبدیلات افسانه ای نیز با قانون اساسی طبیعت تضادی ندارند. از اتمهای تشکیل دهنده پسرک در اصل می توان بزرگ را ساخت، تازه چیزی هم باقی می ماند. در این عمل به هیچیک از قوانین اساسی طبیعت لطمه ای وارد نمی شود. آخر خود طبیعت هم توانسته است از آب، گازها و مواد معدنی در غایت امر موجود زنده و انسان را بسازد.

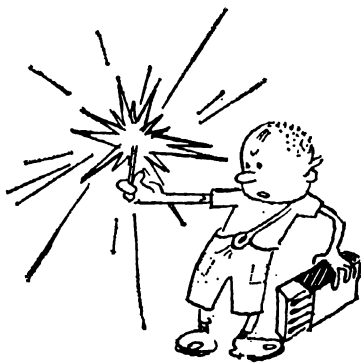
آیا ممکن است تغییر خود «مکعبها» صورت
تبدیلات حقیقی گیرد اما تبدیلات حقیقی اصلاً روی ندهد بلکه

جایجایی پیچیده تر سازمانهای موجود صورت گیرد؟

نه، باز هم نه! شما چوب کبریت را آتش زدید و آن هم شعله ور شد. اینجا است که تبدیل حقیقی ماده نیز صورت می گیرد.

البته این به آن معنی نیست که کبریت نابود می شود. اتمهای کربن بامولکولهای اکسیژن هوا پیوند می یابند و مولکولهای گاز کربنیک، یعنی شکل جدید ماده پیشین را به وجود می آورند.

مطلب در این است که شما نور دیدید! پیش از این نور به هیچ شکلی در چوب کبریت نبود. نور در لحظه ای به وجود آمد که 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 چوب کبریت را آتش زدید و آن هم شعله ور شد. اینجاست که تبدیل حقیقی ماده نیز صورت می گیرد.

نظیر این تبدیلات یعنی به وجود آمدن ذرات بنیادی جدید تنها بر اثر تابش نور به وجود نمی آید. جهان پر از تبدیلات ذرات بنیادی است و بدون این تبدیلات نیز نمی توانست در وضع امروزی وجود داشته باشد. اما تقریباً در همه موارد، بجز تابش نور، این تبدیلات در اعماق مواد پنهان شده است و مستقیماً نمی توان آنها را مشاهده کرد.

وقتی که دموکریت^۱ به ساده ترین ذرات که ذره بنیادی... قابل تقسیم به ذرات دیگر نیستند، اتم نام داد به راستی یعنی چه؟ (کلمه «اتم» به معنای غیر قابل تقسیم است)، احتمالاً تصور می کرد که می داند چه می کند. همه چیز در اصل پیچیده به نظر نمی آمد. اشیای گوناگون، گیاهان، حیوانات از ذرات غیر قابل تقسیم و غیر قابل تغییر ساخته شده اند. تبدیلاتی که در جهان مشاهده می شود، جا بجایی ساده اتمهاست. همه چیز در جهان جریان دارد، تغییر می یابد، غیر از خود اتمها که هستی پایدار دارند.

این تابلوی موزون تا کشف ساختمان پیچیده اتمها بدون تغییر باقی ماند. در آخر قرن ۱۹ یکی از اجزای سازنده اتم- الکترون را مشخص کردند. سپس در قرن بیستم دو ذره دیگر- پروتون و نوترون کشف شد. در آغاز همه این ذرات را درست همانطور که دموکریت در مورد اتمها می پنداشت، جوهر بنیادی غیر قابل تغییر و غیر قابل تقسیم، مصالح اساسی جهان می دانستند.

لکن این وضع تابناک دلربا طولانی نبود. همه چیز به طور قابل ملاحظه پیچیده تر شد. ذرات غیر قابل تغییر اصلاً وجود ندارند. بعلاوه اکنون معلوم نیست که به چه ذراتی در حقیقت می توان نام بنیادی داد. همچنین معیاری را نیز نمی شناسیم تا از روی آن بتوان به ذره ای نسبت بنیادی داد.

بعضی از فیزیکدانان به حق می گویند که در کلمه « بنیادی »

ابهامی مفتون‌کننده وجود دارد. از طرفی معنی بنیادی خود به خود معلوم است - ساده‌ترین. شرلوك هلمس دوست داشت خطاب به دکتر واتسون فریاد بزند «این ساده است». از طرف دیگر «بنیادی» به چیزی آن چنان اساسی نسبت داده می‌شود که اصلاً تاکنون بر کسی روشن نشده است.

البته ممکن است به زودی شرلوك هلمس جدید جهان ذرات مُخرد ظهور کند و ماهیت ذرات بنیادی مانند نژاد سگ و وحشتناک با سکرویل بر وی روشن گردد، ولی هنوز این زمان فرا نرسیده است.

ذرات بنیادی معلوم امروزی را نباید مانند
در زیر ماه هیچ چیز ابدی نیست
 اتمهای غیر قابل تغییر دموکریست دانست و باید این حقیقت را در نظر داشت که حتی یکی از این ذرات نیز فنا ناپذیر نیستند. اکثر این ذرات خود به خود و بدون هیچ نیروی خارجی نمی‌توانند بیش از دو میلیونیم ثانیه به زندگی خود ادامه دهند. عمر نوترون آزاد ۱۷ دقیقه است. فقط هریک از چهار ذره: فوتون، نوترینو، الکترون و پروتون اگر به تنهایی در تمام جهان بودند، می‌توانستند پایداری خود را حفظ کنند. الکترون و پروتون رقبایی خطرناک مانند پوزیترون و آنتی پروتون دارند که بر اثر برخورد با رقیب خود و رقیب هردو نابود می‌شوند. فوتون که از چراغ رومیزی شما می‌تابد بیش از 10^{-8} ثانیه عمر ندارد. این همان مدتی است که لازم است تا به صفحات کتاب برسد و به وسیله کاغذ جذب شود. تنها نوترینو به سبب بی تفاوتی بی اندازه خود نسبت به تمام

ذرات، تقریباً پایدار است. اما نوترینو هم بر اثر برخورد با سایر ذرات نابود می‌شود، هرچند که چنین برخوردهایی به ندرت روی می‌دهد.

به این ترتیب در کوشش ابدی برای یافتن تغییرپذیری در جهان تغییرپذیر، دانشمندان به مثابه بنایی از سنگ خارا در میان شن روان هستند. همه ذرات بنیادی به یکدیگر تبدیل می‌شوند و این تبدیلات متقابل حقیقت بزرگ وجود آنهاست.

آیا ممکن است ذراتی کوچکتر از این ذرات
آیا در درون ذرات هم وجود داشته باشند؟ آیا ممکن است ذرات بنیادی ذراتی کوچکتر هست؟

مواد که بشر به آن دسترسی یافته است، باشند؟
 بعدها بشر موفق خواهد شد که به سطحی عمیقتر برسد و ذرات بنیادی همچون اتمهای امروزی به حساب آیند. بالاخره دیر یا زود بعضی ذرات غیر قابل تغییر سازنده مواد پیدا خواهد شد.

مگر طبیعت طور دیگری ساخته شده باشد: ماده تا بینهایت قابل تقسیم است و بشر بیش از پیش ذراتی خرد می‌یابد که هرگز به آخر نمی‌رسد!

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

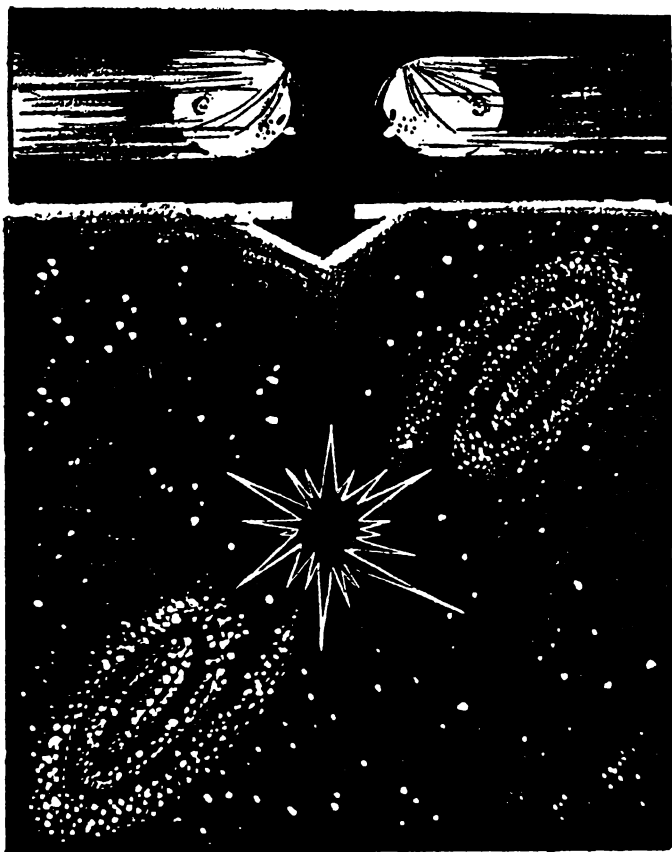
ماد دیگر به اساس ساختمان ماده رسیده ایم اما این اساس در قید تغییر ناپذیری دایمی نیست، لاینقطع تغییر قیافه می‌دهد و به غایت

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

اما مسأله‌ای که ما را به تفکر وامی‌دارد. فرض **جهان از دو ذره** کنیم این میل طبیعی در ما پیدا شود که تحقیق کنیم آیا مثلاً الکترون از ذراتی کوچکتر تشکیل نشده است؟ چه کاری باید کرد تا الکترون تجزیه شود؟ فقط يك راه به نظر می‌رسد. این همان راهی است که بچه‌ها وقتی می‌خواهند بدانند داخل اسباب بازی پلاستیکی چه چیز قرار دارد، به آن متوسل می‌شوند - ضربه شدید.

بدیهی است که نمی‌توان با چکش به الکترون ضربه وارد کرد. برای این کار الکترونی دیگر که با سرعتی فوق‌العاده در حرکت است و با ذره بنیادی دیگر که با سرعتی زیاد حرکت می‌کند، لازم است. امروز شتاب دهنده‌هایی ساخته شده است که به الکترون‌ها و پروتون‌ها سرعتی نزدیک به سرعت حداکثر که در طبیعت امکان دارد، یعنی سرعت نور، می‌دهند.

بر اثر برخورد ذرات دارای انرژی فوق‌العاده چه روی دهد؟ این ذرات ابداً به چیزهایی که بتوان به آنها نام اجزای تشکیل دهنده را داد، تجزیه نمی‌شوند، بلکه ذراتی جدید تولید می‌شوند، همانهایی که مدتهاست در فهرست ذرات بنیادی شرکت دارند. هرچه انرژی ذراتی که باهم برخورد می‌کنند، بیشتر باشد، ذرات بیشتر و بعلاوه سنگینتر به وجود می‌آیند. علت آن است که بر اثر افزایش سرعت، جرم ذرات نیز افزایش می‌یابد. فقط از يك جفت



می‌توان تصویری خیالی را مجسم کرد: بر اثر برخورد دو ذره فوق‌العاده نیرومند
جهانهای کامل به وجود می‌آیند و سپس ستارگان و کهکشانها از آنها پیدا می‌شوند.

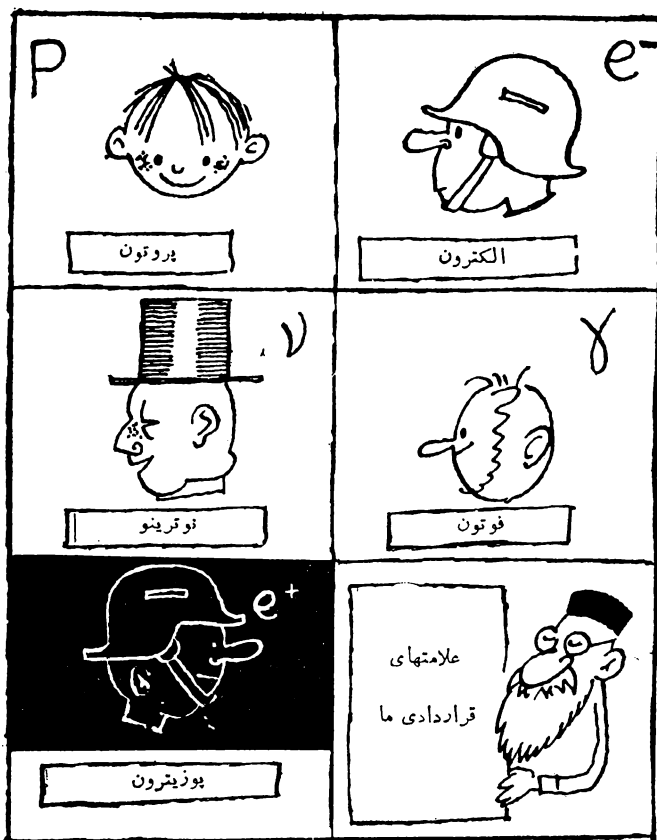
هر ذره‌ای، با بالا رفتن جرم، می‌توان همه ذراتی را که در جدول
ذرات بنیادی امروزی قرار دارند، به دست آورد.

می‌توان حتی تصویری خیالی، اما کاملاً مطابق با قوانین
شناخته شده طبیعت را مجسم کرد: بر اثر برخورد دو ذره فوق‌العاده
نیرومند جهانهای کامل به وجود می‌آیند و سپس ستارگان و

کهکشانشانها از آنها پیدا می‌شوند. البته اتفاق می‌افتد که يك ذره کیهانی رگباری از ذرات به وجود می‌آورد که عده آنها به صدها میلیون می‌رسد و چندین کیلومتر مربع سطح کره زمین را فرا می‌گیرد. ممکن است که بر اثر برخورد ذرات با انرژی که هم اکنون به آن دسترسی نداریم، ذراتی جدید که هنوز بر ما معلوم نیستند، به وجود آیند. اما در اصل موضوع تغییری حاصل نمی‌شود. ذرات جدید تولید شده بر اثر برخورد را نباید اجزای تشکیل دهنده ذره - مادر به حساب آورد. زیرا اگر به دو ذره - دختر شتاب دهیم، این ذرات بدون تغییر طبیعت خود، فقط با افزایش جرم، به نوبه خود می‌توانند یکباره چند ذره، درست همانهایی که خود از آنها به وجود آمده‌اند و عده‌ای زیادی ذرات دیگر را نیز به وجود آورند.

عده قریب به اتفاق ذرات بنیادی خود به خود تجزیه به A و B تجزیه می‌شوند. اما این دلیل آن نیست که به معنی تشکیل شدن تصور کنیم آنها از محصولات تجزیه خود تشکیل از A و B نیست. یافته‌اند. رابطه ذرات - اولاد با ذره - جدشبهه رابطه گلدان شکسته با تمام ظرف نیست.

مثلاً نوترون را در نظر می‌گیریم. عمر نوترون آزاد به طور متوسط ۱۷ دقیقه است و پس از آن به پروتون، الکترون و آنتی - نوترینو تجزیه می‌شود. اما آشکارا می‌توان گفت که در اینجا خلق ذرات جدید داریم نه تجزیه دستگاه مرکب به اجزای تشکیل دهنده آن. آنتی نوترینو مانند فوتون اصلاً می‌تواند فقط در حال حرکت به خط مستقیم با سرعت نور وجود داشته باشد و به همین جهت نمی‌



در این جدول کوچک ذرات بنیادی نمی‌توان در پی مشابَهت واقعی بود. ما این علائم شرطی را در ردیف علائم شرطی دیگر مورد استفاده قرار می‌دهیم.

تواند در نوترون مانند گنجشک در قفس یا سنجاب در چرخ نگهداری شود. پروتون و الکترون می‌توانند در حقیقت دستگاهی خاص را تشکیل دهند که به خوبی شناخته شده است - هیدروژن. بعدها خواهیم دانست که الکترون نمی‌تواند در درون پروتون قرار گیرد و نوترون را تشکیل دهد.

سایر ذرات نیز دارای وضعی مشابه هستند و فقط در فاصله زمانی معینی وجود دارند. تجزیه ذره در اصل نشانه بنیادی نبودن آن نیست. نوترون، بدون توجه به ناپایداری آن، ذره بنیادی محسوب می شود ولی هسته اتم هیدروژن سنگین- دوتون، بی هیچ شک و شبهه ای از نوترون و پروتون ساخته شده است، هرچند که کاملاً پایدار است.

نابودی بعضی ذرات و پیدایش سایر ذرات در واکنشهای بین ذرات بنیادی البته تبدیل است، اما نه به سادگی پیدایش ترکیبی از خرده های تشکیل دهنده ذرات پیشین. در این مورد برخورد ذره با ضد ذره یعنی ذره شبیه ولی مخالف خود مانند الکترون با پوزیترون مثالی مناسب است. هر دو ذره در حالت سکون دارای جرم معین، بار الکتریکی و مشخصات دیگر هستند. اما الکترون و پوزیترون پس از برخورد نابود می شوند و دو فوتون به وجود می آید. فوتونها بار ندارند و دارای جرم در حالت سکون نیز نیستند، زیرا در حالت سکون وجود ندارند.

باری، مجموعه تمام حقایق گواه بر آن است

**اشکال ممکن
وجود ماده**

که نمی توان بر اثر برخورد ها فوق ذره هایی (مانند اجزای تشکیل دهنده الکترون) را

جدا کرد. همچنین دلیلی وجود ندارد که محصولات تجزیه ذرات ناپایدار را اجزای تشکیل دهنده آنها بپنداریم. آزمایشهای مستقیم فقط نشان می دهند که تمام ذرات قابل تبدیل به یکدیگرند. قابلیت تبدیل همگانی ذرات بر وحدت آنها گواهی می دهد.

می توان تصور کرد که همه آنها از ماده ای واحد ساخته شده اند. لکن این تصور کاملاً دقیق نیست. ذرات بنیادی همه از ماده اند، اما نه کاملاً به آن معنی که مثلاً آجرها از خاك تشكيل یافته اند.

تکه خاك می تواند شكل آجر را به خود بگیرد و می تواند هر شكل هندسی دیگر را نیز قبول کند. همه اینها کاملاً ساده است اما درك اینکه خاك، خاك به طور اعم، بدون شكلی معین در طبیعت وجود ندارد، مشکل است. درست همین طور، ماده بدون خواص معین اصلاً نیست و نمی تواند باشد.

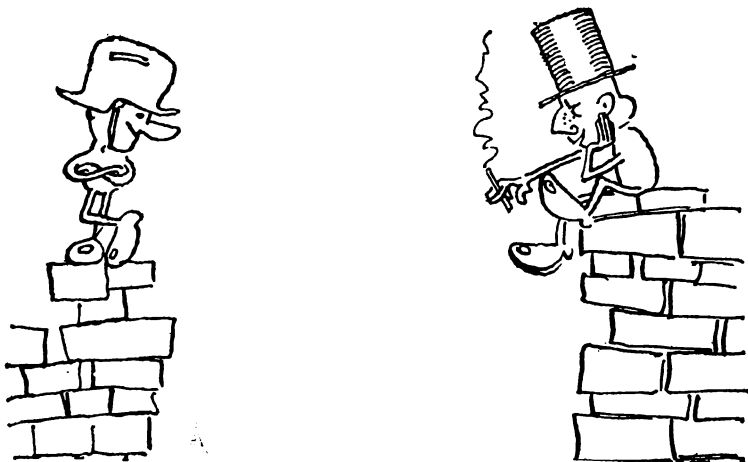
اگر خاك به اشكال متفاوت می تواند وجود پیدا کند و بین این اشكال تبدیلات یکنواخت دایمی صورت گیرد، پس، تا آنجا که بر ما هم اکنون معلوم است، ماده در هر حالت دلخواه نمی تواند یافت شود. ظاهراً ذرات بنیادی تنها اشكال ممکن وجود ماده اند. بین ذرات بنیادی گوناگون هیچ نوع تبدیل بلا انقطاع وجود ندارد. ممکن نیست مثلاً خواص نوترینور را به طور یکنواخت طوری تغییر داد تا فاصله ای که آن را از نزدیکترین همسایه در جدول ذرات بنیادی - الکترون، جدا می کند، پر شود.

بدیهی است وقتی درباره اشكال وجود ماده صحبت می شود، نه شكل هندسی بلکه حالات ممکن آن را که 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 درباره اتمها تصور

می‌شد، نباشند.

اینکه آیاهمه ذراتی که امروز نام بنیادی دارند
ذره بنیادی، واقعاً شایسته این نام هستند، مورد تردید است.
هرچند تا اندازه‌ای، شاید قسمتی از آنها و احتمالاً قسمت اعظم
باید ساده باشد آنها شایسته این نام باشند، دلیل شك و تردید
بسیار ساده است: ذرات خیلی زیادند.



... ممکن نیست مثلاً خواص نوترینو را به‌طور یکنواخت چنان تغییر داد تا فاصله‌ای
که آن را از نزدیکترین همسایه در جدول ذرات بنیادی - الکترون، جدا می‌کند، پر شود.

کشف ذره بنیادی جدید همیشه پیروزی برجسته علم را تشکیل
می‌داد و هم اکنون نیز تشکیل می‌دهد. اما مدتهاست که با هر
پیروزی نگرانی‌هایی به وجود می‌آید. پیروزی پس از پیروزی فرا
می‌رسد. هم اکنون ۳۵ ذره نسبتاً پایدار با طول عمر بیشتر از 10^{-12}
ثانیه کشف شده است. عده ذرات کوتاه عمر با طول عمر از مرتبه
 10^{-23} - 10^{-22} ثانیه از دویت متجاوز است.

وجود عده‌ای زیاد از ذرات این فکر را ایجاد می‌کنند که همه آنها به يك 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 هر صورت اکنون مدلی پیشنهاد شده است که برطبق آن بسیاری از ذرات بنیادی، هرچند نه همه آنها، فقط از شش ذره اصلی متفاوت ساخته شده‌اند.

همانطور که ملاحظه کردید ایجاد تصویری **در این کتاب از چه صحبت می‌کنیم؟** روشن در این باره که ذره بنیادی چیست و فصل اول کتاب نیز به آن اختصاص داده شده است، به هیچ وجه ساده نیست. اگر پس از خواندن این فصل نیز به دانستیهای شما در این باره که ذره بنیادی چیست، به طوری قابل ملاحظه افزوده نشد (مؤلف در این مورد مخصوصاً توقعی ندارد)، اما می‌توان امیدوار بود بعضی تصورات در شما پیدا شده است.

در این کتاب بیشتر در باره چیزهای مشخصتر سخن رفته است. البته جدول ذرات بنیادی نسبتاً پایدار آورده شده است. در مورد طبقه‌بندی در این اواخر موفقیت‌های بسیاری به دست آمده است. صرف نظر از همه پیچیدگیهای روابط بین ذرات بنیادی، طبقه‌بندی ذرات تقریباً در همان سطح علمی شبیه جدول تناوبی عناصر زمان مندلیف به وجود آمده است. همان گونه که مندلیف ساختمان اتم را نمی‌شناخت ولی به کمک جدول تناوبی عناصر خود، وجود و خواص عمده بعضی عناصر را پیشگویی کرد، نظام بین ذرات بنیادی سنگین نیز پیشگویی وجود بسیاری از ذرات و خواص آنها

را ممکن می‌سازد.

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

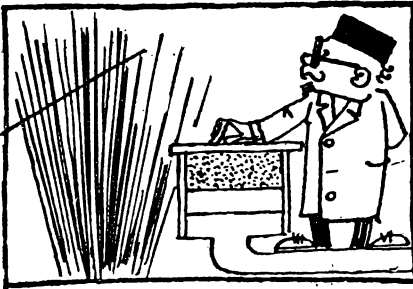
تأثیر متقابل ذرات باعث تبدیل آنها می‌شود. پس لازم است درباره انواع تأثیرات متقابل یانیروها، همانطور که در سابق مورد قبول واقع شده بود و یا این که بر طبق عادت امروز هم گفته می‌شود صحبت کنیم، هر چند که کلمه «نیرو» در مورد ذرات بنیادی آن مفهومی را که در مکانیک نیوتون به دست آورده است. اصلاً ندارد. بر اثر تبدیل ذرات بنیادی جرم، بار ذرات و بسیاری از کمیت‌های دیگر مبین خواص آنها تغییر می‌کند. لکن دنیای ذرات بنیادی که در آن هستی خود ذرات زودگذر است، در چهارچوب سخت قوانین بقا قرار داده شده است. قوانین بقا در دنیای مُخرَد نقشی عظیم را بازی می‌کنند و قوانین جدید بقا که بر اثر مطالعه ذرات بنیادی کشف شده‌اند، جایی عمده را در شرح داستان ذرات بنیادی اشغال می‌کنند. با اینکه دانشمندان به خوبی نمی‌دانند که ذره بنیادی چیست، ساختمان آن را نمی‌شناسند و نمی‌توانند به طرزی کاملاً رضایت بخش اثر متقابل ذرات بنیادی را از نظر کمی توصیف کنند، با اتکا بر قوانین بقا توانسته‌اند نظمی معین در دنیای مُخرَد بیابند، بر بسیاری از اسرار دست یابند و پیشگویی‌هایی بکنند. درك فرایندهای دنیای مُخرَد را، هر چند که کامل نیست، مدیون دو تئوری بزرگ قرن بیستم هستیم: تئوری نسبیت و مکانیک-

کوانتمی. بدون آنها بشر در برابر پدیده‌های غیرعادی اعماق ماده ناتوان می‌بود. درباره این تئوریه‌ها نیز لازم است مختصری صحبت کنیم.

مطالب فراوان است، ولی در حالی که کوشش نمی‌کنیم از توالی تاریخی کشف همه ذرات پیروی کنیم، سعی خواهیم کرد به اختصار برگزار کنیم. جدول آماده ذرات بنیادی را خواهیم آورد، امانه در صفحه بعد. قبل از همه لازم است در این باره که ذره بنیادی چگونه مطالعه و مشاهده می‌شود، صحبت کنیم.

فصل دوم

در باب کوششهای جدی
برای دیدن ذرات بنیادی



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

مدتها است که دیگر مردم اعتقاد به امکان
دموکریست، گاليله ، تشخیص علت العلل هر چیز را با نشستن پشت
ماخ و اتاق ویلسون
میز تحریر یاسیر و سیاحت در اطراف ستاره‌ها
و تأمل دربارهٔ این که جهان چگونه می‌تواند باشد، از دست داده‌اند.
دموکریست، لوکرسیوس کار^۱ و دیگران با استنباط داهیانهٔ خود

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

توانستند نظریه اتمی را که به طور کلی طبیعت اشیا را به درستی نشان می دهد، ابراز کنند. اما با تمام این احوال پیشرفت حقیقی علم به مفهوم امروزی کلمه از زمان گالیله شروع شد - در این زمان به جستجوی قوانین طبیعت که از نظر کمی قابل فرمولبندی بود، پرداختند.

علم در راه تعمیمهای تئوریک که متکی بر بیان خود طبیعت است، به نتایجی خیره کننده نایل شده است و مهمتر از همه اعتماد به قابلیت شناخت نامحدود جهان را پایه گذاری کرده است.

به راستی باید گفت که زمانی بسیاری از دانشمندان دچار افراط - کاریهایی دیگر در مقایسه با متفکران قدیمی شدند. آنان تصور می کردند تنها مسأله علمی توصیف پدیده های ماکروسکوپی است که مستقیماً قابل رؤیت هستند. این زمان خیلی دور نبود. در آخر قرن ۱۹ وقتی در ابتدای قرن ۲۰ فیزیکدانانی بزرگ چون ماکس کوشش در راه استفاده از موجودات خارج از احساس چون اتمها و مولکولها را در علم جایز نمی شمردند. آنها می گفتند که نه تنها به دست آوردن اطلاعات انکار ناپذیر از خواص اتمها بلکه حتی اثبات وجود آنها به طور تجربی نیز امکان پذیر نیست.

از آن زمان چند ده سال گذشته و هر کس با چشمان خود ممکن است نه تنها به وجود اتمها معتقد شود بلکه تبدیلات آنها را در اتاق ویلسون مشاهده کند.

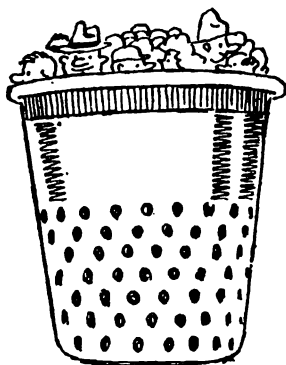
اکنون همه می دانند که بدون اطلاعات عظیم که ابزارهای گوناگون از دنیای خرد در اختیار ما می گذارند، هرگز نمی توانستیم

حتی تصویری از پیچیدگی پدیده‌های دنیای مُخرد داشته باشیم.
 مشاهده خود ذرات بنیادی، دیدن مستقیم آنها
درباره اندازه‌های
دنیای مُخرد
 بدون چشمان مسلح به علت اندازه‌های
 فوق‌العاده کوچک آنها میسر نیست.

اندازه ذره بنیادی مفهومی بسیار مبهم است. ذرات مُخرد
 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 به سوی نقاط دور افتاده کاهش می‌یابد، طوری که در فاصله
 10^{-13} سانتیمتری چند بار کمتر می‌شود. همین فاصله است که ابعاد
 پروتون فرض شده است. نوترون نیز دارای همین ابعاد است.
 درباره ابعاد الکترون فقط می‌توان گفت که از 10^{-14} سانتیمتر
 تجاوز نمی‌کند.

اگر ذرات با ابعاد به این کوچکی را می‌شد تنگ هم چید،
 در آن صورت حجم $60-70$ لیتری بدن انسان، مکعبی با پهلوهای
 $1/5$ میلیمتر را اشغال می‌کرد و در یک انگشتانه ممکن بود چندین
 هزار انسان را جا داد.

ذرات در هسته حقیقتاً نزدیک هم جا گرفته‌اند و اگر میدان
 الکتریکی فضای اتم به حساب نیاید، درون اتم فوق‌العاده خالی
 است. اتم به مراتب خالی‌تر از منظومه شمسی ما است. اگر اتم
 ناگهان تا ابعاد مدار زمین بزرگ شود، در آن صورت هسته هزار
 بار کوچکتر از خورشید می‌شود.



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

باید رد ذرات را یافت

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

خود ذرات را نمی توان دید اما به کمک حیللهایی می توان
آثاری را که از آنها در ماده باقی می ماند مشاهده کرد. به طریقی
مشابه، اما بدون هیچگونه حیلله ای ما اغلب رد هواپیما را در
آسمان می بینیم - ابری نازک از بلورهای یخ، هرچند که خود
هواپیما را نمی توان دید.

آثاری که از ذرات در دستگاهها باقی می ماند منبع مهم
اطلاعات درباره رفتار و خواص آنهاست. منظره آثار ذرات
بنیادی در اتاق ویلسون تأثیری شدید بر انسان می بخشد و به طرز
غیر عادی احساس تماس نزدیک با دنیای خرد را ایجاد می کند.
اما کار فقط با دیدن به پایان نمی رسد. از تصویرهای آثار

ذرات متفاوت باید اطلاعاتی دربارهٔ خود ذرات به دست آورد. این مسأله‌ای است که از نظر دشواری به مسأله‌ای که در سرفصل از آن گفتگو شده نزدیک 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 شتابدهنده-های ذرات باردار لازم است. بنای این دستگاهها از نظر ارزش با ساختمان شهر دهها هزار نفری قابل مقایسه است.

هروسیلهٔ ثبات ذرات بنیادی شبیه تفنگ پر با
چخماق کشیده است. کافی است تابا نیرویی
اندک به‌ماشهٔ تفنگ فشار وارد کنیم و نتیجه‌ای
غیر قابل مقایسه با نیروی مصرفی، حاصل می‌شود - شلیک.

پنجره‌ای به دنیای مُخرد

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

عینی‌ترین و دقیقترین اطلاعات دربارهٔ حوادث دنیای مُخرد به کمک اتاق ویلسون و خواهر کوچک آن - اتاق حبابی به دست می‌آید. این دستگاهها را می‌توان پنجره‌هایی به دنیای مُخرد نامید.

اتاق ویلسون که در سال ۱۹۱۲ ساخته شد، ظرفی کاملاً بسته بادیواره‌های شفاف پر از بخار آب یا بخار الکل نزدیک به حالت سیر شده است. پیستونی متحرك كف اتاق را تشكيل 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 به مصرف می‌رساند.

بخارات به صورت فوق‌العاده ناپایدار و قابل تراکم در می‌آیند. بهترین مراکز تراکم یونهای هستند که به وسیله ذره‌ای باردار و سریع با جدا شدن الکترون از اتمهای خنثی به وجود می‌آیند. اگر ذره یونیزه قبل از انبساط یا بلافاصله پس از آن در اتاق نفوذ کند، در طول زنجیر یونهای که تشکیل می‌دهد، تراکم بخار صورت می‌گیرد. قطرات آب روی یونها اثر ابری مسیر ذرات را تشکیل می‌دهند که می‌توان با چشمان عادی دید و عکسبرداری کرد. موفق شده‌اند از روی طول مسیر، انرژی ذره را معین کنند و از روی عدد قطرات در واحد طول مسیر، مقدار سرعت را برآورد کنند.

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

و رابطه بار با جرم را معین کرد.

وقتی که با ذرات خنثی سروکار داریم، وضع بدتر است. ذرات خنثی در اتاق ویلسون اثری به جا نمی گذارند، زیرا باری ندارند تا موجب یونیزاسیون اتمها شوند. درباره حضور آنها فقط می توان از روی آثار ثانوی قضاوت کرد: به وسیله برخورد با ذرات باردار، تجزیه به ذرات باردار و غیره

جالبترین وقایع دردنیای خرد هنگام برخورد های ذرات با انرژی زیاد روی می دهد. سربهای کامل تبدیلات پی در پی ذرات سنگینتر به سبکتر را می توان مشاهده کرد، امانه در اتاق ویلسون. به سبب غلظت ناچیز مواد کارگر اتاق (گاز) ، تحقیق و بررسی زنجیر طولانی خلقها و تجزیه های ذرات ممکن نیست. ذرات با انرژی زیاد، بدون اینکه در معرض تبدیلی قرار گیرند، به سرعت اتاق را ترك می کنند.

در سال ۱۹۵۲ فیزیکدانان این مسأله را نیز حل کردند و اتاق حبابی را ساختند. این اتاق را از مایع (اغلب هیدروژن یا پروپان مایع) پر می کنند. با وجود اینکه درجه حرارت مایع بالاتر از درجه حرارت جوش آن در فشار اتمسفر است، مایع نمی جوشد، زیرا تحت فشاری زیاد که از جوشیدن آن جلوگیری می کند، قرار دارد، بر اثر نزول سریع فشار، مایع مدتی کوتاه در حالت ناپایدار باقی می ماند. برای اینکه مایع بجوشد، مرکزی برای ایجاد بخار لازم است. ذرات باردار سریع نیز چنین مراکزی به صورت زنجیریونها تشکیل می دهند. حبابهای بخار که مسیر ذرات را تشکیل می دهند،

روی یونها به وجود می آیند (شکل ۱)'.^۱

به علت تراکم زیاد مایع (در مقایسه با تراکم گاز) ذرات به سرعت انرژی خود را از دست می دهند. حرکت ذرات به اندازه کافی کند می شود و حتی ذرات دارای انرژی زیاد نیز در اتاق معطل می شوند. این عمل امکان می دهد که تجزیه ذره (یاسری تجزیه های پی در پی) و همچنین واکنشهای حاصل از آن را مشاهده کرد. اکثر ذرات بنیادی اخیراً به کمک اتاقهای حبابی کشف شده اند.

درباره سایر دستگاههای ثبت ذرات بنیادی
درباره چه مسائلی صحبت خواهیم کرد
 صحبت بسیار است. درباره فتوامولسیونها،
 درباره انواع کنتورهای ذرات و می شد

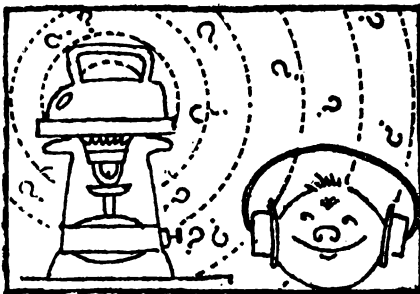
وارد جزئیات شد و دید چگونه فیزیکدانان پلی بین آثار ابری در اتاق و خواص خود ذرات برقرار می کنند. اگر به شرح داستان دسته های نیرومند ذرات با انرژی عظیم قابل کنترل که فیزیکدانان در اختیار دارند بپردازیم ، قسمت اعظم یا تمام کتاب را شامل می شود.

رویمرفته از این مطالب در کتاب تقریباً اشاره ای نخواهیم کرد. هدف ما آشنایی با خواص ذرات و قوانین تبدیل متقابل آنها است. به همین جهت فقط درجایی که کاملاً لازم است، از روشهای تحقیق و مطالعه دنیای خرد یاد خواهیم کرد.

۱- تصویرهایی که شماره آنها در متن مشخص شده است، در صفحه های آخر کتاب جا داده شده است.

فصل سوم

در باب این‌که اندیشه‌های
فیزیک قرن بیستم قابل درك نیست



اغلب می‌گویند که « طبیعت ساده است ».
 نادرست است! این اندیشه ماست که به‌سادگی
 می‌گمراید تا مساعی زیاد به خرج ندهد .
 بریوئن^۱
 « مسائل و اخبار علمی »

تراژدی در آستانه
قرن بیستم

در آستانه قرن بیستم انقلابی عظیم روی داد.
در این زمان بی‌پایگی و ورشکستگی اصول
اساسی فیزیک در برابر حقایق جدید آشکار
شد. فیزیکدانان از مرز دنیای ناشناخته جدیدی به نام دنیای مُخرَد
گذشتند.

در اینجا نیز از همان نخستین گامها رشته کشفیات گیج کننده یکی پس از دیگری فرارسید. بنابه گفته لانژون^۱ فیزیکدان فرانسوی طبیعت همانند عروسکهای چوبی بچه ها - اسباب بازیهایی با اشکال یکنواخت که یکی در دیگری جا می گیرد و فقط در اندازه تفاوت دارند - نیست. در طبیعت کاهش مقیاسها تا اتم با تغییر شدید خواص و قوانین فیزیکی همراه است.

ضربه بر تصوراتی که عادی شده بودند مخصوصاً محسوس بود. در آخر قرن نوزدهم حتی فیزیکدانان برجسته معتقد بودند که قوانین اساسی طبیعت کشف شده است و فقط این باقی مانده است که از آنها در توضیح پدیده ها و فرایندهای گوناگون استفاده کنیم.

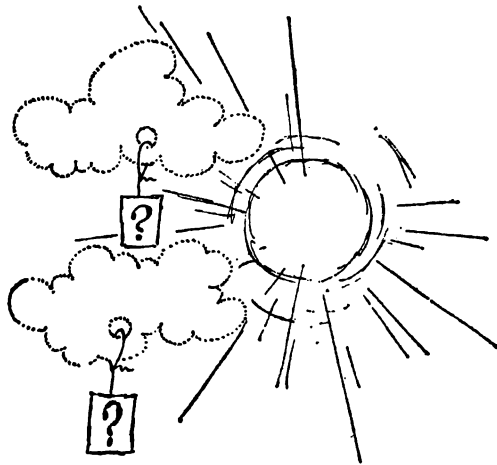
پیش از این اصول اساسی مکانیک نیوتون، الکترو دینامیک ماکسول و رشته های دیگر فیزیک بیش از پیش دلایل جدید بر حقانیت خویش به دست می آوردند. به همین جهت همین که قوانینی کشف می شد که از بعضی جهات فرایندها را توجیه می کرد، همه چیز قطعی به نظر می رسید، یک بار برای همیشه.

به مغز کسی خطور نمی کرد که قوانین نیوتون که مدتها از بدیهیات بود، با کاهش مثلاً جرم اجسام یا افزایش سرعت آنها، بی پایه از آب در آید.

کلوین^۲ یکی از بزرگترین فیزیکدانان قرن ۱۹ درباره افق روشن علم با اطمینان کامل نوشت که در آن فقط دوپاره ابر کوچک می بیند. اولی نتیجه منفی آزمایش مایکلسون^۳ بود. این آزمایش

به این منظور صورت گرفته بود تا نشان دهد که سرعت انتشار نور با جهت حرکت نور نسبت به کره زمین که در فضا حرکت می کند بستگی دارد. دومی نتیجه ای بیهوده بود که از تئوری تشعشع الکترو-ماگنتیک امواج به وسیله جسم گرم شده حاصل می شد - هر جسم باید از راه تشعشع تمام انرژی داخلی خود را از دست بدهد و تا صفر مطلق سرد شود.

لکن این دو
حقیقت ناگوار در
زمینه کلی موفقیت های
علم وقفه تصادفی
می نمودند که به
زودی برطرف می-
شدند. فقط دانشمندی
برجسته چون کلوین
توانست به این حقایق



توجه مخصوص مبذول دارد. آخر پدیده های نامفهوم بسیاری وجود داشت که نظر دقت دانشمندان را به خود جلب کرده بود.
با گذشت زمان بیش از پیش به روشنی آشکار شد که این پدیده ها به هیچ وجه در چهارچوب فیزیک تکامل یافته آخر قرن ۱۹ که اینک کلاسیک نامیده می شود جا نمی گیرند.

غیر عادی بودن نتیجه آزمایش مایکلسون چشمگیر بود و لازم بود اهمیت این نتیجه را به طور کامل برآورد کرد. آخر نمی توان

تصور کرد که سرعت انسانی که روی پله برقی مترو در حرکت است، نسبت به کره زمین به سرعت خود پله بستگی نداشته باشد، سرعت نور هم نسبت به بیننده، برخلاف تصورات عادی، بستگی به آن ندارد که بیننده به سوی موج نورانی حرکت می کند یا که از آن دور می شود.

اما تشعشع حرارتی. روشن نبود چرا تئوری که به طرزی درخشان تشعشع امواج الکترو ماگنتیک را به کمک آنتن توضیح می دهد و حتی وجود خود این امواج را پیشگویی می کند، قادر نیست



کلون در باره افق روشن علم
با اطمینان کامل نوشت که فقط
دو باره ابر کوچک می بیند.

برای فرایند تشعشع امواج الکترو ماگنتیک به وسیله جسم گرم شده عادی توضیح کمی بدهد. جدی ترین مباحثات که بر اساس قوانین مکانیک و الکترو ماگنتیک قرار داشتند، به تناقض فاحش با تجربه منجر می شدند. هیچ حيله ای تئوری را از تناقض با این استنباط که گویا انرژی نمی تواند در جسم گرم شده باقی بماند و اجباراً به طور کامل به تشعشع تبدیل می شود، نجات نمی داد. تعادل حرارتی بین اجسام و تشعشع نمی تواند وجود پیدا کند و همه اجسام باید تا صفر مطلق سرد شوند.

در واقع هم تعادل حرارتی بین اجسام و تشعشع برقرار می‌شود. اما چگونه؟ ماکس پلانک^۱ برای نجات این نظریه، با وجود تناقض کامل با تصورات موجود، فرض کرد نه تنها ماده از ذرات جداگانه تشکیل یافته است، بلکه انرژی نیز در بسیاری موارد فقط مقادیر انفصالی را می‌پذیرد.

با این ترتیب ناشایستگی فیزیک کلاسیک در توضیح بعضی پدیده‌ها نه تنها آشکار شد بلکه قطعی به نظر رسید.

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

الکترون خواصی عجیب را آشکار ساخت. آزمایشهای مستقیم نشان داد که جرم الکترون با سرعت زیاد می‌شود. معلوم شد که ویژگی اساسی ماده یعنی جرم که از زبان نیوتون غیر قابل تغییر محسوب می‌شد، به سرعت بستگی دارد. در آن زمان جرم را همچون مقدار مادهٔ موجود در جسم مورد مطالعه قرار می‌دادند.

همهٔ این حوادث بی سابقه برای علم در مدتی کوتاه روی داد و متفکران را گیج کرد. اس اساس یعنی مکانیک نیوتون و الکترو-دینامیک ماکسول ویران شده بود. مفاهیم اساسی سست و بی پایه از آب درآمدند. سراسیمگی حتی بر بسیاری از فیزیکدانان بزرگ

دست یافت.

اما همه این دشواریها در نتیجه غایبی، تکیه گاهی برای جهش به سوی تئوریهای جدید قرن بیستم یعنی تئوریهای نسبیت و مکانیک کوانتمی شدند. این تئوریها در گشودن پیچیده ترین گرههای نظام دنیای خرد کمک کردند.

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

آزمایش مایکلسون آشکارا نشان داد که سرعت

تئوری نسبیت خصوصی

نور به حرکت منبع و گیرنده نور بستگی ندارد و همیشه در خلاء مساوی با ۲۹۹۷۹۲ کیلومتر

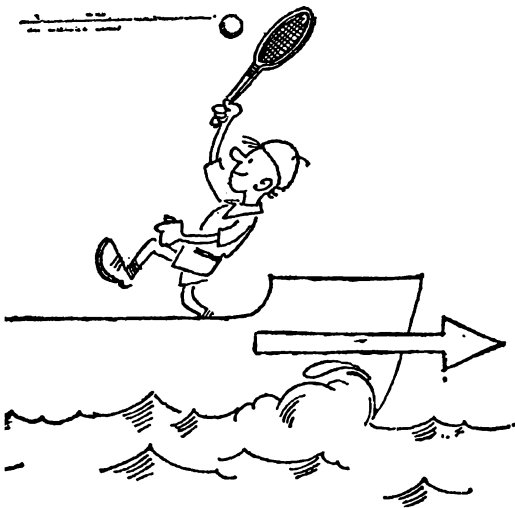
در ثانیه است.

از طرف دیگر از زمان گالیله اصل نسبیت به خوبی آشکار شده بود و بارها با آزمایشهای مکانیکی گوناگون تحقیق شده بود. مطابق این اصل حرکت مستقیم الخط یکنواخت دستگاه به هیچ وجه تأثیری بر جریان فرایندهای مکانیکی داخل این دستگاه ندارد. مثلاً شما می توانید روی کشتی، صرف نظر از این که لنگر انداخته است یا اقیانوس اطلس را می پیماید، به راحتی تنیس بازی کنید.

اگر قوانین مکانیک نیوتون نسبت به یک دستگاه مقایسه ای صادق است پس در هر دستگاهی که نسبت به دستگاه مقایسه ای با سرعت یکنواخت در حال حرکت است، صدق می کند. چنین دستگاه مقایسه ای را اینرسیال می گویند. دستگاه مربوط به خورشید و

ستارگان ثابت نیز اینرسیال است.

اینشتین اصل نسبیت گاليله، اصل برابری دستگاههای مقایسه‌ای اینرسیال را روی فرایندهای هرطبیعی و از آن جمله فرایندهای الکترو ماگنتیک بسط داد. اینشتین براساس کارهای لورنتس^۱ و دانشمندان دیگر تئوری جدید مکان و زمان یعنی تئوری نسبیت را پایه‌گذاری کرد.



مطلب در این است که اصل نسبیت و تغییر ناپذیری سرعت نور در هر دستگاه مقایسه‌ای با تصور عادی درباره مکان و زمان که در ذهن ما ریشه دوانده است، مطابقت ندارد.

مطابق تصورات معمولی فاصله بین دو نقطه به دستگاه مقایسه‌ای بستگی ندارد و در نتیجه، حرکت به هیچ وجه تأثیری در اندازه‌های هندسی جسم ندارد. گذشت زمان نیز چه در دستگاه متحرك و چه در دستگاه ساکن یکسان صورت می‌گیرد. برطبق تئوریهای جدید طول، مدت زمان، جرم و بسیاری

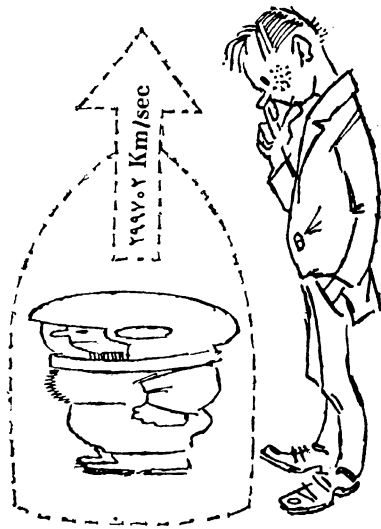
کمیت‌های دیگر که
مدتها مطلق به حساب
می‌آمدند، در
حقیقت فقط نسبت
به دستگاه مقایسه‌ای
مشخص مقداری
معین دارند و
همانطور که می-
گویند، نسبی هستند.
وانگهی این خواص
کمیت‌ها تنها وقتی
محسوس است که
سرعت حرکت
نزدیک به سرعت
نور باشد. سرعت
نور در خلأ اهمیت



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

اساسی در طبیعت دارد. حتی يك جسم مادی نمی‌تواند با سرعت
مافوق سرعت نور حرکت کند.

زمان در دستگاه متحرك کندتر جریان دارد. مثلاً وقتی که
ساعت‌های کره زمین صدساعت را نشان می‌دهند، ساعت در راکتی
که با سرعت 299702 کیلومتر در ثانیه (90 کیلومتر در ثانیه کمتر
از سرعت نور) پرواز می‌کند، فقط گذشت يك ساعت را نشان



اگر بدن فضانوردی که با سرعت
۲۹۹۷۰۲ کیلومتر در ثانیه پرواز
می کند، در جهت حرکت قرار گیرد،
بیش از دو سانتیمتر (در مقیاس
همولی) قد نخواهد داشت.

می دهد. اگر این کندی زمان برای راکت های امروزی آنقدر کم
است که امکان تشخیص آن وجود ندارد، در عوض برای ذرات
بنیادی ناپایدار بسیار زیاد است. آزمایش های مستقیم نشان می دهند
که هر چه سرعت مزونها و ذرات بنیادی دیگر بیشتر باشد، عمر آنها
درازتر است. مثلاً طول عمر π^+ - مزون یا π^- - مزون که
با سرعت ۹۹/۵ درصد سرعت نور حرکت می کند، در مقایسه با
طول عمر مزون کند ده بار بیشتر است.

آهنگ زمان برای ذرات سریع کند می شود. به همین جهت
در جدول ذرات بنیادی طول عمر ذرات کند را نشان می دهد.

تغییراتی مشابه با آن نیز در اندازه های اشیاء صورت می گیرد.
اگر بدن فضانوردی که با سرعت ۲۹۹۷۰۲ کیلومتر در ثانیه پرواز
می کند، در جهت حرکت قرار گیرد، بیش از دو سانتیمتر (در مقیاس

معمولی) قد نخواهد داشت. شگفت آورتر این است که خود فضا-نورد هیچگونه تغییری در اندازه‌های خود احساس نمی‌کند، اما اگر به ما نگاه کند، می‌بیند که اندازه همه اشیاء و مردم کره زمین در جهت حرکت صدمبار کوچکتر می‌شود و همه چیز به طرزی عجیب پهن تر و کوتاه تر می‌نماید.

کاهش اندازه‌ها همانند تغییرات گذشت زمان دارای خواصی قابل توجه است. در اینجا به قول دانشمند انگلیسی ادینگتون^۱ ضد و نقیضهایی حاصل می‌شود، خارق‌العاده تر از آنچه در کتاب سویت^۲ با آن روبرو می‌شویم. گولیور لیلیپوتها را کوتوله می‌داند و لیلیپوتها گولیور را چون غول به نظر می‌آورند. این کاملاً طبیعی است. اما آیا این طور هم می‌تواند باشد که گولیور لیلیپوتها را کوتوله بداند و لیلیپوتها نیز گولیور را همچون کوتوله‌ای به نظر آورند؟ ادینگتون فریاد برمی‌آورد: «نه! این حتی برای داستان هم کاملاً بیمعنی است. این چیزها را فقط در کتابهای علمی جدی می‌توان پیدا کرد».

دانستن و حتی فهمیدن اساس تئوری نسبیت
جرم و انرژی
برای ما الزام آور نیست. دو نتیجه تئوری نسبیت برای فیزیکدانان در رشته ذرات بنیادی در اصل اهمیت زیاد دارد و باید مورد بررسی قرار گیرد. هر دو آنها به خواص مکان و زمان مربوط نیستند بلکه با خصایص دینامیکی ماده یعنی جرم و انرژی ارتباط دارند.

جرم در مکانیک نیوتون از ویژگیهای اساسی هر جسم است.

جرم بی تفاوتی خواص یعنی قابلیت دریافت هرشتابی تحت اثر نیروهای خارجی را معین می کند.

هزاران آزمایش بی تغییری مطلق جرم جسم را، در صورتی که به ذرات تقسیم نشود، نشان داده اند.

در مکانیک نسبی جدید جرم هر جسم به سرعت آن بستگی دارد. اگر جرم جسم ساکن مساوی با m_0 باشد، در موقع حرکت با سرعت v مساوی با:

$$(۱) \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

خواهد بود. با نزدیکی v به c جرم به بینهایت میل می کند (شکل ۲). به همین جهت سرعت هیچ جسمی را نمی توان به سرعت نور رساند.

جرم ذرات بنیادی بسیار ناچیز است و به همین جهت نسبتاً به آسانی می توان به آنها سرعت زیاد نزدیک به سرعت نور داد. سرعت الکترونها در اتم تقریباً ۱۰۰ بار کمتر از سرعت نور است. اما ذراتی که در شتابدهنده های امروزی رانده می شوند سرعتی نزدیک به سرعت نور پیدا می کنند. جرم پروتون در شتابدهنده های بزرگ، در جریان شتاب دادن، دهها بار افزایش می یابد. ذرات سریع به سبب رشد جرم با افزایش سرعت، قابلیت تولید سری کاملی از ذرات جدید را پیدا می کنند.

همانطور که گفته شد فوتون و نوترینو همیشه با سرعت نور

حرکت می کنند. این ذرات درحالت سکون وجود ندارند و همین که به وجود می آیند با سرعت نور به جلو می تازند. تعیین جرم فوتون یانوترینواز فرمول (۱) ممکن نیست. اما این جرم را می توان با استفاده از دومین و اساسی ترین نتیجه تئوری نسبیت به دقت معین کرد، و آن فرمول اینشتین درباره ارتباط متقابل جرم با انرژی است.

$$E = mc^2 \quad (2)$$

E انرژی جسم، m جرم آن و C سرعت نور است. حتی اگر جسم یاذره ساکن باشد انرژی درحالت سکون با جرم درحالت سکون مربوط است:

$$E_0 = m_0 C^2$$

با افزودن تدریجی سرعت حرکت جسم، انرژی جنبشی به انرژی خود آن یعنی انرژی درحالت سکون اضافه می شود. فقط فوتون و نوترینو انرژی درحالت سکون ندارند. فرمول (۲) اجازه می دهد تا جرم ذرات را از روی انرژی آنها محاسبه کنیم.

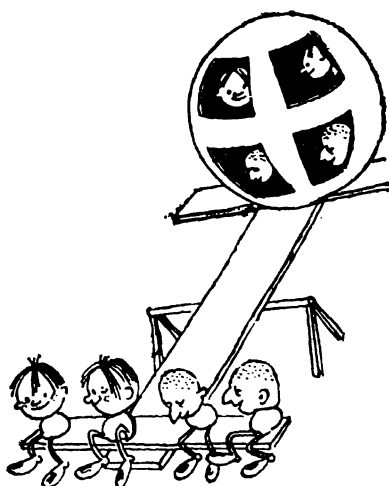
برطبق فرمول (۲) هر تغییر انرژی دستگاه با تغییرات جرم آن ارتباط دارد. مثلاً جرم جسم بر اثر گرم شدن افزایش می یابد و بر اثر سرد شدن کاهش پیدا می کند. معذک این اثر فوق العاده ناچیز است، زیرا ضریب تناسب بین جرم و انرژی یعنی مجذور سرعت نور خیلی زیاد و تغییرات انرژی بر اثر مبادله حرارتی معمولاً ناچیز است. به همین جهت مشاهده تغییر جرم بر اثر حرارت به طور تجربی امکان ندارد. در واکنشهای شیمیایی هم تغییرات جرم محسوس نیست، زیرا انرژی خارج شده یا جذب شده بر اثر این واکنشها ناچیز

است. ارزش انرژیك يك گرم جرم- مجذور سرعت نور- کمیتی بسیار بزرگ است.

فقط تبدیلات هسته‌های اتم و ذرات بنیادی همراه با چنین تغییرات بزرگ انرژی است و تغییرات جرم در آنها محسوس است. مثلاً^۴ جرم هسته هلیوم يك درصد کمتر از جرم هسته تشکیل یافته از دو پروتون و دوترون آزاد است. انرژی در حالت سکون هسته يك درصد کمتر از مجموع انرژی در حالت سکون ذرات بنیادی تشکیل- دهنده هسته است. بهم پیوستگی ذرات بنیادی در هسته اتم توأم با خروج مقدار عظیمی انرژی، در مقیاس دنیای خرد است. این انرژی به صورت تشعشع خارج می‌شود و همراه با تشعشع قسمتی از جرم نیز فرار می‌کند. می‌توان گفت که بر اثر بهم پیوستگی ذرات بنیادی یا هسته‌های سبک قسمتی از انرژی محبوس در داخل آنها از جاکنده می‌شود و به خارج پرتاب می‌شود. اگر چنین تبدیلاتی با شرکت تعداد بسیار زیاد هسته‌های سبک صورت گیرد، انفجار نیرویی دهشتناک مشاهده می‌شود. این همان انفجار بمب هیدروژنی است. از اینجا معلوم می‌شود که انرژی خود ذره عظیمترین و متراکمترین مخزن انرژی در جهان است. بر اثر انفجار بمب اتمی فقط ۱/۵ درصد جرم در حالت سکون یا انرژی در حالت سکون از بین می‌رود. اما انرژی در حالت سکون ممکن است تمام و کمال آزاد شود و کاملاً^۵ به انرژی حرکتی تبدیل شود. این تبدیل مثلاً^۶ هربار که الکترون با پوزیترون برخورد می‌کند، روی می‌دهد.

بقای انرژی و ذرات بنیادی

مکانیک کلاسیک می گوید که انرژی هر دستگاه بسته یعنی دستگاهی که در تأثیر متقابل بادیای خارج نیست، محفوظ می ماند. تبدیلات ذرات بنیادی بقدری سریع و در مسافت آنقدر ناچیز، در مقایسه با ابعاد اتم، صورت می گیرد که ذرات برخورد کننده را می توان



جرم هسته هلیوم يك درصد کمتر از
جرم هسته تشکیل یافته از دو پروتون
و دو نوترون به حالت آزاد است.

دستگاهی منفرد دانست به همین جهت در هر تبدیل ذرات، انرژی ثابت می ماند.

انرژی ذرات خواه پیش از واکنش خواه پس از آن دونوع است: جنبشی (انرژی حرکت) و اختصاصی (انرژی سکون). در واکنش تبدیل ذره، انرژی جنبشی می تواند به انرژی سکون و بالعکس تبدیل شود. بعلاوه واکنش بین ذرات بنیادی با واکنشهای شیمیایی و هسته ای به طور اساسی متفاوت است. در واکنشهای بین ذرات بنیادی تمام انرژی سکون بعضی ذرات می تواند به انرژی

سکون و جنبشی ذرات کاملاً دیگری تبدیل شود. مثلاً بر اثر تجزیه نوترون، انرژی سکون آن در تشکیل انرژی سکون و جنبشی پروتون و الکترون و همچنین در دادن انرژی جنبشی معینی به آنتی نوترینو به کار می‌رود.

کاملاً واضح است که جرم ذره اولیه باید بیش از مجموع جرمهای ذراتی باشد که بر اثر تجزیه آن حاصل می‌شوند (صحبت بر سر جرم سکون است). قانون بقای انرژی چنین محدودیتهای شدیدی را در سایر موارد نیز برقرار می‌کند. اما در جهان ذرات بنیادی وضع فوق خارق العاده نیز می‌تواند وجود پیدا کند. ذره سبک نمی‌تواند به ذرات سنگین تر تجزیه شود اما می‌تواند مرکب از آنها باشد! اگر نیروهای اثر متقابل بین دوزره خیلی بزرگ باشد، از بهم-پیوستگی آنها ممکن است ذره‌ای با جرم سکون کمتر از جرم هریک از ذرات اولیه تشکیل شود. بقیه جرم به صورت تشعشع (جریان فوتون) که جرم در حالت سکون ندارد، جدا می‌شود.

برای شکافتن ذره به دست آمده و تبدیل آن به اجزای تشکیل دهنده اش، انرژی بیش از انرژی سکون اجزای در حالت سکون لازم است.

پس چگونه ثابت کنیم که ذرات بنیادی ساختمانی مرکب دارند یا نه. تصورات عادی و طبیعی در این باره که ذرات سنگین تر و پیچیده تر از ذرات سبکتر و ساده تر تشکیل یافته اند، بر پایه ای محکم استوار نیست. جزء ممکن است بزرگتر از کل باشد!

چنین وضعی هیچ جاز در جهان ذرات بنیادی امکان پذیر نیست؛

باری، تئوری نسبیت به وسیله فرمول $E = mc^2$ به ما نشان داد که جهان ذرات بنیادی چقدر پیچیده و رابطه بین ذرات چقدر غیر عادی است.

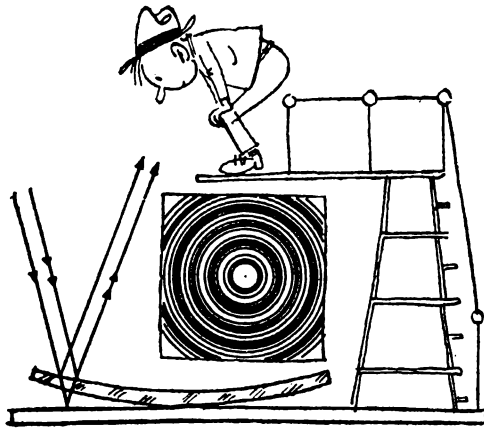
مدتهای مدید نور را موج می پنداشتند. واقعاً کلمه «کوانتم» هم نور بر اثر انتشار خواص موجی نشان می- از نیستی به هستی می آید دهد: پدیده های تداخل و دیفراکسیون.

بر اثر برخورد دو دسته نور، امواج نورانی درهم می روند. در این عمل اگر امواج طول یکسانی داشته باشند و یک موج نسبت به دیگری تغییر مکان ندهد، در بعضی جاها یکدیگر را تقویت و در جاهایی همدیگر را نابود می کنند. این عمل را تداخل امواج می نامند.

مشاهده این پدیده چندان دشوار نیست. عدسی عینک دوربین را بگیرید و طرف برجسته آن را روی صفحه شیشه ای قرار دهید. نزدیک نقطه تماس عدسی با صفحه شیشه ای حلقه های کوچک تاریک و روشن را خواهید دید. این حلقه ها به این سبب تشکیل می شوند که امواج نورانی منعکس شده از صفحه شیشه ای و عدسی مسیرهای متفاوت را طی می کنند و بر حسب اینکه موجی چقدر از دیگری عقب بماند همدیگر را خاموش و یا تقویت می کنند.

دیفراکسیون نور عبارت از دورزدن موانع دارای ابعاد قابل مقایسه با طول موج، به وسیله نور است. از جمله به سبب دیفراکسیون جزئیات اشیایی را که خیلی کوچکتر از طول موجند، نمی توان بامیکروسکوپ دید.

امواج نورانی منعكس شده
از صفحه شیشه‌ای و عدسی
مسیرهای متفاوت را طی
می‌کنند و بر حسب اینکه
موجی چقدر از دیگری عقب
بماند همدیگر را خاموش
و یا تقویت می‌کنند.



با این ترتیب نور در موقع انتشار بدون شك همانند پدیده اتصالی
یعنی موج عمل می‌کند. تئوری الکترو ماگنتیک نور ماکسول نیز
به چنین نتیجه‌ای منجر می‌شد.

لکن پلانک در سال ۱۹۰۰ نشان داد که نور در حقیقت به وسیله
بسته‌های جداگانه به نام کوانتم روی می‌دهد. فقط بر اثر چنین تصویری
بود که تئوری تشعشع حرارت با تجربه مطابقت می‌کرد. اگر نور از
اتمهای تحریک شده به صورت ماده‌ای بسیار ظریف لاینقطع جریان
پیدا می‌کرد، در آن صورت اتمها بهیچ شکلی نمی‌توانستند انرژی
را در خود نگه‌دارند و همه آنها را تا ذره آخر به میدان الکترو ماگنتیک
پس می‌دادند^۱.

انرژی کوانتم فقط به یک کمیت بستگی دارد - فرکانس امواج
الکترو ماگنتیک. انرژی کوانتم با فرکانس نسبت مستقیم دارد:

۱- منظره تشعشع را نباید خیلی ساده پنداشت. در اتمها نور نیست همچنانکه در تارهای پیانو صوتی
وجود ندارد. بر طبق الکترو دینامیک کلاسیک اتم تحریک شده نور تولید می‌کند، همانطور
که لرزش تار صدا به وجود می‌آورد.

$$E = h\nu$$

ضرب ثابت تناسب h ثابت معروف پلانک است. ثابت پلانک بسیار کوچک است ($h = 6.62 \times 10^{-27} \text{erg.sec}$) ، به همین جهت نیز انرژی یک کوانتم ناچیز است. مثلاً نور زرد بسته های ۲ الکترون ولتی می تابد.

تابش انفصالی نور ساختمان انفصالی خود شعاع نورانی را نمی رساند. اینشتین می گفت: « اگر آبجو را همیشه در بطریهای یک پاینتی^۱ بفروشد دلیل براین نیست که آبجو از اجزای تقسیم نشدنی مساوی بایک پاینت ساخته شده است ». اما آزمایشهای جدا شدن الکترونها از مواد به وسیله نور (پدیده فتو الکتریک) مصرأ نشان دادند که نور هم به صورت بسته های جداگانه جذب می شود. بسته تابیده نور بعدها صفات خود را حفظ می کند.

این فکر نخستین بار در سال ۱۹۰۵ به وسیله اینشتین بیان شد. بسته نور که فوتون نامیده می شود، به طرزی غیر منتظره بسیار شبیه ذره است. آزمایشهای جالب و اویلوف فیزیکدان شوروی ثابت کرد که چشم، حساسترین « دستگاه » ارگانسیم ما، در برابر تفاوت روشنایی که با آحاد کوانتم قابل اندازه گیری است، واکنش نشان می دهد.

فوتون ذره ای خاص است و همانند الکترون دارای انرژی و ایمپولس^۲ است، اما کاملاً فاقد جرم سکون است. فوتونهای

۱- یک پاینت (pint) انگلیسی در حدود ۰/۵۶۸ لیتر است.

۲- ایمپولس (impulsus) کمیت برداری مساوی با حاصل ضرب جرم جسم در سرعت آن است.

ساکن وجود ندارند.

با این ترتیب دانشمندان مجبور شدند اعتراف کنند که نور وحدت حیرت انگیز خواص اتصالی (امواج) و انفصالی (فوتونها) را نشان می دهد. وانگهی موج الکترو ماگنتیک را بهیچ وجه نباید همچون موج صوتی که از تجمع و تفرق متناوب مولکولهای هوا تشکیل می شود، نتیجه تأثیر متقابل فوتونها دانست. این کاملاً درست است که خواص موجی ذاتی يك فوتون است. تجمع مولکولهای هوا فقط به آن جهت می تواند موج تشکیل دهد که بین مولکولها نیروهای اثر متقابل وجود دارد. اما فوتونها، اگر نیروی جاذبه فوق العاده ضعیف را به حساب نیاوریم، بهیچ وجه مستقیماً برهم اثر ندارند. به همین جهت وجود بعضی خواص از آن جمله خاصیت موجی در فوتون نمی تواند به حضور در کنار سایر فوتونها بستگی داشته باشد.

اگر تصور وجود ماده ای که لاینقطع در فضا پراکنده می شود همیشه بامیدان الکترو ماگنتیک ارتباط پیدا می کرد، برعکس الکترونها از

موجها و ذره ها!
نه موج ذره ها

نظر فیزیکدانان همانند گلوله های ناچیز ماده بودند و کلمه « ذره » دائماً و مؤکداً در کنار کلمه « الکترون » قرار داشت.

لوئی دبروی^۱ 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 فیزیک اتمی در این نیست که ما خواص موجی الکترون را در نظر نمی گیریم؟

اتم کروی رترفورد^۱، اگر فیزیک کلاسیک درست باشد، نمی تواند وجود پیدا کنند. الکترون درحالی که به دور هسته می گردد، باید لاینقطع بتابد، انرژی خود را از دست بدهد و به زودی روی هسته سقوط کند و جرقه ای بسیار کوتاه نیز پایان غم انگیز عمر اتم را اعلام دارد. واقعاً چنین حادثه ای روی نمی دهد. اتم می تواند به مدت نامحدود وجود داشته باشد، در صورتی که با آن بیش از اندازه خشن رفتار نکنند و آن را دچار تأثیرات شدید خارجی نسازند.

نیلز بور^۲ فیزیکدان دانمارکی مدل رترفورد را به کمک فرضیه ای که با فیزیک کلاسیک سازگاری نداشت، تصحیح کرد. بور فقط وجود مدارهایی ثابت را در اتم ممکن شمرد که ممان چرخشی آنها مضربی صحیح از ثابت پلانک است. الکترونی که در مدار ثابت حرکت می کند، نمی تابد ولی در جهش از یک مدار به مدار دیگر یک فوتون می تابد.

با این حال نکاتی تاریک باقی می ماند: چرا مدارهایی ثابت وجود دارد؟ چه چیز باعث تغییر مکان الکترون از مداری به مدار دیگر می شود؟ و... اما مهمتر از همه، تئوری بور که طیف تابش اتم هیدروژن را به خوبی توضیح می داد، به هیچ وجه قادر به توضیح حتی طیف هلیوم نبود، چه رسد به طیف اتمهای پیچیده تر.

دبروی با در نظر گرفتن این که حرکت ذرات با انتشار بعضی امواج همراه است، توانست طول این امواج را پیدا کند. دبروی

برای این کار رابطه بین طول موج و ایمپولس را که برای فوتون صادق بود، برای همه ذرات عمومیت داد. پیدا کردن این رابطه ساده است. فوتون همیشه با سرعت نور حرکت می کند بنابراین ایمپولس با فرمول:

$$P = mC$$

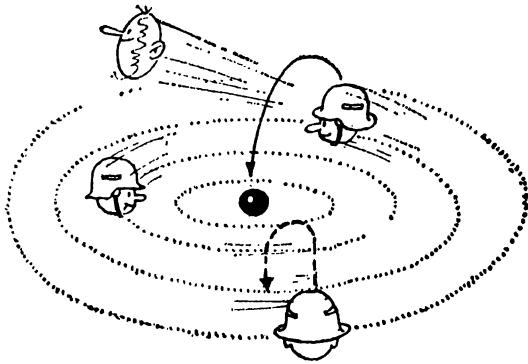
بیان می شود. اما جرم فوتون بر طبق فرمول اینشتین مساوی است با:

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

در نتیجه:

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

الکترونی که در مدار ثابت حرکت می کند، نمی تابد ولی در جهش از يك مدار به مدار دیگر يك فوتون می تابد.



از طرف دیگر طول موج بر طبق رابطه انرژی فوتون با فرکانس که به وسیله پلانک کشف شده است، چنین بیان می شود:

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

از آنجا مستقیماً چنین نتیجه می‌شود:

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

این فرمول معروف دبروی برای طول موج مربوط به ذره‌ای است که ایمپولس p دارد.

معلوم شده است که در مدارهای ثابت بور عدد صحیح امواج دبروی جا می‌گیرد.

خواص موجی پیشگویی شده به وسیله دبروی بعدها از راه تجربی نه تنها برای الکترون بلکه برای همه ذرات بنیادی دیگر کشف شد و دوگانگی خواص ذرات ماده، بدون توجه به غیر عادی بودن آن، حقیقتی انکار ناپذیر شد.

پس ممکن نیست که مثلاً الکترون در عین حال **اصل عدم قطعیت** هم ذره و هم موج باشد؟ این مفاهیم که یکدیگر را نفی می‌کنند. آری مجبوریم اعتراف کنیم که ممکن نیست. یعنی با بیان این که الکترون هم موج و هم ذره است، قبول کرده ایم که الکترون نه این و نه آن است: نه ذره به مفهوم عادی کلمه است و نه موج معمولی (فوتون و پروتون و نظایر آنها نیز چنین هستند). اگر هم با تمام این احوال این اصطلاحات را به کار می‌بریم باید آن مفهوم را در نظر داشت که الکترون را فقط تقریباً می‌توان مانند ذره‌ای توصیف کرد. تقریباً چه معنی می‌دهد؟

وقتی صحبت از ذره است گلوله کوچک مادی را در نظر داریم که در لحظه مورد نظر در مکانی معین دارای انرژی معین است و

باسرعتی کاملاً معین حرکت می‌کند. در این مورد فرض می‌کنیم که می‌توان مختصات، ایمپولس و انرژی ذره را در هر لحظه به‌طور کاملاً دقیق مشخص کرد.

لکن اگر رابطه ایمپولس ذره با طول موج معین را در نظر بگیریم، از ذره به‌شکل سینوسی بی‌پایان که در همه فضا گسترده شده است، می‌رسیم. بیان «طول موج در نقطه مورد نظر» هیچ نوع معنی ندارد. پس مفهوم ایمپولس در نقطه‌ای بی‌معنی است. هم‌چنین مفهوم انرژی ذره در لحظه‌ای مشخص معنی ندارد. انرژی بافرکانس مربوط است ($E = h\nu$) و مفهوم فرکانس با فرایند نوسانی موزون بستگی دارد. این بیان که الکترون فقط تقریباً می‌تواند مانند نقطه مادی مورد مطالعه قرار گیرد به این معنی است که مختصات، ایمپولس و انرژی آن فقط به‌طور تقریب مشخص شده‌اند. این مسأله از نظر کمیت با رابطه عدم قطعیت هیزنبرگ^۱ بیان می‌شود.



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

مطابق رابطه هیزنبرگ هرچه مثلاً ایمپولس دقیق‌تر معین شده

فصل سوم ۵۷

باشد، عدم قطعیت مختصات بیشتر خواهد بود. اگر عدم قطعیت ایمپولس در طول محور x را با Δp و عدم قطعیت مختصات آن را با Δx نشان دهیم، اصل عدم قطعیت هیزنبرگ چنین نوشته می شود:

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

h همان ثابت پلانک است. این اصل نتیجه مستقیم عدم تمرکز امواج است. حتی يك موج نمی تواند ناحیه ای در فضا کوچکتر از طول موج را اشغال کند.

مطابق اصل عدم قطعیت یکی از مهمترین مفاهیم مکانیک کلاسیک یعنی مفهوم مسیر ذره معنی خود را از دست می دهد. چه این مفهوم می رساند که در هر نقطه از فضا ایمپولس (یا سرعت) ذره به دقت معین شده است. حال دیگر نمی توان گفت که ذره در طول خطی حرکت می کند. مفاهیم کلاسیک شتاب و نیرو معنی خود را از دست می دهند. توضیح حرکت براساس مکانیک کلاسیک در دنیای خرد غیر ممکن می شود.

از آن جهت که ثابت پلانک خیلی کوچک است، اصل عدم قطعیت فقط برای ذرات خیلی سبک اهمیت اساسی پیدامی کند. برای جسمی بزرگ، مانند اتومبیل، اگر وضع آن را به دقت تا يك اتم تقریب منظور کنیم، عدم قطعیت در سرعت از مرتبه 10^{-24} cm/sec خواهد بود. بدیهی است که این عدم قطعیت در بسیاری موارد کوچکتر از آن است که با آن سرعتها را می توان اندازه گرفت. وضع الکترون در اتم شکلی کاملاً دیگر دارد. الکترون در فضای نزدیک به 10^{-8}

سانتیمتری اتم محدود است. عدم قطعیت سرعت الکترون با توجه به جرم ناچیز آن، به مقدار عظیم 10^8 cm/sec می‌رسد که فقط ۱۰۰ بار کمتر از سرعت نور است (عدم قطعیت سرعت از روی عدم قطعیت ایملولس 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 در مقدار انرژی ذره (ΔE) بیشتر خواهد بود:

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

این رابطه نشان می‌دهد که تحقیق اجرای قانون بقای انرژی

با دقت بیش از $\Delta E = \frac{h}{\Delta t}$ در هیچ فرایندی امکان ندارد.

با تلاش مجدانه دانشمندان در سالهای ۲۰ قرن

مکانیک کوانتومی
و شواهد عینی
(یا همانطور که اغلب در سابق می‌گفتند، حاضر مکانیکی جدید به نام مکانیک کوانتومی)

مکانیک موجی (پی‌ریزی شد که قادر است به طریزی رضایتبخش حرکت دنیای خرد را با وجود ضد و نقیض بودن خواص آن (از نقطه نظر معمولی) توضیح دهد. بنیانگذاران آن هیزنبرگ و شرودینگر هستند.

مکانیک کوانتومی مکانیک کلاسیک نیوتون را عمومیت می‌دهد

و فقط در حد نهایی، یعنی وقتی که از کمیت نهایی کوانت h می‌توان صرف نظر کرد، به آن تبدیل می‌شود. ثابت پلانک مهمترین ثابت کلی همه جانبه است که همانند سرعت نور اندازه پدیده‌ها را در

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 با سرعت نور است، از تئوری نسبیت پیروی می‌کنند.

فرایندهایی که مکانیک کوانتمی بیان می‌کند فرایندهای دنیای خردند که نه تنها به وسیلهٔ اعضای حواس قابل درک 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 ناسان از آن جمله است.

فقط اشکال معلوم را ترکیب می‌کند» (آناناتول فرانس). اشکال جادوگران و نسناسان از آن جمله است. در حالی که می‌کوشیم رفتار الکترون و ذرات دیگر را به زبان ماکروسکوپی بیان کنیم ناچار با اشکال ماکروسکوپی متناقض ذره و موج روبرو می‌شویم.

شاید عجیب‌ترین خصوصیت مکانیک جدید
احتمال و ذرات
 خصلت آماری آن باشد. رفتار حتی يك ذره
بنیادی
 همیشه به يك شکل به وسیله شرایط ماکروسکوپی

که ذره در آن شرایط قرار گرفته است، معین نمی‌شود.

هراتم پس از دریافت انرژی از خارج مدتی در حالت تحریک شده باقی می‌ماند و نمی‌تابد. این زمان کمیت اتفاقی است و لحظه تابش فوتون را نمی‌توان دقیقاً پیشگویی کرد. اگر عده‌ای زیاد از اتمهای جداگانه را در آن واحد به حالت تحریک شده ببریم، در لحظات متفاوت فوتون تابش می‌کنند. تازه این وقتی است که تحت تأثیر نیروهای خارجی قرار نگیرند.

تنها تئوری کوانتمی است که امکان می‌دهد احتمال تابش فوتون را در لحظه‌ای از زمان (دقیقتر بگوییم در فاصله بسیار محدود زمان) حساب کنیم. احتمال تابش فوتون در زمان Δt نسبت عده اتمهایی که در این زمان تولید فوتون می‌کنند به عده کل اتمهای تحریک شده است.

بدیهی است تئوری احتمالات یا آماری نمی‌تواند به طریق تجربی از راه مشاهده تابش فقط يك اتم تحقیق شود. پیشگوییهای آن یا به گروهی بزرگ از اتمها یا به سری بزرگ آزمایشهای

تکراری بایکی از آنها مربوط است.

خصلت آماری قوانین دنیای خرد هیچ چیز را، مانند تجزیه ذرات بنیادی روشن و عینی نمایش نمی دهد. برای مثال نوترون را را در نظرمی گیریم. نوترون آزاد به تعداد عظیم در پیل اتمی تولید می شود (تا 10^{18} نوترون در ثانیه). عمر متوسط آنها ۱۷ دقیقه است. اما این به آن معنی نیست که همه آنها پس از ۱۷ دقیقه متفقاً تجزیه می شوند. اصلاً این طور نیست. بعضی از آنها بلافاصله پس از خروج از هسته اورانیم تجزیه می شوند. بعضیها هم می توانند بیش از ۳۰ دقیقه به زندگی ادامه دهند.

لازم است خاطر نشان کنیم که احتمال تجزیه نوترون اصلاً به آن بستگی ندارد که چه مدت زندگی می کند. نوترونها (ذرات دیگر ناپایدار نیز چنین هستند) اصلاً پیر نمی شوند. هر تجزیه واقعه ای ناخوشایند در زندگی ذره است و نمی توان به دقت آن را پیشگویی کرد.

در حقیقت وجود قوانین احتمالات چیز تازه و غیر عادی نیست. قوانین آماری در فیزیک مدتهاست که شناخته شده است. اما قبلاً این قوانین را همیشه به دستگاههایی با عده عظیم ذرات مانند گاز در ظرف یا تکه ای جسم جامد نسبت می دادند.

اکنون آشکار شده است که حرکت و به طور کلی رفتار ذرات منفرد نیز از قوانین احتمالات پیروی می کند و جنبه آماری قوانین کاملاً مربوط به پیچیدگی دستگاه نیست. بسیاری از ذرات از راههای گوناگون یا همانطور که مصطلح است از کانالهای مختلف تجزیه

می‌شوند مثلاً K^+ - مزون که دربارهٔ آن باز هم گفتگو خواهیم داشت، ممکن است به μ^+ - مزون و نوترینو یا به π^+ - مزون و π^0 - مزون تجزیه شود. اشکال دیگر تجزیه نیز امکان دارد. پیشگویی این که تجزیه از کدام کانال صورت می‌گیرد، ممکن نیست. فقط می‌توان احتمال تجزیه از این یا آن کانال را معین کرد: به‌طور متوسط ۶۳ درصد از طریق کانال اول و ۲۱/۵ درصد از طریق کانال دوم. کانالهای دیگر کمتر محتمل است.

البته احتمال این که فرایندی نزدیک به صفریایک باشد خارج از امکان نیست. در آن صورت واقعه را می‌توان عملاً با صحت کامل پیشگویی کرد. مثلاً احتمال این که نوترون آزاد یک شبانه روز به زندگی ادامه دهد، هرچند که مساوی با صفر نیست، اما آن قدر به آن نزدیک است که با اطمینان کامل می‌توانیم بگوییم که بدون شک تجزیه خواهد شد.

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

مکانیک کوانتومی امکان می‌دهد که به پرسشی
آیا همهٔ الکترونها یک شکلهند؟
 به‌ظاهر کاملاً نومی‌دکننده پاسخ دهیم: «آیا همهٔ الکترونها (یا سایر ذرات بنیادی) مطلقاً

یک شکلهند؟» این پرسش در نظر اول از آن جهت نومی‌دکننده است که برای پاسخ دادن به آن باید اندازهٔ پارامترهای متفاوت مانند جرم، بار و... الکترون باید مورد مقایسه قرار گیرد. برای این کار باید آنها را اندازه‌گیری کرد. اما افسوس که دقت در هر اندازه‌گیری

محدود است. به همین جهت همیشه تردیدی باقی می ماند: آیا ممکن است در واقع تفاوتی بین الکترونها باشد، منتها دقت آزمایش برای دسترسی به آن کافی نباشد؟

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

دستگاههای الکترونی نیز به طوری که آزمایش نشان می دهد، مانند دستگاه ذرات همانند رفتار می کنند. اگر الکترونها اندک تمایزی از یکدیگر داشتند، در فاصله یکسان از هسته قرار می گرفتند نه در لایه های اتم، و در آن صورت جدول تناوبی عناصر وجود نمی داشت.

چنین شباهتی در دنیای بزرگ پیدانمی کنیم، زیرا موجودات بزرگ کاملاً همانند وجود ندارد و نمی تواند وجود پیدا کند. هرچند سعی کنیم دو پنجره یالی یکسان بسازیم، با وجود این آنها متفاوت خواهند بود.

همه اجسام طبیعت، چه بزرگ و چه کوچک،

اسپین

حرکت چرخشی مختص به خود دارند.

ستارگان، سیارات، اتمها می چرخند. الکترونها به دور محور خود می چرخند، درست تر بگوییم مثل اینکه می چرخند. شرط «مثل اینکه» لازم است. زیرا ذرات خرد را نمی توان گلوله هایی کوچک دانست و ذره گردنده را شبیه فرفره بچه ها پنداشت.

آری، ذره می چرخد و دارای ممان چرخشی مخصوص به خود موسوم به اسپین است. اما فرره را می توان به دلخواه به چرخش در آورد. می توان اصلاً آن را از حرکت بازداشت. انجام چنین عملی با الکترون امکان ندارد. الکترون يك بار برای همیشه به چرخش درآمده است و هیچ چیز نمی تواند ممان چرخشی آن را تغییر دهد. به همین جهت اسپین، مانند جرم یا بار الکتریکی، از خصوصیات لاینفك ذره است.

از نظر کمی اسپین ذره بنیادی دقیقاً معلوم شده است و مساوی با $\frac{\hbar}{2}$ یا $\hbar$ است ($\hbar$ ثابت پلانك است با این تفاوت كه 2π بار كوچك شده است: $\hbar = \frac{h}{2\pi}$). اسپین الکترون و هم چنین اسپین پروتون، نوترون و بسیاری ذرات دیگر مساوی با $\frac{\hbar}{2}$ است. فوتون اسپین مساوی با $\hbar$ دارد. با وجود این همه ذرات نمی چرخند. مثلاً اسپین π - مزون مساوی با صفر است.

اسپین ذره بنیادی بردار نیرو است. با این حال اسپین الکترون، به عنوان مثال، در مقایسه با سایر کمیت های برداری دارای آن خصوصیت است كه تصویر آن در هر جهت، آن طور كه تجربه نشان می دهد، فقط دو مقدار $+\frac{\hbar}{2}$ و $-\frac{\hbar}{2}$ را می پذیرد. علامتهای مثبت و منفی نشان می دهند كه چرخش الکترون به هر سو پیچ راست یا چپ را به وجود می آورد. اگر اسپین عدد صحیح باشد در آن صورت تصویر آن در جهات مختلف می تواند سه مقدار $+\hbar$ ، 0 ، $-\hbar$ -

را بپذیرد (شکل ۳).

بدیهی است که برطبق مقیاسهای ماکروسکوپی مقدار اسپین ذره بنیادی کوچک است. انسانی که روی صندلی گردان پیانوشسته است، يك چرخش را باید در طول نزدیک به 10^{27} سال انجام دهد تا همان اسپین الکترون را پیدا کند.

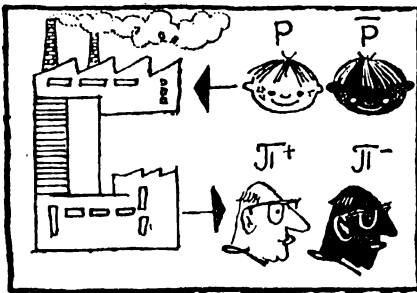
اما در دنیای خرد اندازه‌هایی مخصوص عمل می‌کنند. در این جا $\hbar$ واحد طبیعی ممان چرخشی است و در این واحدها نیز اسپین ذره بنیادی کوچک نیست.

از تمام آنچه درباره قوانین کوانتومی دنیای خرد گفته شد باید چهار واقعیت را به‌خاطر **چه چیزهایی را باید به‌خاطر سپرد** سپرد:

- ۱) دوگانگی ذره - موجی خواص موجودات خرد،
 - ۲) اصل عدم قطعیت،
 - ۳) خصلت آماری قوانین دنیای خرد،
 - ۴) اسپین ذرات بنیادی.
- همه اینها برای آشنایی با موجودات دنیای خرد لازم است.

فصل چهارم

در باب آن که چه چیز ذرات را
وامی دارد به یکدیگر تبدیل شوند



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

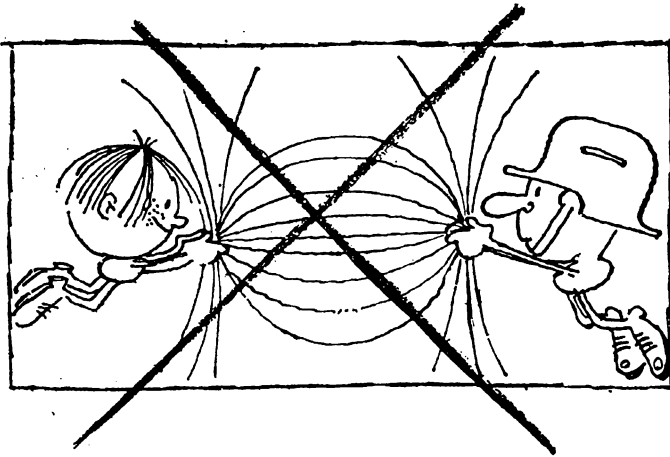
پس از ایجاد مکانیک کوانتومی تصورات ما
در باره مکانیسم تأثیر متقابل به کلی تغییر کرده
است (ابتدا فقط در باره تأثیرات متقابل

**تأثیر متقابل و
الیال**

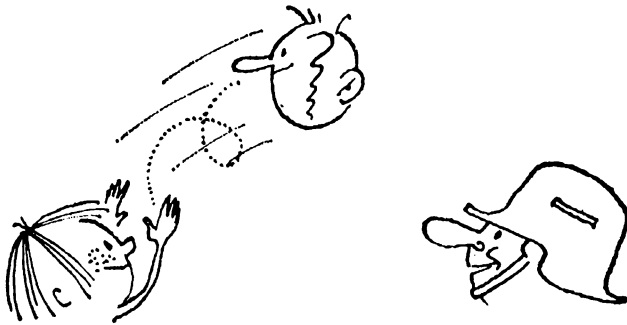
الکترومگنتیک صحبت خواهیم کرد) . از زمان فاراده تأثیرات
متقابل الکترومگنتیک را به این شکل تصور می کردند: بار الکتریکی

در فضای اطراف خود میدانی می سازد که بر دیگر بارها اثر می کند. این میدان را جوهری متصل می شمرند که در فضای اطراف بار الکتریکی همچون دشت بی درخت دور تپه ای گسترده شده است. لکن دوگانگی ذره - موجی و امی دارد در جستجوی خصلت انفصالی در اتصالی باشیم. میدان باید « چهره » ذره ای هم داشته باشد. اثر متقابل را باید از نقطه نظر خاص تئوری کوانتومی دریافت. این اثر چنین به نظر می آید: يك ذره باردار مدام فوتون می تابد که به وسیله ذره باردار دیگر جذب می شود. این فوتونها واسطه تأثیر متقابلند. ذره باردار دوم نیز درست به همین شکل فوتون می تابد که به وسیله ذره اول جذب می شود. این مبادله ذرات، همچون مکانیسم تأثیر متقابل، منظره کلاسیک پیشین ترجمه به زبان کوانتومی است.

ذرات در تأثیر متقابل سرگرم نوعی بازی شبیه والیبالند و چنان سرگرم و شیفته بازی خود هستند که مثلاً الکترون با پروتون در اتم هیدروژن دستگاهی بهم پیوسته را تشکیل می دهند که برای برهم زدن آن انرژی محسوسی لازم است. يك استنباط چنین است. استنباط دیگر نیز این است که هیچ نوع پرتگاهی بین ماده و میدان وجود ندارد. هم آن که در تأثیر متقابل شرکت می کند و هم آن که تأثیر متقابل را منتقل می کند، سرانجام همچون ذرات بنیادی در برابر ما ظاهر شده اند.



ذرات در تأثیر متقابل به سرگرم نوعی بازی شبیه والیبالند.



اما چگونه می‌توان تابش فوتون ذره باردار
را معجم کرد؟ آخر ممکن نیست الکترون را
چیزی شبیه ساعت قدیمی بامرغکی که پس از
گذشت يك ساعت بیرون می‌جهد، پنداشت. فوتون قبل از تابش
در داخل الکترون نبوده است. فوتون در داخل هسته پنهان نمی‌شود
بلکه در همان عمل تابش به وجود می‌آید.

در موز هستی
و نیستی

دربارهٔ خلق ذرات بارها صحبت کرده‌ایم و شما هم بااین

مسأله خو گرفته‌اید. اما بیایید در این باره که الکترون ساکن چگونه می‌تواند فوتون بتابد، کمی بیندیشیم. انرژی الکترون قبل از تابش فوتون حداقل ممکن و مساوی با انرژی سکون m_0c^2 است. کاهش این انرژی ممکن نیست. اما با وجود این الکترون فوتون انرژی خلق می‌کند. پس چگونه ممکن است این عمل با قانون بقای انرژی مطابقت داشته باشد؟ از نقطه نظر فیزیک کلاسیک چنین فرایندی امکان ندارد.

اما برای ذرات، رابطه عدم قطعیت هیزنبرگ اساسی و مهم است. به خاطر بیاورید بر طبق این رابطه، در فاصله زمانی Δt انرژی نمی‌تواند با تقریب بیش از $\Delta E \sim \frac{h}{\Delta t}$ معین شود. اگر طول مدت فرایند کوتاه باشد، عدم قطعیت انرژی در دستگاه به اندازه کافی بزرگ است و تابش فوتون به وسیله الکترون در اصل فرایندی مجاز می‌نماید.

فوتون در فاصله زمانی آنقدر کوتاه می‌تابد و از نو جذب می‌شود که ائتلاف انرژی نامحسوس باقی می‌ماند و در مجموع می‌توان انرژی را بدون تغییر به حساب آورد. این مدت فقط 10^{-21} ثانیه است. چنین است زمان مخصوص فرایندهای الکتروماگنتیک. انرژی در آغاز و در پایان فرایند یکی است.

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

آنها را به كمك كنتره‌های معمولی یا به وسیله اتاق ویلسون نیز نمی-
توان مشاهده کرد. به همین جهت چنین فوتونها را مجازی می‌نامند
تا از ذرات واقعی معمولی که می‌توان با دستگاههای مناسب ثبت کرد،
متمایز باشند. فوتونهای مجازی در مرز هستی و نیستی وجود دارند.
اینها ذره-شبه‌هایی هستند که در تئوری پدیدار می‌شوند تا فرایندهایی
را که در دنیای خرد صورت می‌گیرند، هر چند تا اندازه‌ای عینی
سازند. ولی آنها از اشباح معمولی که انسان با تخیل می‌سازد،
تفاوت زیاد دارند. اشباح پراکنده می‌شوند و اگر سعی کنید آنها
را بگیرید، به هیچ تبدیل می‌شوند. اما اگر به الکترون انرژی بدهیم
و سرعت آنها را زیاد کنیم، فوتونهای مجازی نیز به ذرات معمولی
« نیک سرشت » تبدیل می‌شوند.

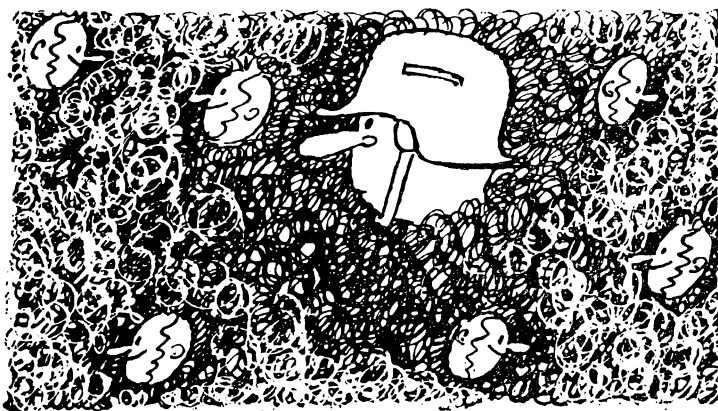
باری تأثیر متقابله الکتروماگنتیک از آنجا نتیجه می‌شود که
يك ذره باردار فوتون می‌تابد و ذره دیگر آن را جذب می‌کند.

ولی آیا ممکن است ذرات، خود کوانتهای
« طرز زندگی » تابیده خود را جذب کنند؟ از قرار معلوم این
ذرات باردار امکان وجود دارد. بعلاوه فرایند تابش و جذب

پی در پی فوتونهای مجازی اساس « فعالیت حیاتی » هر ذره باردار
را تشکیل می‌دهد. مثل اینکه ذره با خود در تأثیر متقابله است.

اندازه بار الکتریکی درست شدت فرایند خلق و جذب فوتونها
را معین می‌کند و چون فوتونها ناقل تأثیرات متقابله اند پس مقدار
نیروهای الکتروماگنتیک با فاصله زمانی خلق و جذب فوتون، یعنی
با دوره « تنفس » ذره باردار معین می‌شود.

از روی کوانتتهای مجازی می‌توان انرژی تأثیر متقابل ذره با خود را حساب کرد. لکن این محاسبه، متأسفانه، به نتیجه‌ای بی‌معنی منجر شده است: انرژی تأثیر متقابل ذره با خود و در نتیجه جرم ذره باردار بینهایت بزرگ است، جرم «پوستین» فوتونی و در نتیجه جرم خود الکترون بی‌اندازه زیاد است. بدون شك تأثیر متقابل با میدان خود باید مقداری بر جرم ذره بیفزاید، اما نه بینهایت! راه نجات از این دشواریها تاکنون پیدا نشده است.



الکترون با «پوستین» فوتونی احاطه شده است.

در سال ۱۹۳۰ دیراک^۱ فیزیکدان انگلیسی به این ذرات و ضد ذرات نتیجه رسید که الکترون دارای همزاد یعنی

ذره‌ای است که از هر جهت شبیه الکترون فقط با علامت الکتریکی مخالف است. چنین ذره‌ای به راحتی کشف شد. نام این ذره را پوزیترون گذاشتند. این ذره همانند الکترون کاملاً پایدار است، لکن به محض برخورد با الکترون نابود می‌شود و الکترون را نیز

با خود نابود می‌کند. در این برخورد فوتونهای با انرژی زیاد به وجود می‌آیند.

عکس این فرایند نیز امکان دارد. مثلاً بر اثر برخورد فوتون انرژی زیاد (جرم آن باید بیش از مجموع جرمهای ذرات تولیدشونده در حالت سکون باشد) با هسته، جفت الکترون - پوزیترون به وجود می‌آید.

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

پس از اینکه آزمایش پیشگویی تئوری را به طرزی درخشان تأیید کرد، بنابه گفته ج. اسنو^۱ نویسنده وفیزیکدان مشهور، همگی احساس شعف زائد الوصف کردند. از نو همان حرفهای گذشته را تکرار کردند که قوانین اساسی رهبر رفتار ذرات یعنی خشتهای کائنات، يك بار برای همیشه شناخته شده است و حالا فقط این مانده است که آنها را برای توضیح پدیده‌های پیچیدگیهای گوناگون به کار ببریم.

بعدها همزادها یعنی ضد ذرات تقریباً تمام ذرات پیدا شدند. جرم ضد ذره مساوی با جرم ذره ولی با بارهای مخالف است (بعد خواهیم دید که غیر از الکتریسته بارهای دیگر هم وجود دارد). همین چندی پیش آنتی پروتون و آنتی نوترون کشف شد.

اینک ما می‌دانیم که پیدایش جفتها و نابودی آنها منحصر به الکترون و پوزیترون نیست.

فقط در موارد نادر، ذرات ضد ذره ندارند، مانند فوتون، π^0 - مزون و η^0 - مزون.

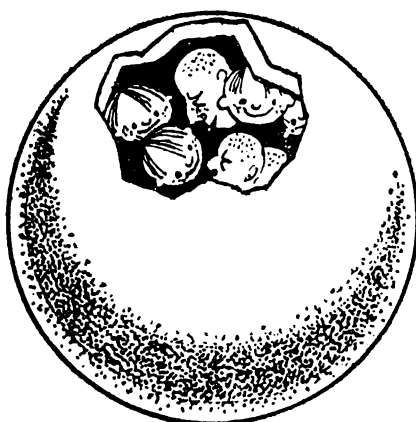
اما در این مورد نیز می‌توان تصور کرد که ضد ذرات وجود دارند لکن تمام خواص آنها با ذرات یکی است. فوتون، π^0 - مزون و η^0 - مزون هیچ نوع باری ندارند و به همین جهت ذره هیچ تفاوتی با ضد ذره ندارد. آنها هم بر اثر برخورد می‌توانند همانند جفت ذره - ضد ذره نابود شوند. مثلاً بر اثر برخورد دو فوتون جفت الکترون - پوزیترون یا جفتی دیگر به وجود آید.

تئوری کوانتومی حرکت الکترون‌ها و واکنش هسته اتم ... آنها با فوتون‌ها، یعنی با میدان الکترومگنتیک، پوسته الکترونی اتم و تمام وقایعی را که امکان دارد در آن رخ دهد به خوبی تشریح می‌کند. حتی یک آزمایش نیست که از نظر کمی تئوری را توضیح ندهد. اگر این مسأله را در نظر بگیریم که خود ذرات و ترکیب آنها همچنان اسرارآمیز مانده‌اند، در اتم معمایی وجود ندارد.

تا سال ۱۹۳۲ پاسخی درباره مسأله ساختمان هسته وجود نداشت. معلوم شده بود که هسته ساده‌ترین اتم، هسته اتم هیدروژن، ذره باردار مثبت یعنی پروتون است. اما سایر هسته‌ها از چه ساخته شده‌اند؟ ممکن بود تصور کرد (ابتدا نیز همین طور تصور می‌کردند) که در هسته علاوه بر پروتون‌ها تعدادی الکترون نیز قرار دارد، عده

پروتونها از عده الكترونهاى هسته بيشتر است ، پروتونهاى اضافى بار مثبت هسته را تشكيل مى دهند و با عده الكترونهاى پوسته اتم مطابقت دارند.

با وجود اين به علل زياد مجبور شدند از چنين تصويرى چشم بپوشند. يکى از آن علل: ابعاد هسته بسيار كوچك است (10^{-13}cm). پس عدم قطعيت مختصات ذره داخل هسته از مرتبه 10^{-13} سانتيمترى است كه امكان مى دهد به كمك اصل عدم قطعيت هيزنبرگ عدم قطعيت ايمپولس و در نتيجه مقدار انرژى جنبشى هدر رفته الكترون را معين كنيم. اين مقدار هدر رفته با جرم ذره نسبت عكس دارد و براى الكترونها بقدرى عظيم است كه هيچ نيروى قادر به نگهدارى آنها در داخل هسته نيست. به همين علت هم نمى توان نوترون را متشكل از پروتون و الكترون دانست.



اکنون مدل پروتون -
نوترونی هسته مسلم است

چدويك^۱ در سال ۱۹۳۲ ذره بنیادی سنگین جدید یعنی نوترون

را که جرمش کمی بیش از پروتون است، کشف کرد. در همان زمان نیز فرضیه‌ای ابراز شد (در اتحاد شوروی به وسیلهٔ ایواننکو^۱ و در آلمان به وسیلهٔ هیزنبرگ^۲) که نوترون‌ها همراه پروتون‌ها هسته‌های اتمی را می‌سازند. اکنون مدل پروتون - نوترونی هسته مسلم است. ذرات بانوعی نیروهای تأثیر متقابل خود را در داخل هسته‌نگه می‌دارند. بعلاوه این نیروها بسیار بزرگند. اینها چه نیروهایی هستند؟ آشکارا می‌توان گفت که این نیروها نیروهای جاذبه نیستند، زیرا نیروهای جاذبه زیاده از حد کوچکند. پایداری هسته را به نیروهای الکتروماگنتیک نیز نمی‌توان نسبت داد، زیرا بین پروتون‌ها (بارهای همانم) نیروی دافعه عمل می‌کند که سعی دارد هسته را متلاشی کند. بنابراین بین ذرات هسته یعنی نوکلئونها^۳ نیرو-

... و نیروهای هسته‌ای

هایی مخصوص عمل می‌کنند. به خودی خود نامی برای آنها پیدا شده است - نیروهای

هسته‌ای. خواص اساسی نیروهای هسته‌ای چگونه است؟

قبل از همه اندازهٔ نیروهای هسته‌ای است. مقدار این نیروها تقریباً صدبار بیش از نیروهای الکتروماگنتیک است. این نیروها از تمام نیروهایی که طبیعت در اختیار دارد، نیرومندترند. اکنون فیزیکدانان میل دارند هرچیز را مستقیماً به نام خود آن بنامند و از این راه اصطلاحات رسمی بسازند. مطابق این رویه نیروهای هسته‌ای را اغلب تأثیرات متقابل قوی می‌نامند. بعلاوه تأثیرات متقابل قوی تنها عبارت از تأثیر متقابل نوکلئونها در هسته نیست. تأثیرات متقابل

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

ویژگی مهم دیگر نیروهای هسته‌ای یا تأثیرات متقابل قوی خصلت تأثیر آنها در فاصله کوتاه است. نیروهای الکتروماگنتیک دارای خصلت تأثیر در فاصله دورند. آزمایشهای مستقیم نشان می‌دهد که نیروهای هسته‌ای فقط در فاصله ابعاد هسته‌ای از مرتبه 10^{-13} - 10^{-12} سانتیمتری به طور محسوس ظاهر می‌شوند، یعنی غولی بادستهای بسیار کوتاه. اما طبیعت نیروهای هسته‌ای چگونه است؟

بامطالعه منظره تأثیر متقابل ذرات باردار از
مزونها-کوانتهای
میدان هسته‌ای
 نظرگاه تئوری کوانتمی آشکار ساختیم که این
 منظره شبیه بازی والیبال است. ذرات باردار
 ذرات بین میدانی یعنی فوتونها را مبادله می‌کنند (به سوی یکدیگر
 پرتاب می‌کنند).

اگر نخواهیم به عقیده رد شده قرن نوزدهم بازگردیم، باید
 قبول کنیم که تأثیر متقابل بین پروتونها و نوترونها به وسیله میدانی
 مخصوص صورت می‌گیرد.

اگر میدانی وجود دارد پس کوانتهای این میدان یعنی ذره
 بنیادی مخصوص نیز باید وجود داشته باشد. تأثیر متقابل نوکلئونها
 در داخل هسته باید به وسیله ذراتی صورت گیرد، به عبارت دیگر
 نوکلئونها باید ذرات ناقل تأثیر متقابل را به سوی یکدیگر پرتاب
 کنند.

برای نخستین بار فیزیکدان ژاپونی هیدکی یوکاوا^۱ به چنین نتیجه‌ای رسید. یوکاوا بادر نظر گرفتن این حقیقت آشکار که نیروهای درون هسته‌ای دارای خصلت تأثیر در فاصله کوتاه هستند و در فاصله بیش از ابعاد هسته عملاً اثر ندارند، توانست جرم ذره - کوانت میدان هسته‌ای را برآورد کند. این محاسبه به کمک اصل عدم قطعیت بسیار آسان است.

تابش کوانت بین میدانی به وسیله پروتون یا نوترون فرایندی مجازی است. انرژی کوانت ε باید در چهارچوب آن انرژی هدر رفته که رابطه عدم قطعیت جایز می‌شمارد، جای گیرد:

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

مدت Δt ظاهراً چیزی جز مدت اقامت ذره ناقل تأثیر متقابل در فاصله بین لحظه تابش و لحظه جذب (مدت تأثیر متقابل) نیست. اما این مدت مساوی باراه طی شده l بخش بر سرعت است. راه طی شده مساوی باشعاع عمل نیروهای هسته‌ای ($l \sim 10^{-13} \text{ cm}$) است، و سرعت را نیز می‌توان تقریباً مساوی با سرعت سیر نور فرض کرد. بنابراین:

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

در نتیجه انرژی کوانت و اکنش هسته‌ای چنین خواهد بود:

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

و از آنجا جرم معادل باین انرژی از فرمول:

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

به دست می آید. تمام مقادیر در اینجا از روی آزمایش معلوم شده اند. پس از قرارداد مقدار ثابت پلانک h ، شعاع عمل l و سرعت نور c معلوم می شود که جرم m باید تقریباً مساوی با ۲۰۰-۳۰۰ برابر جرم الکترون باشد.

این جرم حد واسط بین جرم الکترون و جرم پروتون است. به همین جهت ذرات فرضی جدید نام مزونها را گرفتند، یعنی «ذرات میانی».

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

پژوهشها با موفقیت توأم بود اما نه یکباره.

آغاز دوره «سرکشی» يك سال پس از پیشگویی یو کاوا از روی فوتوگرافیهای اشعه کیهانی در اتاق ویلسون بنیادی

رد ذرات جدیدی را پیدا کردند. اینها ذرات

باردار مثبت و منفی با جرم نزدیک به ۲۰۷ برابر جرم الکترون بودند.

در بدو امر کسی تردید نداشت که این ذرات همان مزونها یو کاوا هستند. تحقیقات دقیق به کشف چیزهایی عجیب و غریب منجر شد.

اگر مزون کوانت میدان هسته ای است پس باید با هسته آنها

یعنی با پروتونها و نوترونها در تأثیر متقابل شدید باشد. اما آزمایشها

نشان دادند که ذرات جدید (آنها را میو - مزون یا میوئون^۱ نامیدند) بی‌علاقگی نامفهومی نسبت به هسته‌ها نشان می‌دهند. میوئون‌ها فقط قادر به شرکت در تأثیرات متقابل الکترومگنتیک هستند و اصلاً شرکت در تأثیرات متقابل قوی را نمی‌پذیرند. میو - مزون آن ذره‌ای نبود که ابتدا فرض کرده بودند و برای توضیح کائنات لزوم حیاتی داشت. به همین جهت کشف آن آغاز دوره «سرکشی» در فیزیک 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 به چنین «خویشاوندی» نیازمند است، تا امروز روشن نشده است. درباره این ذره باز هم در صفحات بعد گفتگو خواهیم داشت. این تنها ذره‌ای نیست که وجود آن بوالهوسی طبیعت سخاوتمند را می‌رساند.

بالاخره در سال ۱۹۴۷ به راستی آن مزون‌هایی

π - مزون

که یوکاوا پیشگویی کرده بود، کشف شد.

به این ذرات نام π - مزون (پی - مزون) یا پیون^۲ دادند. پیون‌ها با هسته‌ها در تأثیر متقابل شدیدند.

همانطور که تئوری نیز پیشگویی کرده بود، معلوم شد که

مزون‌های π بر سه نوعند: با بارهای مثبت، منفی و خنثی. جرم π - مزون خنثی $2/264$ برابر جرم الکترون و جرم مزون‌های π مثبت و منفی مساوی با $2/273$ برابر جرم الکترون است. پیون‌های باردار صدمبار و π^0 - مزون ده میلیارد بار کمتر از میوئون‌ها عمر می‌کنند.

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

مزونهای π فعالانه در تأثیرات متقابل هسته‌ای شرکت می‌کنند. اما هم پروتون‌ها و هم نوترون‌ها فقط با مبادله π^0 - مزون آزادانه به یکدیگر تبدیل می‌شوند. π^+ - مزون به‌طور مجازی فقط به وسیله پروتون می‌تابد و تنها جذب نوترون می‌شود. برعکس π^- - مزون فقط به وسیله نوترون می‌تابد و تنها به وسیله پروتون جذب می‌شود. پروتون و نوترون بر اثر مبادله مزونهای باردار به یکدیگر تبدیل می‌شوند.

بنابراین نوکلئون‌ها به وسیله میدان هسته‌ای که **«پوستین» مزونی نوکلئون‌ها** از مزونهای مجازی تشکیل یافته است در تأثیر متقابله‌اند. نوکلئون منفرد هم در اطراف خود میدان مزونی می‌سازد و به عبارت دیگر دائماً مزونهای π مجازی می‌تابد و جذب می‌کند. این فرایند اساس «فعالیت حیاتی» پروتون‌ها و نوترون‌ها است، همچنانکه تابش و جذب فوتون‌ها اساس «فعالیت حیاتی» ذرات باردار الکتریکی است.

هر نوکلئون دارای بار هسته‌ای، 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. همان‌طور که خاطر نشان شد تأثیرات متقابل هسته‌ای صدمبار شدیدتر از تأثیرات متقابله الکترومگنتیک است. بنابراین جذب و تابش مزون‌ها به وسیله نوکلئون‌ها صدمبار سریعتر از جذب و تابش

فوتونها به وسیله بارهای الکتریکی صورت می گیرد. زمان مخصوص هسته ای 10^{-23} ثانیه است.

نوکلئون همیشه به وسیله ابری متراکم از مزونهای باردار و خنثی و به قول دانشمندان «پوستین» مزونی احاطه شده است. اگر تأثیرات متقابل هسته ای قطع شود، نوکلئون «لخت» به نظر می رسد.

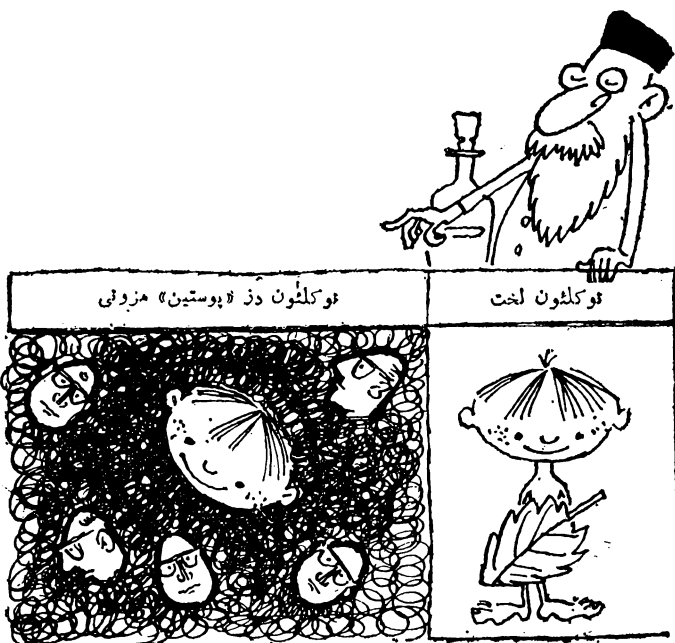
در حقیقت تأثیر متقابل نوکلئون با مزونها را **ساختمان نوکلئونها** به هیچ شکلی نمی توان قطع کرد. به همین جهت «پوستین» مزونی جزء لاینفک خود نوکلئون، عنصر ساختمانی آن است. از آن زمان که شروع به تحقیق ساختمان اتم کردند تاحال، ساختمان ذرات بنیادی مسأله روز بوده است. لکن این مسأله جدید خیلی پیچیده تر است.

اتم به سادگی از الکترونها و هسته تشکیل یافته است. اما پروتون اصلاً از مزونها ساخته نشده است. پروتون لاینقطع مزونها را به وجود می آورد و از نو آنها را جذب می کند اما خود از آنها ساخته نشده است. با وجود این ساختمان پیچیده ذره وجود دارد. ابر مزونی ابعادی محدود دارد. هرچند مزونها مجازی اند، به هیچ وجه نمی توان منکروجود آنها شد. فقط جذب و تابش آنها بینهایت سریع است و به علت نداشتن انرژی کافی نمی توانند خود را به عنوان ذره حقیقی آشکار سازند. هنگام برخورد پروتونهای سریع مزونها از ابرهای محیطی پروتونها جدا می شوند و به صورت ذرات مستقل عرض وجود می کنند. آنها به حساب انرژی جنبشی پروتونها

انرژی «کافی برای هستی» می گیرند.

به منظور تحقیق انتشار بار در نوکلئونها آنها را با الکترونهای سریع بمباران می کنند. چرا با الکترونهای سریع؟ ببینید چرا. ساختمان نوکلئونها را باید تحقیق کنند. ابعاد آنها از مرتبه 10^{-13} cm است. ولی الکترونها خواص موجی دارند. هرچه طول امواج الکترونی کوچکتر باشد ایمپولس الکترونها بیشتر است. برای تحقیق ساختمان هرچیز بدون شک امواج با طول کمتر از ابعاد آن چیز لازم است. و گرنه به سبب دیفراکسیون، امواج آن را دور می زنند و هیچیک از قسمت های آن کشف نمی شود. معلوم شده است که برای تحقیق ساختمان نوکلئونها، الکترونها باید انرژی کمتر از صد - میلیون الکترون ولت نداشته باشند. چنین انرژی را می توان به وسیله شتابدهنده های مخصوص به الکترون داد.

چرا مخصوصاً الکترونها را به عنوان گلوله انتخاب کرده اند؟ مطلب در این است که نوکلئونها الکترونها را پراکنده می کنند. از روی منظره پراکندگی که از تئوری تأثیرات متقابل الکتروماگنتیک نتیجه می شود، می توان ابعاد نوکلئون را معین کرد و حتی توزیع بار را در داخل آن حساب کرد. چون الکترون تحت تأثیر نیروهای هسته ای قرار نمی گیرد، چنین روشی برای تعیین خصلت توزیع بار الکتریکی در داخل نوکلئون مثمر ثمر است. ذراتی را که شدیداً در تأثیر متقابله شرکت دارند، تقریباً نمی توان به عنوان گلوله به کار برد. زیرا به تفصیل نمی دانیم که آنها چگونه به وسیله نیروهای هسته ای پراکنده می شوند.



فوکلتون به وسیله «پوستین» پی - مزونی احاطه شده است.

آزمایش‌ها نشان داده‌اند که تراکم بار به تدریج از مرکز به سوی نقاط دور افتاده هسته کاهش می‌یابد و در فاصله $10^{-13} \times 1/4$ سانتیمتری از مرکز می‌توان آن را مساوی با صفر دانست (شکل ۴). در داخل نوترون لایه‌های باردار قرار دارند که تراکم بار در آنها به طرزی پیچیده تغییر می‌یابد.

جالب اینجاست که با وجود پراکندگی بار در فضا، حتی يك جزء از آن را نمی‌توان جدا کرد.

اینها قدمه‌های نخستین به داخل ذره بنیادی است. ساختمان ذرات به راستی باز هم پیچیده‌تر است. تنها π - مزون نیست که در

ساختمان نوکلئون شرکت دارد. ذرات دیگر نیز باید نقشهایی نسبتاً مهم ایفا کنند. در این باره بعداً صحبت خواهیم داشت.

نیروهای هسته‌ای بین نوکلئونها عمل می‌کنند،
خانواده‌های ذراتی اما پروتون از نوترون با بار الکتریکی و جرم
که در تأثیرات متقابله متمایز است. آیا این وجه تمایز می‌رساند
قوی شرکت دارند که نیروهای پروتون - پروتونی، نوترون -

نوترونی و پروتون - نوترونی متفاوت هستند؟

آزمایشهای دقیق از روی درجهٔ پراکندگی نوکلئونها روی یکدیگر نشان داده‌اند که نیروهای هسته‌ای، اگر از بعضی جزئیات چشمپوشی کنیم، برای هر جفت نوکلئون یکسان است. بار الکتریکی اثری بر این نیروها ندارد و از قرار معلوم مستقل از نیروهای هسته‌ای است.

این واقعیت مهم امکان می‌دهد تا به پروتون و نوترون از نظر گاهی جدید توجه کنیم. اگر پروتون بار الکتریکی نداشت، چگونه ممکن بود آن را از نوترون تمیز داد؟ هر دو نسبت به تأثیرات متقابلهٔ قوی کاملاً یکسان عمل می‌کنند و اسپین یکسان دارند. حتی مختصر تفاوت در جرم هم منشأ الکترومگنتیک دارد. اگر بار الکتریکی را از میان ببریم، جرمها یکی می‌شوند و در آن صورت پروتون و نوترون را نمی‌توان از یکدیگر تمیز داد.

این حقایق ما را معتقد می‌کند که پروتون و نوترون را در اصل يك ذره اما در حالات بارداری متفاوت بدانیم.

پروتون و نوترون تنها نمونه دوقلوهایی نیستند که فقط با

لباسهای الکتریکی خود از یکدیگر متمایزند. تفاوت سه π - مزون هم فقط در بار الکتریکی آنهاست و در نتیجه تفاوت مزونهای باردار و خنثی از نظر جرم بسیار اندک است. آنها را می توان يك ذره در حالات بارداری متفاوت پنداشت.

در صفحات آینده خواهیم دید که همه ذراتی که در تأثیرات متقابل قوی شرکت دارند بدون استثنا در گروههایی به نام مولتیپلهای باردار متحد می شوند. ذراتی که در يك مولتیپل 'باردار' جادارند فقط به وسیله حالت بارداری از یکدیگر متمایزند. انتساب به يك مولتیپل باردار مهمترین نشانه در شناسنامه ذرات بنیادی است. اتحاد ذرات جداگانه در مولتیپلها عناصر یگانگی ذرات بنیادی را آشکار می سازد.

لکن فیزیکدانان فقط به اتحاد ذرات در مولتیپلها اکتفا نکرده اند و کوشیده اند ماهیت این اتحاد را هر چه بیشتر روشن کنند. در جریان حل این مسأله کمیته جدید به نام اسپین ایزوتوپی^۲ به کار رفته است. این کمیته و نقش آن در طبقه بندی ذرات بنیادی چیست؟

هر مولتیپل باردار با مقداری اسپین ایزوتوپی **اسپین ایزوتوپی** مطابقت دارد. اگر مولتیپل فقط از يك ذره تشکیل یافته باشد، اسپین ایزوتوپی آن را مساوی با صفر می گیرند. به مولتیپل متشکل از دو ذره (مثلاً^۳ به دوپلت^۲ نوکلئونها که از پروتون و نوترون تشکیل یافته است) اسپین ایزوتوپی $I = \frac{1}{2}$ ، به مولتیپل از سه ذره (مثلاً^۴ به تریپلت^۲ π - مزون) اسپین ایزوتوپی

$I = 1$ ، به مولتیپلت از چهار ذره (کوارتت^۱) اسپین ایزوتوپی را نسبت می‌دهند. به این طریق اگر در مولتیپلت باردار n ذره شرکت کند، اسپین ایزوتوپی $I = \frac{1}{4}(n-1)$ را به آن نسبت می‌دهند.

اما چرا در اینجا اسپین را به کار برده‌اند؟ اگر منظور اسپین معمولی یعنی ممان چرخشی است، در آن صورت دلیلی برای انتخاب آن در اینجا وجود ندارد. شباهت فقط منحصر به این است که دستگاه ریاضی که استقلال باردار را تأثیر متقابل قوی را با برقراری اسپین ایزوتوپی بیان می‌کند، همان دستگاهی است که برای بیان اسپین معمولی به کار می‌رود. به خاطر بیاوریم اگر اسپین مساوی با $\frac{1}{4}$ در آحاد $\hbar$ باشد، دوسمتیگری امکان وجود پیدامی-کند. تصویر اسپین در هر جهت مقادیر $+\frac{\hbar}{4}$ یا $-\frac{\hbar}{4}$ را می‌پذیرد. الکترون و ذرات دیگر که این اسپین را دارند، در دو حالت اسپینی متفاوت قرار می‌گیرند.

درست به همین شکل، گروه متشکل از دوزره‌ای که در حالات باردار متفاوت قرار دارند نیز با اسپین ایزوتوپی $I = \frac{1}{4}$ مطابقت می‌کند. به همین جهت مانعی وجود ندارد تا به هر یک از اعضای خانواده‌های هم اسپین، مقدار معین «تصویر اسپین ایزوتوپی روی محور Z » را نسبت دهیم. این مقدار برای پروتون $I_z = +\frac{1}{4}$ و

برای نوترون $I_z = -\frac{1}{2}$ است. به راستی صحبت دربارهٔ تصویرهای روی محور مختصات فضا و مکان معمولی نیست بلکه گفتگو دربارهٔ فضا و مکان ایزوتوپی صوری است، وانگهی ما وارد عمق این مسائل نمی‌شویم. باید اطمینان داشت که اصل شباهت بین اسپین ایزوتوپی و اسپین معمولی به قدر کافی روشن است.

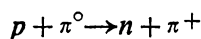
خانوادهٔ π - مزون با اسپین ایزوتوپی $I = 1$ مشخص می‌شود. مقدار تصویر I_z برای π^+ - مزون $I_z = +1$ ، برای π^0 - مزون $I_z = 0$ و برای π^- - مزون $I_z = -1$ است. همانطور که می‌بینید اسپین ایزوتوپی مساوی با ۱ می‌تواند در سه حالت اسپینی متفاوت قرار گیرد که بامقادیر تصویر اسپین روی محور Z یعنی با $+1$ ، 0 ، -1 در آحاد $\hbar$ مطابقت دارد (شکل ۵).

تمام این اطلاعات را می‌توان در جدولی جای داد.

تصویر اسپین ایزوتوپی	بار ذره	اسپین ایزوتوپی	عدهٔ ذرات در مولتیپلت	علامت ذره
$+\frac{1}{2}$	$+1$	$\frac{1}{2}$	2	p
$-\frac{1}{2}$	0			n
$+1$	$+1$	1	3	π^+
0	0			π^0
-1	-1			π^-

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

با این ترتیب با اسپین ایزوتوپی و تصویر آن آشنا شدیم. اما برای چه آن را وضع کرده‌اند؟ اسپین ایزوتوپی در تأثیرات متقابلۀ قوی کمیتی پایدار است. مجموع مقدار اسپین ایزوتوپی در تمام فرایندها، تمام تبدیلات ذرات بنیادی که به وسیله تأثیرات متقابلۀ قوی صورت می‌گیرد، بدون تغییر می‌ماند. فقط باید در نظر داشت که اسپین ایزوتوپی بردار نیرو است و اسپین ایزوتوپی کلی حاصل جمع بردارهای مربوط به ذرات متفاوت است. طول بردار اسپین-ایزوتوپی کلی بدون تغییر می‌ماند. مثلاً در واکنش



مقدار اسپین ایزوتوپی تغییر نمی‌کند. قبل از واکنش $I = \frac{3}{2} + 1 = \frac{5}{2}$

و بعد از واکنش نیز $I = \frac{3}{2} + 1 = \frac{5}{2}$ است.

بقای اسپین ایزوتوپی به نتایجی بسیار مهم مخصوصاً در تئوریهای هسته‌ای و واکنشهای هسته‌ای منجر می‌شود. لکن این نتایج زیاده از حد پیچیده‌اند و ما از آن می‌گذریم. از نظر فیزیکی اسپین ایزوتوپی به معنی استقلال بارداري تأثیرات متقابلۀ قوی است. قانون بقای اسپین ایزوتوپی تنها قانون بقاست که فقط در تأثیرات متقابلۀ قوی اجرا می‌شود. تأثیرات متقابلۀ دیگر، مثلاً تأثیرات متقابلۀ الکترومگنتیک، مقدار آن را تغییر می‌دهند. چرا؟ تاکنون روشن نشده است.

با تأثیرات متقابلۀ الکتروماگنتیک، هرچند
آیا ممکن است نیروی جاذبۀ گرانشی را از یادبرد؟
 به طور سطحی، آشنا شدیم. این نیروها بر
 حرکت ذرات اثر می‌کنند و موجب سری
 کامل تبدیل ذرات به یکدیگر می‌شوند. لکن

غیر از نیروهای الکتروماگنتیک و هسته‌ای نیروی جاذبۀ گرانشی نیز
 وجود دارد. همه با آثار آن به‌خوبی آشنایی داریم. همین نیرو
 است که مارا بر روی کره زمین نگه می‌دارد. بشر برای غلبه بر نیروی
 جاذبۀ گرانشی و خروج به فضای کیهان دست به کوششهای قهرمانانه
 زده است. تهدید نیروی جاذبۀ گرانشی مثلاً در کوهها یا حتی در
 کنار بالکن برهمگی آشکار است. این نیرو عظیم است، اما... عظیم
 است فقط برای آنکه کره زمین عظیم است.

اصلاً نیروی جاذبۀ گرانشی ناتوانترین نیروهاست. مثالی
 می‌آوریم. دو انسان با وزن متوسط در فاصله یک متری یکدیگر
 با نیروی نزدیک به سه صدم میلیگرم یکدیگر را جذب می‌کنند. ولی
 اگر عده الکترونهای هریک فقط یک درصد بیش از عده پروتونها
 باشد، نیروی تأثیر متقابلۀ الکتروستاتیکی بین آنها، به‌طوری‌که
 فینمان^۱ خاطر نشان می‌کند، مساوی با نیروی جاذبه بین دو کره زمین
 است که در کنار هم قرار گرفته‌اند. مجسم کنید که نیروی جاذبۀ گرانشی
 چقدر ضعیف‌تر از نیروهای الکتروماگنتیک است. نیروی جاذبۀ
 گرانشی الکترون به‌سوی پروتون در اتم $۱۰^{۳۹}$ بار کوچکتر
 از نیروی جاذبۀ الکتریکی است.

به علت همین ضعف منحصر به فرد نیروی جاذبه گرانشی در مقیاس دنیای خرد است که می توان از آن به طور کامل چشمپوشی کرد. فیزیک امروزی ذرات بنیادی فیزیک بدون جاذبه گرانشی است. با وجود این لازم است چند کلمه هم درباره تأثیر متقابل نیروهای جاذبه گرانشی صحبت کنیم.

تئوری کلاسیک معمولی میدان جاذبه گرانشی، آثار کوانتومی را در نظر نمی گیرد. بر طبق تئوری کوانتومی، هر میدان و از آن جمله میدان جاذبه گرانشی باید دارای خواص ذره ای باشد. با هر میدان ذراتی مطابقت می کند. بنابراین با میدان جاذبه گرانشی نیز باید ذراتی، ناقل تأثیر متقابل نیروهای جاذبه گرانشی، مطابقت داشته باشد. به این ذرات نام گراویتون^۱ را داده اند. 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 $\frac{2}{h}$ باشد.



دو انسان با وزن متوسط در فاصله یک متری یکدیگر با نیروی نزدیک به سه صد میلیگرم یکدیگر را جذب می کنند.

اما هیچکس گراویتونها را مشاهده نکرده است و هیچ آزمایش تبدیل گراویتونها به ذرات دیگر عملی نشده است. تأثیر متقابله گراویتونها (اگر وجود داشته باشند) با سایر ذرات بنیادی بی اندازه ضعیف است.

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

در فرایندهایی که برما آشکار است، در تمام موارد می توان از نیروهای جاذبه گرانشی چشمپوشی کرد. گراویتونها خود را نشان نمی دهند و مانیز بعدها درباره آنها صحبتی به میان نخواهیم آورد. هر تأثیر متقابله (الکترومگنتیک یا هسته ای) مختصراً درباره تأثیرات متقابله بالاخره به عمل تولید و جذب ذراتی به وسیله ذرات دیگر منجر می شود. مثلاً دو الکترون ضعیف

باتابش یا جذب فوتونها بر یکدیگر اثر می کنند و تأثیر متقابله هسته ای نوکلونها با تولید یا جذب مزونهای π صورت می گیرد. نیروی بزرگ این تأثیرات متقابله به وسیله سرعت فرایند تابش و جذب معین می شود.

باید دانست که هر تولد یا مرگ ذره بنیادی را یکی از این دو نیرو باعث نشده اند. فرایندهایی هم هستند که نیروهای الکترومگنتیک و هسته ای در انجام آنها دخالت ندارند. چنین فرایندها نه تنها کم نیستند بلکه خیلی هم زیادند.

تجزیه نوترون به چنین فرایندهایی نسبت داده می شود:

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

نیروهای هسته‌ای نمی‌توانند موجب تجزیه نوترون به پروتون، الکترون و آنتی نوترینو شوند، زیرا الکترون در تأثیرات متقابله قوی شرکت نمی‌کند و به همین جهت نیز نمی‌تواند در نتیجه این تأثیرات به وجود آید. پیدایش الکترون تحت تأثیر نیروهای الکترومگنتیک امکان پذیر است. اما آخر آنتی نوترینو نیز به وجود می‌آید که فاقد بار الکتریکی است و در تأثیرات متقابله الکترومگنتیک شرکت نمی‌کند! بر اثر تجزیه $\pi -$ مزون و $\mu -$ مزون نیز با تابش نوترینو یا آنتی نوترینو وضعی مشابه پدید می‌آید.

بنابراین تأثیرات متقابله دیگری باید عهده دار تجزیه نوترون (و بعضی ذرات دیگر) باشند. به راستی همین طور است. در طبیعت چهارمین نیرو یعنی تأثیرات متقابله ضعیف وجود دارد. این نیروها عواملی مؤثر در تراژدی نابودی ذرات هستند.

این تأثیرات متقابله از آن جهت ضعیف نامیده شده اند که به راستی ضعیفند: نزدیک به 10^{14} بار ضعیفتر از تأثیرات متقابله هسته‌ای! زمان مخصوص تأثیرات متقابله ضعیف 10^{-9} ثانیه به جای 10^{-23} ثانیه برای تأثیرات متقابله قوی است. این به آن معنی است که نوترون با تابش الکترون و آنتی نوترینو مدام به پروتون تبدیل می‌شود و از نو در طول مدت نزدیک به 10^{-9} ثانیه به صورت واحدی جدایی-ناپذیر در می‌آید. این فرایند، همانند تابش $\pi -$ مزون در تأثیرات متقابله قوی، مجازی است. تفاوت فقط در این است که نوترون جرم کافی برای تابش ذرات حقیقی رانیز دارد و هرچند که به ندرت

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

تأثیرات متقابلۀ ضعیف از نظر مقدار به قدری ناچیزند که می‌توان آنها را در برابر تأثیرات متقابلۀ قوی یا الکتروماگنتیک نادیده انگاشت. اما فرایندهای بسیاری هستند که فقط به وسیلۀ تأثیرات متقابلۀ ضعیف به وجود می‌آیند. اینجاست که آنها هم تمام قد عرض وجود می‌کنند.

تأثیرات متقابلۀ ضعیف به سبب مقدار ناچیز، به طور محسوس بر حرکت ذرات اثر نمی‌کنند ولی با وجود این خود نیروهای با همان مفهوم نیروهای الکتروماگنتیک و هسته‌ای هستند. در هر تأثیر متقابلۀ، مهمتر از همه خلق و نابودی ذرات است و تأثیرات متقابلۀ ضعیف این نقش را به کندی و دشواری ایفا می‌کنند.

باز هم خاطر نشان می‌کنیم که تأثیرات متقابلۀ ضعیف نادر نیستند. برعکس، آنها فوق‌العاده همه‌کاره‌اند. تمام ذرات در تأثیرات متقابلۀ ضعیف شرکت می‌کنند. تمام ذرات، بار الکتریکی یا دقیقتر بگوییم ثابت تأثیرات متقابلۀ ضعیف را دارند. اما فقط برای ذراتی که در سایر تأثیرات متقابلۀ شرکت می‌کنند، قابلیت شرکت در تأثیرات متقابلۀ ضعیف اساسی و مهم نیست. تنها نوترینوها جز در تأثیرات متقابلۀ ضعیف قادر به شرکت در هیچ تأثیر متقابلۀ دیگر نیستند (البته به استثنای تأثیرات متقابلۀ جاذبه‌گرانشی بسیار ضعیف). به همین جهت همهٔ واکنشهایی که در آنها پیدایش یا نابودی نوترینو روی می‌دهد، بدون شك به وسیلۀ تأثیرات متقابلۀ ضعیف به وجود می‌آیند.

اسامی تأثیرات متقابلة «ضعیف» و «قوی»
 «سریع» و «بطی» مناسب است اما در بعضی مفاهیم کاملاً رسا
 بهتر از «ضعیف» و «قوی» است نیست.

اگر بگوییم فلان شخص ضعیف است، این به
 آن معنی است که او هرگز نمی‌تواند کاری برجسته انجام دهد و
 مثلاً سنگ ده‌منی را بلند کند. تأثیرات متقابلة ضعیف نیز ضعیفند اما
 نه کاملاً به آن معنی که قادر به انجام کاری نمایان در دنیای خرد
 نباشند. اگر قانون بقا اجازه دهد، تأثیرات متقابلة ضعیف می‌توانند
 موجب از هم پاشیدگی هر ذره دارای جرم سکون شوند. مراعات
 این شرط فوق‌العاده اساسی است، و گرنه نوترون‌ها در هسته پایدار
 نبودند و در طبیعت هیچ چیز غیر از هیدروژن وجود نداشت.

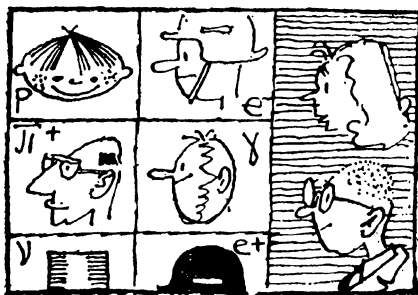
مطلب در این است که آثار تأثیرات متقابلة ضعیف به ندرت
 آشکار می‌شود و باید گفت که این تأثیرات بیشتر بطی هستند تا
 ضعیف. آنها به ورزشکار و ورزشهای سنگین وزنی می‌مانند که قادر
 است وزنه‌ای بزرگ را خیلی خیلی آهسته بلند کند.

تأثیرات متقابلة قوی سریعترین تأثیرات متقابلة اند و تبدیلات
 ذرات بنیادی به وسیله آنها کراراً روی می‌دهد. نیروهای الکترو-
 ماگنتیک کندتر از نیروهای قوی، لکن بی‌اندازه سریعتر از نیروهای
 بطی عمل می‌کنند.

آنچه درباره نیروها خواندید برای فهم اصول کلی طبقه‌بندی
 ذرات کافی است. در صفحات آینده به بررسی همه ذرات می‌پردازیم.

فصل پنجم

درباب این که بالاخره خواننده
می‌تواند با همه ذرات
بنیادی یکباره آشنا شود.



پس به من گوش ده تا آن را
که هم‌اکنون می‌بینی دریایی
برفاردشاو
«سزار و کلئوپاترا»

در زمان حاضر وجود ۳۵ ذره نسبتاً پایدار

سی و پنج

باطول عمر به مراتب بیش از زمان مخصوص

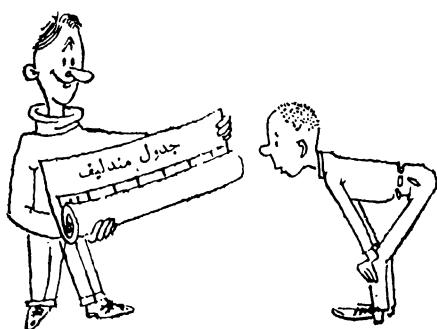
هسته‌ای (10^{-23} - 10^{-22} ثانیه) ثابت شده است.

البته عدد ۳۵ را نمی‌توان قطعی دانست. از یکی از نامزدها

یعنی گراویتون قبلاً ذکر شده میان آمده است. غیر از این، چند

نامزد شایسته و معتبر دیگر نیز وجود دارد.
جرم مهمتر از همه فهرستی از ۳۵ ذره را نمی‌توان به هیچ وجه
 مختصر نامید. چگونه باید ذرات را در آن
 مرتب کرد؟

از همان ابتدا جرم را اساس طبقه‌بندی پذیرفته‌اند و ذرات
 را به ترتیب 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 هسته اتم است نه جرم اتم. از آنجاکه جرم هسته معمولاً
 با ازدیاد بار آن افزایش می‌یابد، مندلیف به کشف قانون تناوبی
 نایل آمد. با وجود این مواردی پیش آمد که مندلیف مجبور شد
 علی‌رغم قاعده کلی، خواص عناصر را اساس قرار دهد و عناصر
 با جرم کمتر را به دنبال عناصر با جرم 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 به عنوان معیاری برای

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

جرم به سادگی اندازه‌گیری که منشاء آن نامعلوم است، نیست. جرم در اصل به وسیله تأثیرات متقابل‌ای که ذره در آنها شرکت می‌کند و نقشی که در این تأثیرات متقابل بازی می‌کند، آشکار می‌شود. بنابراین صفت بارز ذره، قابلیت آن در تأثیرات متقابل است.

گروه‌های ذرات ویژگی اساسی ذره جرم آن است. همه ذرات بدون استثنا دارای جرم هستند، در صورتی که کمیت‌های دیگر در بعضی ذرات وجود دارد و در برخی وجود ندارد^۱. ذرات بر حسب جرم نه تنها در ترتیبی معین جا گرفته‌اند، بلکه در گروه‌های جداگانه سبک، متوسط و سنگین متحد شده‌اند.

این مسأله که اتحاد ذرات در گروه‌ها بر حسب جرم و در عین حال با طبقه‌بندی آنها بر حسب نوع تأثیرات متقابل تا اندازه‌ای زیاد مطابقت دارد، بسیار مهم است. درست‌تر آن است که طبقه‌بندی از روی نقش ذرات در تأثیرات متقابل یا از روی قابلیت آنها در تأثیرات متقابل گوناگون، صورت گیرد.

سخن کوتاه. جدول ذرات بنیادی در برابر شما است. حتماً توجه کرده‌اید، ابتدا به قسمت چپ جدول از بالا به پایین توجه کنید.

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

ذرات به چهار گروه تقسیم شده‌اند.

فوتون^۱
جدول با ذره فوق سبک یعنی فوتون افتتاح می‌شود. فوتون خود به تنهایی گروهی کامل را تشکیل می‌دهد.

نقش فوتون انتقال تأثیرات متقابلۀ الکتروماگنتیک است. فوتون در این تأثیرات متقابلۀ نیز شرکت می‌کند. گمان می‌رود که فوتون مانند ذرات دیگر در تأثیرات متقابلۀ ضعیف نیز شرکت می‌کند، اما فرایندهایی که به وسیلۀ تأثیرات متقابلۀ ضعیف و با شرکت فوتونها روی می‌دهد، نادر است. این فرایندها تاکنون به‌طور تجربی مشاهده نشده است.

لپتونها^۲
گروه بعدی راذرات سبک یعنی لپتونها تشکیل می‌دهند. در این گروه هشت ذره جا دارد: نوترینوالکترونی، نوترینو میوئونی، الکترون، μ - مزون و ضد ذرات مربوطه. جرم ذرات در حدی وسیع تغییر می‌کند: از صفر (برای نوترینو) تا $206/7$ برابر جرم الکترون (برای میوئون). به همین جهت نمی‌توان گفت که علامت عمده اتحاد این ذرات نزدیکی جرم آنهاست.

الکترون و μ - مزون در تأثیرات متقابلۀ الکتروماگنتیک شرکت می‌کنند، در صورتی که نوترینو فقط در تأثیرات متقابلۀ ضعیف شرکت دارد. نقش الکترونها در ساختمان ماده برهمگی آشکار است. الکترونها پوسته اتم را تشکیل می‌دهند. نوترینویکی

از اجزای لازم در تجزیه بسیاری از ذرات است. در صفحات بعد فصلی کامل به این ذره اختصاص یافته است که در آن از جمله خواهید دانست که نوترینوی الکترونی و نوترینوی میوئونی چه تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند.

پس چه چیز باعث شده است تا این ذرات در یک گروه متحد شوند. نوترینو از نظر جرم به فوتون نزدیکتر است تا به الکترون و μ - مزون ظاهراً از «خویشاوندان» π - مزون است.

قبل از هر چیز خاطر نشان می‌کنیم که تمام لپتون‌ها دارای اسپین $\frac{1}{2}$ ، متفاوت با اسپین همسایگان نزدیک خود یعنی فوتون و مزون‌ها، هستند. البته اسپین مشترک علامتی مهم در اتحاد آنهاست، لکن گمان نمی‌رود بتوان آن را اصلی و اساسی به حساب آورد. به مراتب اساسی‌تر این است که μ - مزون در تأثیرات متقابل قوی شرکت نمی‌کند و نوترینو هیچ رابطه‌ای با تأثیرات متقابل الکترو-ماگنتیک که «هدف‌زندگی» فوتون را تشکیل می‌دهد، ندارد. مهمتر از همه این است که لپتون‌ها به وسیله عدد کوانتمی مخصوص موسوم به بار لپتونی مشخص می‌شوند. هنوز طبیعت بار لپتونی شناخته نشده است ولی در عوض به خوبی معلوم شده است که این عدد چگونه آشکار می‌شود. در صفحات آینده شما هم در این باره معلوماتی کسب خواهید کرد، درست همان قدر که فیزیکدانان برجسته می‌دانند.

این گروه نیز متشکل از ۸ ذره است. اما چرا

مزونها

عدهٔ مزونها هم ۸ تاست، اتفاقی نیست.

طبقه‌بندی ذراتی که در تأثیرات متقابل قوی شرکت می‌کنند، به‌حدی

تکامل یافته است که این ادعا را به اثبات می‌رساند.^۱
سه تا از آنها، یعنی مزونهای π ، آشنایان قدیمی ما هستند.
جز اینها چهار K - مزون تقریباً سه بار سنگین‌تر از مزونهای π وجود
دارد. آنها دومیولتیت (دوبلت) باردار K^+ ، K^0 ، K^- و $\bar{K}^0$ را
تشکیل می‌دهند.

سنگین‌ترین ذره این گروه η^0 - مزون (اتا - نول - مزون)
شبیه π^0 - مزون باضد ذره خود مطابقت می‌کند.

تمام ذرات گروه مزونها همانند π - مزون کوانتهای میدان
هسته‌ای، ناقلان تأثیرات متقابل قوی هستند. شعاع عمل نیروهای
هسته‌ای باجرم ذره ناقل تأثیرات متقابل نسبت عکس دارد. به همین
جهت مزونهای K و η^0 می‌توانند تأثیرات متقابل را فقط در فواصل
بسیار ناچیز انجام دهند. مزونهای π ناقلان عمده تأثیرات متقابل
هسته‌ای هستند.

بدین طریق مزونها همانند سایر ذرات سنگین‌تر از لپتونها در
تأثیرات متقابل قوی شرکت می‌کنند (البته به موازات شرکت در
تأثیرات متقابل الکتروماگنتیک و ضعیف).

باز هم توجه کنید که اسپین همه مزونها مساوی باصفر و اسپین
فوتون مساوی بایک است. اسپین صحیح ویژه ذرات ناقل تأثیرات
متقابل است. پس ماده از ذراتی ساخته شده است که اسپین آنها
مضربی صحیح از $\frac{1}{2}$ است.

۱- چرا عده لپتونها ۸ ناست، تا حال روشن نشده است.

باریونها^۱

باریونها آخرین و بزرگترین گروه ذرات هستند. بیست ذره از ۳۵ ذره در این گروه قرار دارند. باریونها سنگین ترین ذراتی هستند که در تأثیرات متقابل قوی شرکت می کنند. تأثیرات متقابل بین باریونها به وسیله مزونها انجام می گیرد.

سبکترین باریونها ذرات دوبلت نوکلئونی یعنی پروتون و نوترون هستند. پس از آن ذرات سنگین تر - هیپرونها^۲ قرار دارند. تمام آنها در گروههای مولیتهای باردار قرار می گیرند. نخستین مولیتهای هیپرونها فقط از يك ذره تشکیل شده است. این ذره Λ^0 (لاندا - نول) است. سپس به ترتیب افزایش جرم، تریپلهای ذرات Σ^+ ، Σ^0 ، Σ^- و $\bar{\Sigma}^+$ ، $\bar{\Sigma}^0$ ، $\bar{\Sigma}^-$ قرار می گیرند. این ذرات نیز مانند تمام مولیتهای فقط به وسیله بارهای الکتریکی خود متمایزند و در تأثیرات متقابل قوی همچون ذره ای واحد عمل می کنند.

ذرات سنگین تر Ξ نیز دوبلهای باردار: Ξ^- ، Ξ^0 و $\bar{\Xi}^-$ ، $\bar{\Xi}^0$ را تشکیل می دهند. اسپین تمام این ذرات مساوی با $\frac{\hbar}{2}$ است. ذره Ω تمام گروه باریونها را به هم پیوند می دهد. این آخرین ذره کشف شده است که در سال ۱۹۶۴ وارد جدول شده است. تمام ذرات با تأثیرات متقابل قوی یعنی مزونها و باریونها

را اغلب آدرونها می نامند^۱.

با وجود این ممکن است ذرات بنیادی واقعاً بنیادی باشند بار الکتریکی، عمر متوسط و طرق عمده تجزیه زیاد نیست. البته همه ویژگیها در جدول نیامده است و اندکی دیگر می توان به آنها اضافه کرد.

این مسأله امکان می دهد تا ذرات نامبرده در جدول را واقعاً بنیادی بدانیم. ساختمان بسیار پیچیده ذرات بنیادی را باید به وسیله پارامترهای زیادتر نشان داد.

از ۳۵ ذره فقط ۹ ذره (دو نوع نوترینو، الکترون، پروتون، ضد ذرات آنها و فوتون) درباره طول عمر ذرات

پایدارند. طول عمر $\eta^\circ -$ مزون و $\pi^\circ -$ مزون و همچنین هیپرونهای Σ° و $\bar{\Sigma}^\circ$ از همه کوتاهتر است. مدت زندگی آنها بین $10^{-14} - 10^{-12}$ ثانیه است. تجزیه این ذرات به وسیله نیروهای الکترومگنتیک صورت می گیرد. زیرا در عدد محصولات تجزیه تقریباً همیشه کوانتهای γ نیز یافت می شود. سایر تجزیه ها به مراتب کندتر روی می دهند و به وسیله تأثیرات متقابل ضعیف به وجود می آیند.

فکر نکنید که مثلاً طول عمر از مرتبه 10^{-10} ثانیه مطلقاً ناچیز

۱- اصطلاح «آدرون» به وسیله اکون (Okun) فیزیکدان شوروی پیشنهاد شده است. این کلمه براساس کلمه انگلیسی hard به معنی سنگین یا قوی ساخته شده است (ذرات سنگین درعین حال در تأثیرات متقابل قوی نیز شرکت می کنند). برابر جابجا کردن حروف (به منظور خوش آهنگی) اصطلاح «آدرون» پیدا شده است.

است. البته این مدت درمقیاس ماکروسکوپی ماکوچك است ولی درمقیاس دنیای خردعظیم است. اگر سرعت ذره مساوی با سرعت نور باشد، همانطور که غالباً هست، ذره در این مدت راهی نزدیک به يك سانتیمتر را می پیماید. ابعاد ذره از 10^{-13} سانتیمتر تجاوز نمی کند. پس راه پیموده شده به وسیله ذره دهها هزار میلیارد بار بیش از ابعاد آن است. بر همین قیاس، این مدت برای انسانی که با سرعت ۵ کیلومتر در ساعت راه می رود، متجاوز از میلیون سال است.

اگر خوب دقت کنید متوجه خواهید شد که طول عمر ذراتی که در نتیجه تأثیرات متقابله ضعیف تجزیه می شوند، در حدی وسیع تغییر می یابد. از مدت زمان ماکروسکوپی ۱۷ دقیقه برای نوترون (با عمر پروانه يك روزه قابل مقایسه است) تا 10^{-10} ثانیه برای هیپرونها و مزو نهای K . همانطور که گفته شد سرعت فرایند معرف نیرو است.

بنابراین معلوم می شود که سرعت تبدیل ذره نه تنها به وسیله نیرویی که این تبدیل را به وجود می آورد بلکه به وسیله انرژی آزاد شده در موقع واکنش نیز معین می شود. اگر تفاوت جرم ذره در حالت سکون و محصولات تجزیه آن کم است^۱، پس سرعت تجزیه هم کم است. این تفاوت جرم برای نوترون نزدیک به جرم يك الكترون و برای مثلاً هیپرون 8° به مراتب بیشتر، یعنی نزدیک به جرم ۴۳ الكترون است. اگر در هر مورد مقدار انرژی آزاد شده

۱- این تفاوت جرم برطبق فرمول $E=mc^2$ است و انرژی آزاد شده را نشان می دهد.

را در نظر بگیریم، معلوم می‌شود که سرعت همه تجزیه‌هایی که به وسیله تأثیرات متقابل ضعیف به وجود می‌آیند، یکسان است.

عده ذرات بنیادی با طول عمر زیاد رویهمرفته **جهان از ۱۲ ذره** ۳۵ است. لکن همانطور که هل-مان^۱ خاطر

نشان کرده است، برای توضیح فیزیکی جهان یک دوجین ذره کفایت می‌کند. قبل از همه الکترون، پروتون و نوترون لازم است. اتمهای همه مواد از این سه ذره ساخته شده‌اند. آنتی پودها یعنی ضد ذرات این ذرات نیز وجود دارند: پوزیترون، آنتی پروتون و آنتی نوترون. اما اگر فوتون نبود، اتمها به الکترون و هسته تجزیه می‌شدند.

π - مزون برای پایداری هسته ضروری است. بنابراین باید به آن شش ذره (الکترون، پروتون، نوترون، پوزیترون، آنتی پروتون و آنتی نوترون) چهار ذره ناقل تأثیرات متقابل را هم افزود.

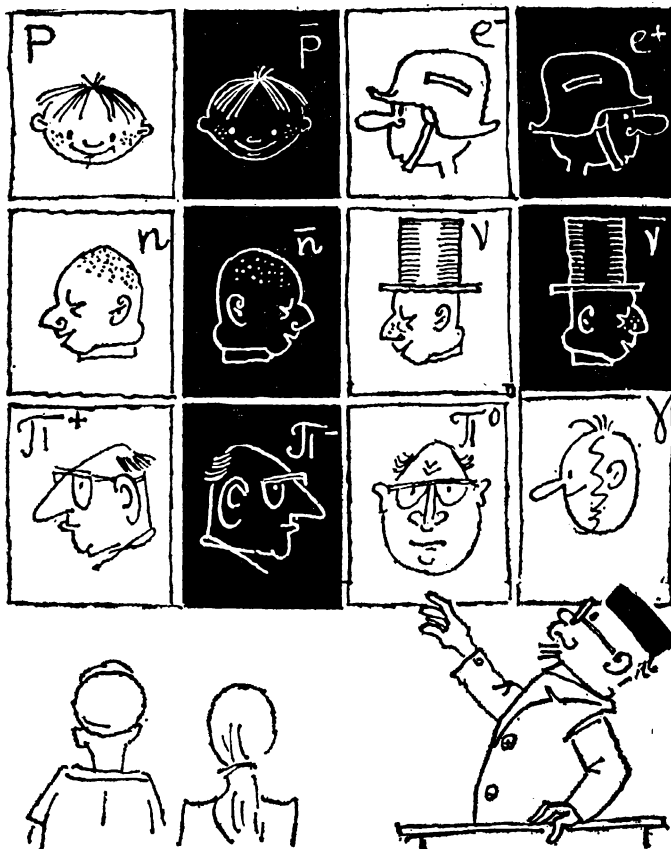
لکن تجربه نشان می‌دهد که نوترون تجزیه می‌شود. برای توضیح این تجزیه نوترینو لازم است و گرنه قوانین بقا اجرا نمی‌شود. بنابراین اگر نوترینو و آنتی نوترینو را هم به ذرات نامبرده اضافه کنیم، رویهم ۱۲ ذره می‌شود: تقریباً سه بار کمتر از آنهایی که واقعاً وجود دارند.

چرا دو نوع نوترینو وجود دارد نه یکی، نقش **ساخت نامفهوم** μ - مزون چیست، تاحال آشکار نشده است.

مفهوم وجود بعضی ذرات دیگر نیز کاملاً روشن نشده است. اثر این مجهولات در ذهن ما این تصور را ایجاد می‌کند که طبیعت چه

اسرافهایی به خرج می دهد. حقیقت این است که معلومات مادر باره ذرات بنیادی هنوز کم، زیاده از حد کم است و به همین جهت قادر به درك بعضی مسائل نیستیم.

به این مسأله از جهت دیگر توجه می کنیم. لحظه ای را در نظر آوریم که شتاب دهنده ای در اختیار نداریم و اشعه کیهانی نیز ذرات انرژی بسیار عظیم در بر ندارد. در آن صورت در شرایط کره خاکی



برای توضیح فیزیکی جهان يك دوجین ذره کافی است.

ما، در حرارتهای پایین در مقایسه با ستارگان، بسیاری از ذرات معلوم امروزی وجود نمی داشت. حتی π - مزون و μ - مزون نیز همچون ذرات واقعی وجود پیدا نمی کردند. برای پیدایش آنها انرژی کافی نبود. آنها فقط همانند ذرات مجازی وجود پیدامی کردند و عده ذرات حقیقی به شدت محدود می شد. جالب است که دانشمندان در این شرایط می توانستند فقط π - مزون را پیشگویی کنند، همان ذره ای که قبل از ساختن شتابدهنده ها، به وسیله یو کوا پیشگویی شد. احتمال پیشگویی μ - مزون، نوترینو میوئونی و یک سری ذرات دیگر هم ناچیز بود.

برخوردهای ذرات دارای انرژیهای زیاد موجب پیدایش π - مزون و ذرات دیگر می شود (μ - مزون در اصل بر اثر تجزیه π - مزون پدیدمی آید). می توان دنیایی را مجسم کرد که در آن افزایش انرژی ذراتی که برخورد می کنند، فقط موجب افزایش عده مزونهای π شود. اما طبیعت راهی دیگر را برگزیده است. در حقیقت با افزایش هر چه بیشتر انرژی، پیوندها تولید می شوند، لکن همزمان با آن ذراتی سنگین تر نیز پدیدمی آیند. یعنی طبیعت به علتی ترجیح می دهد زیادی انرژی را به صورت انرژی سکون ذرات سنگین (نه ذرات سبک) بسته بندی کند.

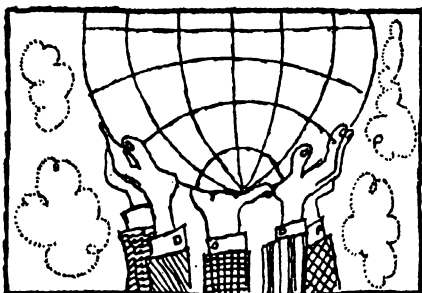
با وجود این می توان تصور کرد که تمام ذرات سنگین به حالت مجازی در دنیای انرژیهای کم وجود دارند (در مرز هستی و نیستی وجود دارند) و افزایش انرژی برخورد، به هستی و در نتیجه به کشف آنها منجر می شود.

فصل پنجم ۱۰۷

اسرار جهان به مراتب بیش از آن است که نه تنها گراسیو بلکه خود پرنس هاملت گمان می کرد.

فصل ششم

درباب آن که روشن خواهد شد
که جهان بر قوانین بقا بر جاست



قدرت آنها را در می یابیم .
خیرو برکت آنها را حس می کنیم.
ف. ای. تیوتچف^۱
«اشعار»

درباه آنچه نمی تواند
باشد

سه نوع نیرو موجب پیدایش و تجزیه ذرات
بنیادی می شوند، موجب تبدیلات آنها می-
شوند. لکن مسأله اساسی این است که: چه
تبدیلاتی امکان پذیر است؟ پاسخ این پرسش به طرزی غیرمنتظره ساده
است. تأثیرات متقابل الکتر و ماگنتیک و ضعیف می توانند فقط موجب

تبدیلاتی شوند که قوانین بقا مجاز می‌داند. هر رویداد که می‌تواند بدون نقض قوانین بقا روی دهد، در واقع روی می‌دهد. ذرات در چهار چوب این قوانین می‌توانند به هر شکلی رفتار کنند.

اگر پیش از این گمان می‌کردند که قوانین اساسی برپایه امکان رویدادها قرار دارند، اکنون لازم است قوانینی را اساسی بدانیم که مقرر می‌دارند چه حادثه‌ای نمی‌تواند روی دهد. چنین قوانینی بقا هستند.

مهمترین دگرگونی تصورات درباره قوانین اساسی، درغایت امر به وسیله خصلت آماری حرکت و تبدیلات متقابل ذرات بنیادی آشکار می‌شود. همانا خصلت آماری قوانین اجازه نمی‌دهد تأکید کنیم که بر اثر برخورد دو ذره حتماً چه روی می‌دهد. مثلاً بر اثر برخورد دو پروتون سریع گوناگون‌ترین ذرات پدید می‌آیند. ممکن است دو π - مزون و یک جفت K - مزون یا پنج π - مزون و ... پدید آیند. در یک سری بزرگ آزمایشهای یکسان همه احتمالات خودنمایی می‌کنند. احتمالات نتایج نهایی برخورد متفاوتند اما تمام آنها، اگر با قوانین بقا تضادی نداشته باشند، مساوی با صفر نیستند.

خاطر نشان می‌کنیم که حتی یک واکنش بین ذرات حقیقی نمی‌تواند از جمله با قوانین بقای انرژی تناقض داشته باشد.

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

چرا بعضی ذرات پایدارند؟
 در نخستین آشنایی با ذرات بنیادی، ناپایداری آنها معمولاً حیرت آوراست. ولی در حقیقت نباید از این مسأله تعجب کرد. تبدیلات متقابل به صفت عمده هستی ذرات بنیادی است.

تبدیلات مجازی ذرات به یکدیگر تحت تأثیر سه نوع نیرو هرگز قطع نمی شود. در صورتی که قوانین بقا نقض نشود، دیربازود تبدیل حقیقی صورت می گیرد: ذره سنگین به ذرات سبکتر تجزیه می شود.

در این عمل هیچ چیز فرایند عکس را منع نمی کند. ذرات دختر پس از برخورد با هم یکی می شوند و به ذره مادر بدل می شوند. لکن احتمال چنین برخوردی بسیار کم است. ذرات از محل پیدایش به هر سو می گریزند و چون جهان از انبوه ذرات تشکیل نشده است، برخورد آنها با برادران و خواهران خود معمولاً روی نمی دهد و اگر ناپایدار باشند پیش از برخورد تجزیه می شوند. همه فرایندهای دنیای خرد، از آن جمله تبدیل ذرات، برگشت پذیرند. اما احتمال فرایند عکس در شرایط معمولی کم است. فقط در حالت های فوق العاده متراکم ماده فرایندهای عکس همانند فرایندهای مستقیم غالباً روی می دهد. در اعماق ستارگان سنگین احتمالاً چنین است.

بنابراین باید انتظار داشت که ذره تولید شده نتواند مدتی زیاد وجود داشته باشد. در واقع نیز، جز بعضی موارد استثنایی، همین طور است.

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

این تعجب کرد نه از تجزیه ذرات. درك این كه فوتون و نوترینو پدیدارند، دشوار نیست. آنها از سبك هم سبكترند. جرم درحالت سكون آنها مساوی باصفر است و به ذرات سبكتر نیز نمی‌توانند تجزیه شوند. سایر ذرات ظاهراً باید به فوتون و نوترینو تجزیه شوند. این مسأله با قانون بقای انرژی تناقض ندارد.

لكن دو ذره الكترون و پروتون از تجزیه خودبخود احتراز می‌کنند. چرا؟ تنها به خاطر محدودیتی كه بالزوم اجرای قوانین بقا ارتباط دارد. عللی دیگر وجود ندارد یا ما نمی‌شناسیم.

قوانین بقا چیست؟ لازم است ابتدا مختصری درباره این كه قوانین بقا چیست، صحبت كنیم.

مجموعه حقایق، هرچند كه بخودی خود مهم و جالب باشند، هنوز علم را تشكيل نمی‌دهند. وظیفه علم عبارت از یافتن قوانین کلی طبیعت و توضیح فرایندهای گوناگون به كمك آنهاست. از قوانین کلی می‌توان مثلاً قوانین دیناميك نیوتون برای اجسام ماكرو سكویی یا قوانین مكانيك كوانتمی را نام برد.

ساده‌ترین شكل قانون کلی ثابت بودن يك كمیت است. چنین قوانینی را در فیزيك قوانین بقا می‌نامند. جستجوی كمیتهای ثابت خط‌مشی بی‌اندازه مهم تحقیق است.

اهمیت عمده قوانین بقا قبل از همه در خصلت بسیار همه‌جانبه آنهاست. سایر قوانین کلی فیزيك فقط در ناحیه‌ای محدود قابل استفاده‌اند. مثلاً قوانین نیوتون قادر به توضیح حرکت ذرات بنیادی و همچنین حرکت اجسام ماكرو سكویی با سرعت نزدیک به سرعت

نور نیست. اما قوانین بقا شامل حرکت اجسام با هر جرم و هر سرعت است.

نمی‌توان گفت که بر اساس فقط بعضی از قوانین بقای می‌توان جریان هر فرایند را به‌طور کامل توضیح داد. نقش این قوانین تنها عبارت از این نیست که نشان دهند چه فرایندهایی امکان پذیر نیستند. بسیاری از ویژگیهای فرایندها را می‌توان به کمک قوانین بقا به طرزی بینهایت ساده توضیح داد.

وقتی که محقق شروع به نفوذ در محیطی تازه شناخته می‌کند، ضرورت قوانین بقا احساس می‌شود. در موقع پیدایش فیزیک ذرات بنیادی نیز چنین بود. ماهیت پدیده‌ها در ظلمت قرار داشت. فقط واقعیت‌هایی جداگانه و اغلب بی‌ارتباط با یکدیگر پرده مجهول را اندکی بالا می‌زد. در این شرایط قوانین بقا تنها امیدو چراغ راهنمای محقق بود. دانشمندان با اینکه هنوز اصل پدیده‌ها را در محیط جدید نمی‌شناختند، با حقانیت کامل می‌توانستند بگویند که در اینجا نیز بقای کمیتهای معلوم بر ما، حکمفرمایی می‌کند. بر حسب درجه نفوذ در اعماق دنیای خرد قوانین بقای جدید، ویژه دنیای خرد کشف شدند. این قوانین امکان دادند به عده‌ای عظیم از تبدیلات قابل مشاهده ذرات بنیادی پی ببریم.

درباره قانون بقای انرژی بقدر کافی بحث
بقای ایمپولس کرده‌ایم. حال قوانین بقای ایمپولس و ممان

ایمپولس را به‌طور مختصر مورد بررسی قرار می‌دهیم.
با قانون بقای ایمپولس یا مقدار حرکت کم یا بیش آشنایی

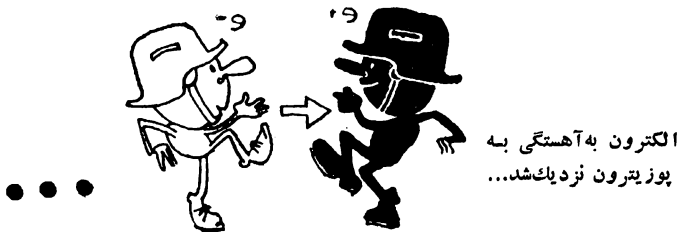
داریم. زیرا جزء برنامه درسی دبیرستان است. در این مورد به اختصار برگزار می کنیم.

ایمپولس کمیت برداری مساوی با حاصل ضرب جرم جسم در سرعت آن است. ایمپولس کلی يك دستگاه از اجسام، دارای خاصیتی ساده و قابل توجه است: مادام که اجسام خارج بردستگاه تأثیر نکنند، دستگاه بدون تغییر باقی می ماند. این قانون چه در مورد اجسام بزرگ و چه در مورد موجودات خرد، درست است.

بيك مثال از بقای ایمپولس اکتفامی کنیم. فرض کنیم که الکترون به آهستگی، به پوزیترون نزدیک شد و هر دو نابود شدند. نابودی روی داد. به جای آنها دو فوتون در دوسوی مخالف به سرعت از یکدیگر دور شدند. چرا دو ذره تشکیل می شود نه یکی؟ و چرا در جهات مختلف می گریزند نه باهم؟ برای پاسخ به این پرسشها هیچ لازم نیست بدانیم که در تأثیر متقابل الکترون با پوزیترون در اعماق خود الکترون چه روی می دهد. نیروهای مؤثر در اینجا نیروهای داخلی دستگاه هستند. آنها نمی توانند ایمپولس کلی را که قبل از پیدایش فوتونها مساوی با صفر بود، تغییر دهند. اما اگر فقط يك فوتون پدید آید ایمپولس آن مساوی با صفر نخواهد بود. آخر برای ذره نوری آرامش که مفهومی ندارد. بنابراین نباید کمتر از دو فوتون که در جهات مختلف می گریزند، پدید آید.

بقای ممان ایمپولس ممان ایمپولس یا ممان مقدار حرکت شدت حرکت دورانی است. هر جسم که دور محور خود می چرخد، دارای ممان مقدار حرکت است. فرره ای که به

سرعت می چرخد، کره زمین، جفتی که والس می رقصند دارای ممان ایمپولس هستند. ممان ایمپولس کمیت برداری است. جهت بردار ممان در امتداد محور چرخش است.



جسم نه تنها می تواند دور محور خود بچرخد بلکه دور جسمی دیگر نیز گردش می کند. مثلاً کره زمین در هر شبانه روز یک بار دور محور خود می چرخد و غیر از آن در طول سال یک بار دور خورشید می گردد. کره زمین به موازات ممان ایمپولس خود ممان اربیتالی (مداری) نیز دارد.

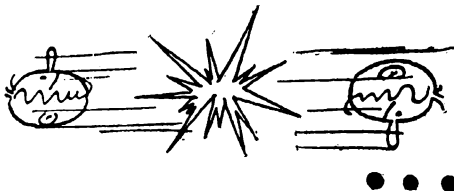
اگر نیروهای خارجی ممان نیروها را به وجود نیاورند، ممان کلی مقدار حرکت دستگاه ثابت می ماند. برای اینکه وضع محور فرقه ای سنگین را که به سرعت می چرخد، در فضا تغییر دهیم، باید نیرویی به کار ببریم.

قانون بقای ممان ایمپولس همانند قانون بقای ایمپولس چه برای اجسام ماکروسکوپی و چه برای ذرات بنیادی درست است. ما دیگر درباره اسپین ذره یعنی ممان اختصاصی ایمپولس صحبت می کردیم. ذرات به موازات اسپین می توانند ممان اربیتالی مقدار حرکت نیز داشته باشند. مقادیر ممان اربیتالی مضارب

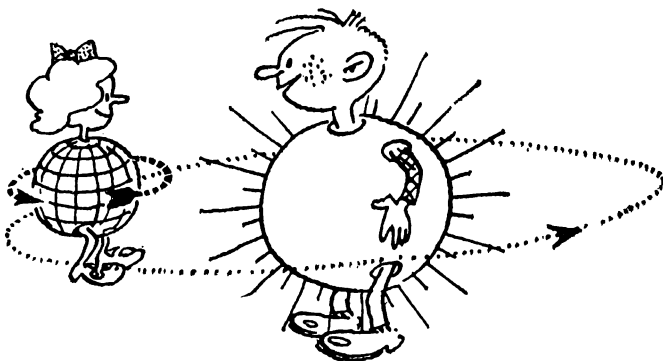
صحیح از ثابت پلانک ($\hbar$) است.

اگر ممان اربیتال در تبدیل ذرات تغییر نیابد، اسپین کلی دستگاه ثابت می‌ماند. مثلاً $\pi^+ - \mu^+$ مزون ساکن به $\mu^+ - \mu^+$ مزون

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



و نوترینو تجزیه می‌شود. اسپین $\pi - \mu^+$ مزون مساوی با صفر است. میوئون و نوترینوپس از تجزیه $\pi - \mu^+$ مزون به سوهای کاملاً مخالف می‌گیرند و ممان اربیتال حرکت نسبی آنها مساوی با صفر است. به همین جهت ممان اسپینی کلی نیز باید مساوی با صفر باشد. $\mu^+ - \mu^+$ مزون و نوترینو که درسوهای مخالف حرکت می‌کنند در سوهای مخالف یکدیگر به چرخش درمی‌آیند.



کره زمین در هر شبانه روز یک بار دور محور خود می‌چرخد
و غیر از آن در طول سال یک بار دور خورشید می‌گردد.

در موارد پیچیده تر تجزیه، ذرات می توانند ممان اربیتال نیز داشته باشند. در آن صورت مجموع ممان ایمپولس، یعنی اربیتال به اضافه اسپین، ثابت می ماند.

بقای بار الکتریکی گروه قوانین بقا که پس از این از آنها گفتگو خواهیم کرد ویژگی هایی خاص خود دارند. غیر از قانون بقای بار الکتریکی بقیه به تازگی کشف شده اند.

قانون بقای بار الکتریکی از نقطه نظر ماکروسکوپی چنین به نظر می آید: بار الکتریکی در دستگاه بسته ثابت می ماند. اما از نقطه نظر میکروسکوپی به این معنی است که در تمام تبدیلات ذرات بنیادی تفاوت بین عده ذرات باردار مثبت و منفی ثابت می ماند. اگر ذره ای باردار به وجود آید، در همان حال به طور حتم پیدایش ذره باردار با علامت مخالف را مشاهده خواهیم کرد. در تجزیه هر ذره مجموع جبری بارها ثابت می ماند. مثلاً در تجزیه نوترون به موازات پروتون مثبت الکترون منفی نیز پدید می آید.

ما نمی دانیم چرا بار الکتریکی در طبیعت حفظ می شود. اما با دانستن این که بار الکتریکی حفظ می شود می توانیم به علت پایداری الکترون ها پی ببریم. الکترون سبکترین ذره باردار است و به همین علت نمی تواند تجزیه شود. ذرات سبکتر یعنی فوتون و نوترینو بار الکتریکی ندارند. بنابراین تجزیه الکترون به طور قطع منجر به نقض قانون بقای بار الکتریکی می شد. توضیح پایداری الکترون شاید بزرگترین خدمت قانون بقای بار الکتریکی است.

قانون بقای بار
باریونی چیست؟
 سنگین تر) به طور تجربی با تجزیه و تحلیل عده‌ای زیاد از واقعیت‌های مشاهده شده تبدیلات ذرات بنیادی برقرار شده است. تفاوت عده باریونها و آنتی باریونها در هر دستگاه بدون تغییر باقی می ماند. فقط جفت‌های باریون - آنتی باریون می توانند به وجود آیند و نابود شوند. در محصولات تجزیه هر باریون حتماً باریون مسبکتر وجود دارد. اینک چند مثال برای واکنشهای تجزیه:

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

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

$$\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$$

$$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$$

پروتون بعداً تجزیه نمی شود زیرا سبکترین باریونهاست. پایداری هسته ها و در نتیجه تمام کائنات بر بقای عده باریونها قرار دارد.

می توان يك عدد کوانتمی مخصوص به نام بار باریونی به کار برد که مقدار آن برای باریونها ۱+ و برای تمام آنتی باریونها ۱- است. در آن صورت بقای عده باریونها بقای مجموع جبری بارهای باریونی است. همه ذرات دارای بار باریونی در تأثیرات متقابل قوی شرکت می کنند. الکترونها و سایر لپتونها بار باریونی ندارند. ناقلان تأثیرات متقابل هسته ای یعنی مزونها π و K نیز

بارباریونی ندارند، همانطور که فوتونها دارای بارالکتریکی نیستند.

این قانون چقدر ساده است و علل وجودی آن چقدر نامفهوم! پس مانع نیرومند در تجزیه پروتون چیست؟ پروتون دارای مقداری زیاد انرژی سکون (در مقایسه با ذرات سبک) و امکانات گوناگون تجزیه به مزونها و لپتونهاست. قانون بقای بارباریونی فقط تصدیق واقعیتی روشن است بدون آنکه کوششی برای توضیح آن به عمل آید. قانون بقای بارلپتونی کاملاً شبیه قانون بقای بارباریونی است. تفاوت بین عده لپتونها و آنتی لپتونها در تمام تبدیلات ذرات بنیادی محفوظ می ماند. مثلاً بر اثر تجزیه نوترون دو لپتون پدید می آید: الکترون و آنتی نوترینو. بعلاوه پیدایش آنتی نوترینو، نه نوترینو، به وسیله قانون بقای عده لپتونها مقید شده است.

اگر به لپتونها بارلپتونی $1+$ و به آنتی لپتونها بار $1-$ نسبت دهیم، جمع جبری بارهای لپتونی در واکنشهای گوناگون باید بدون تغییر بماند.

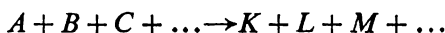
با کشف دو نوع نوترینو که در فصل آینده از آنها صحبت خواهیم کرد، قانون بقای بارلپتونی پیچیده تر می شود. معلوم شده است که دو نوع بارلپتونی وجود دارد. لکن بهتر است در این باره بعداً صحبت کنیم.

در صفحات آینده باز هم با دو قانون بقا آشنایی پیدا خواهید کرد و اگر تا آن زمان بقای اسپین ایزوتوبی در تأثیرات متقابل

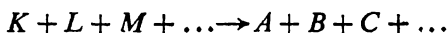
قوی را از یاد نبرده باشید، تصویری دربارهٔ سری کامل قوانین بقا خواهید داشت.

به موازات قوانین بقا در واکنشهای بین ذرات
جبر واکنشهای بین ذرات
 دو قاعده فوق العاده کلی اجرا می شود.

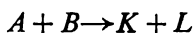
دربارهٔ یکی از آنها یعنی برگشت پذیری تمام
 واکنشها قبلاً صحبت کرده ایم. اگر واکنش



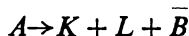
انجام می شود، پس واکنش عکس نیز امکان وجود پیدا می کند:



قاعدهٔ دوم کمی پیچیده تر است. در معادلهٔ واکنش بین ذرات می توان هر ذره را با تعویض آن به وسیلهٔ ضد ذره، از طرف چپ معادله به راست یا برعکس از طرف راست به چپ برد. در این عمل واکنشی جدید به دست می آید که حتماً در طبیعت صورت می گیرد. مثلاً اگر واکنش



انجام پذیر است، پس واکنش

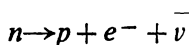


نیز عملی است.

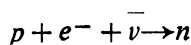
در این واکنش هیچ چیز غیر منتظره وجود ندارد. بر اثر چنین جابجایی حتی يك قانون بقا آشکارا نقض نمی شود. در واقع عمل انتقال ذره از يك طرف معادله به طرف دیگر مانند این است که به هر

دو طرف معادله ذره‌ای افزوده باشیم که نسبت به یکی از اجزای واکنش، ضد ذره محسوب می‌شود. البته اگر در طرف چپ معادله فقط يك ذره وجود داشته باشد، چنین عملی ممکن نیست زیرا پس از انتقال این ذره به طرف دیگر معادله، فقط صفر باقی می‌ماند که با قانون بقای انرژی مطابقت ندارد. اینک به این دو مثال توجه کنید:

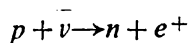
مثال اول - می‌دانیم که نوترون به سه ذره تجزیه می‌شود:



واکنش عکس یعنی وقتی که این سه ذره به صورتی واحد در آیند، امکان پذیر است:

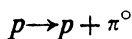


حال با تعویض الکترون با پوزیترون آن را به طرف راست معادله می‌بریم:

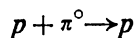


پروتون آنتی نوترینو جذب می‌کند و به نوترون و پوزیترون تبدیل می‌شود. درست همین واکنش امکان داد برای نخستین بار آنتی - نوترینو را از راه آزمایش کشف کنند.

مثال دوم - در نتیجه تأثیر متقابل قوی، پروتون به طور مجازی ممکن است به پروتون و π^0 - مزون تبدیل شود:



واکنش عکس عبارت است از ترکیب پروتون با π^0 - مزون:



پروتون را به طرف راست می‌بریم و آن را با آنتی پروتون عوض

می‌کنیم:

$$\pi^0 \rightarrow p + \bar{p}$$

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

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

بنابراین نتیجه نهایی چنین خواهد بود:

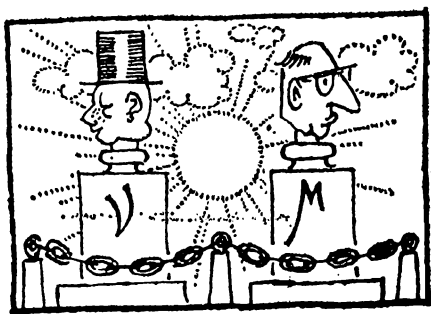
$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

یعنی π^0 - مزون به دوفوتون تجزیه می‌شود، تجزیه‌ای که حقیقتاً روی می‌دهد.

هل - مان خاطر نشان می‌کند: «برای آدم تازه کار این رشته افکار و قضاوتها ممکن است جابجایی ساده علامتها جلوه کند. لکن نباید فراموش کرد که این جابجایی همچون نتیجه محاسبات مفصل (و اغلب بسیار پیچیده) احتمالات امکان پذیر است. در نتیجه نهایی به پیشگویی منطقاً صحیح حادثه‌ای که باید روی دهد، می‌رسیم، حال هر قدر که طول بکشد...».

فصل هفتم

در باب داستان یکی از جالبترین
ذرات - نوترینو و یکی از
نامفهومترین ذرات - μ - مزون



چنان اسرار آمیز و نامفهوم بود
که من جرئت سرپیچی نداشتم.
آفتوان دوست - اگزوپری
«شاهزاده کوچولو»

قدری تاریخ

کلمه نوترینو برای نخستین بار در حدود ۳۰ سال
پیش در صفحات مجلات علمی پدیدار شد. ذره
جدید به طرزی غیر عادی وارد علم شد. خواص آن عجیب می نمود
و بعید نیست که عمیقترین اسرار طبیعت با این ذره بستگی داشته باشد.
لازم آمد این ذره را «اختراع کنند» تا شالوده ای که بنای فیزیک
بر آن استوار است، فرونریزد. یک ربع قرن از این ذره به عنوان

موجودی واهی در صفحات کتابها و مجلات یاد می کردند. با اینکه این ذره برای توضیح بسیاری از تبدیلات قابل مشاهده کاملاً لازم بود، خود آن مدتها دست نیافتنی باقی ماند، تا اینکه بالاخره در سال ۱۹۵۶ از راه آزمایش کشف شد.

نوترینو به معنی نوترون کوچک است. این نام را انریکو فرمی^۱ فیزیکدان ایتالیایی بر آن نهاد. در تابستان سال ۱۹۶۲ معلوم شد که نوترینو یکی نیست بلکه دو نوترینو وجود دارد. اگر در نظر بگیریم که هر ذره با همزادی به نام ضد ذره مطابقت می کند، پس چهار نوع نوترینو وجود دارد: دو نوترینو و دو آنتی نوترینو.

نوترینو و بقای انرژی

در تجزیه بتایی هسته های رادیو آکتیو، الکترون از هسته خارج می شود. اما عجیب است که انرژی هسته اولیه بسا مجموع انرژیهای هسته نهایی و الکترون خارج شده مطابقت نمی کند. انرژی هسته اولیه همیشه بیش از مجموع انرژیهای هسته نهایی و الکترون است. پس از کشف نوترون معلوم شد که علت تجزیه بتایی هسته آن است که یکی از نوترونهای هسته الکترون می تابد و به پروتون تبدیل می شود. لکن انرژی نوترون همیشه بیش از مجموع انرژی ذرات تولید شده به وسیله آن است. آیا قسمتی از انرژی بدون اینکه اثری از خود بر جاگذارد، واقعاً نابود می شود؟

آنگاه ولفهانگک پائولی^۲ فیزیکدان سوئیسی این سؤال را مطرح کرد: آیا همراه پروتون و الکترون در تجزیه نوترون، ذره ای

نامرئی که کسر انرژی را باخود می برد، به وجود نمی آید؟ وجود این ذره به این جهت احساس نمی شود که جرم در حالت سکون و بار الکتریکی ندارد و قادر به کندن الکترون از اتم و از هم پاشیدن هسته نیست یعنی نمی تواند آثاری قابل مشاهده را که ما معمولاً از روی آن درباره پیدایش ذره قضاوت می کنیم، تولید کند.

البته بی معنی است بگوییم گویا ذره، هرچقدر عجیب باشد، اصلاً با هیچ چیز در تأثیر متقابله شرکت نمی کند، زیرا در این صورت ورود نوترینو در فیزیک به معنای انکار پرده پوشی شده قانون بقای انرژی خواهد بود و نتیجه اینکه انرژی همراه نوترینو، بدون بازگشت و برای همیشه ناپدید می شود. حال معلوم می شود چرا پائولی گمان می کرد که نوترینو فقط در تأثیرات متقابله ضعیف شرکت می کند و به همین جهت می تواند از میان قشر بزرگ ماده بگذرد، بدون اینکه اثری از خود بر جا گذارد.

نوترینو تنها ذره ای است که فقط در تأثیرات متقابله ضعیف شرکت می کند. جرم سکون نوترینو همچون جرم سکون فوتون مساوی با صفر است و ساده تر بگوییم نوترینوی ساکن وجود ندارد. نوترینو همیشه با سرعت نور در حرکت است. حساب کرده اند که نوترینو در چه قشری باماده در تأثیر متقابله قرار می گیرد. افسوس، نتیجه بهیچوجه تسلی بخش نیست. کره زمین برای نوترینو شفافتر از بهترین شیشه های اپتیک برای نور است. از هر ۱۰^{۱۰} نوترینو که از مرکز کره زمین می گذرد، احتمال دارد تنها یک نوترینو در تأثیر متقابله با ذرات دیگر شرکت کند. در دیواری به ضخامت متجاوز

از ده برابر ابعاد کهکشان ما، نوترینو بدون شك جذب می شود. باوجود این نوترینو در کره زمین کشف شد!

نوترینو کشف شد! چگونه نوترینو (درست تر، همزاد آن - آنتی نوترینو) در آزمایشگاه کشف شد؟

تئوری کلی واکنش بین ذرات پیشگویی می کرد که بر اثر برخورد آنتی نوترینو با پروتون، پوزیترون و نوترون پدید می آیند. احتمال چنین واکنشی به سبب قابلیت نفوذ عجیب آنتی نوترینو کم است. اما اگر عدۀ آنتی نوترینوها خیلی زیاد باشد، می توان به کشف آنها امیدوار بود. در موقع کار رآکتور اتمی، بر اثر تجزیه هسته اورانیوم عده ای کثیر نوترون آزاد به وجود می آید. نوترونها سپس تجزیه می شوند و دسته های عظیم آنتی نوترینو پدید می آیند. در هرتانیه در حدود 10^{18} آنتی نوترینو به وجود می آیند.

آزمایش کشف آنتی نوترینو در سال ۱۹۵۶ در ایالات متحده به عمل آمد. در داخل زمین در نزدیکی رآکتور، جعبه ای بادیواره - هایی از سرب و پارافین که محتویات جعبه را از تشعشعات بیگانه حفظ می کرد، قرار دادند. در جعبه ۲۰۰ لیتر آب که به وسیله قشر سینتیلاتور^۱ مایع احاطه شده بود، جا دادند.

بر اثر برخورد آنتی نوترینو بایکی از پروتونهای مولکول آب، پوزیترون پدید می آید. برخورد پوزیترون با یکی از الکترونها دو کوانت گاما تولید می کند. کوانت های گاما سبب درخشندگی سینتیلاتور می شوند که به وسیله ۱۵۰ تقویت کننده نور ثبت می شود.

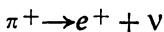
۱- Scintillateur ماده ای است که بر اثر عبور کوانت های گاما از آن، می درخشد.

نوترون به وجود آمده بر اثر واکنش پس از مدتی سرگردانی (چند میلیونیم ثانیه) جذب هسته کادمیم می شود (کادمیم را مخصوصاً به خاطر قابلیت شدید آن در جذب نوترون به آب می افزایند). سپس هسته کادمیم چند کوانت گاما می تابد و به این ترتیب پیدایش نوترون را اعلام می کند. با پیدایش دو کوانت گاما که در جهات متفاوت می گریزند و سپس باز هم چند کوانت گاما، وجود آنتی نوترینو با آن درجه آشکار که فقط در جهان ذرات بنیادی امکان پذیر است، به اثبات می رسد، هر چند نه خیلی آشکار، در عوض کاملاً قطعی.

نقش نوترینو تنها عبارت از توضیح تجزیه شگفت انگیزترین ذره نوترون نیست. اگر پیدایش نوترینو یا آنتی- نوترینو در نظر گرفته نشود، تبدیلات بسیاری

از ذرات بنیادی قوانین بقا را «نقض می کنند.» مثلاً اگر ییلان انرژی و سایر کمیت های ثابت را برای تجزیه مزونهای π که در اتاق ویلسون مشاهده می شود، ارزیابی کنیم، باز هم نا برابری همانند آنچه در تجزیه نوترون روی می دهد، آشکار می شود. یعنی در اینجا هم نوترینو به وجود می آید.

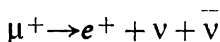
لکن در تجزیه π - مزون ذره ای نامفهوم تر از نوترینو پدید می آید. کوشش می کنیم تا چگونگی تجزیه π - مزون را پیشگویی کنیم. می دانیم هر واکنشی که به وسیله قوانین بقا منع نشده باشد، امکان پذیر است. یعنی واکنش



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

مثبت به پوزیترون و نوترینو تجزیه می شود. در این عمل قوانین بقای انرژی اجرا می شود. همچنین قوانین بقای الکتریسیته و بارلپتونی اجرا شده اند.

چنین واکنشی در حقیقت صورت می گیرد. اما فقط 0.014 درصد پیونها این گونه تجزیه می شوند و 99.986 درصد پیونها به μ - مزون و نوترینو تجزیه می شوند. μ - مزون یعنی ذره ای که 207 بار سنگین تر از الکترون است، بعدها به پوزیترون، نوترینو و آنتی-نوترینو تجزیه می شود (شکل ۶):



لکن شگفت انگیز آن نیست که پیون غالباً به میوئون و نوترینو تجزیه می شود.

از تئوری تأثیرات متقابل ضعیف برمی آید که پیدایش میوئون نسبتاً سنگین در تجزیه پیون فوق العاده محتملتر از پیدایش ذره سبکتر یعنی الکترون است.

شگفت انگیز این است که در طبیعت میوئون پدید می آید. همانطور که قبلاً گفته شد میوئون همزاد کامل العیار الکترون از هر جهت غیر از جرم است. این مسأله که یکی از ذرات یعنی الکترون پایدار است و دیگری یعنی میوئون بدون نقض قوانین بقا تجزیه می شود (عمر میوئون نزدیک به 10^{-6} ثانیه است) اصولی نیست.

هنوز کاملاً روشن نشده است چرا μ - مزون که هیچ تفاوتی با الکترون ندارد، دارای چنان جرم عظیم است. در مورد ذرات

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

تنهایك راه باقی می‌ماند که فرض کنیم وجود μ - مزون با پدیده‌هایی ناشناخته مربوط است. عبدالسلام فیزیکدان پاکستانی درباره μ - مزون چنین می‌گوید: «تئوریهای امروزی مافقط مراحل به‌سوی هماهنگی درونی و تناسب همه‌جانبه است. شاید امروز μ - مزون بیهوده به‌نظر برسد. لکن پس از کشف طبیعت حقیقی آن شیفته هماهنگی آن در طرح کلی خواهیم شد و خواهیم دید که μ - مزون جزء لاینفک چیزی عمیقتر، مهمتر و کاملتر است. اعتقاد به هماهنگی درونی طبیعت در گذشته ثمرات خود را به‌بار آورده است. من اطمینان دارم که در آینده نیز چنین خواهد بود.»

با وجود این ما از بعضی چیزها سر در **نامرئی حریف خود** آورده‌ایم. همین چندی پیش فیزیکدانان را می‌یابد در باره خصلت تجزیه μ - مزون در شك و

تردید بودند. μ - مزون به‌الکترون (یا پوزیترون)، نوترینو و آنتی نوترینو تجزیه می‌شود. برای اینکه بارلپتونی محفوظ بماند، يك نوترینو کافی نیست. اما چرا μ - مزون مطابق طرح:

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

به‌الکترون و فوتون تجزیه نشود، در صورتی که همه قوانین بقا در آن اجرا شده است؟ اینک، حداقل تا اندازه‌ای، می‌دانیم که چرا این فرایند امکان ندارد.

توجه کردید که نوترینو ممکن است یا به همراه الکترون (مثلاً^۲ بر اثر تجزیه^۱ نوترونها) یا به همراه μ - مزون (مثلاً^۳ بر اثر تجزیه پیونها) پدید آید. نوترینو را در مورد اول الکترونی و در مورد دوم میوئونی می گویند. قبلاً^۴ هر دو نوترینو را یکسان می دانستند، هر چند که واقعیتهایی وجود نداشت تا این مسأله را مستقیماً به اثبات برساند.

اما چرا دو نوع نوترینو وجود دارد؟ این مسأله فقط وقتی به صورت مبرم درآمده امکان واقعی حل آن به وسیله آزمایش به وجود آمد. اندیشه آزمایش از برونو پونتکوروو^۵ فیزیکدان شوروی بود.

در صورت یکسان بودن نوترینوهای الکترونی و میوئونی تئوری پیشگویی می کرد که بر اثر برخورد آنتی نوترینو با پروتون، همراه نوترون ممکن است یا پوزیترون یا μ - مزون به وجود آید:

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

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

اما اگر نوترینو با نوترون برخورد کند، همراه پروتون ممکن است الکترون یا μ - مزون تولید شود:

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

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

در آزمایشهای سال ۱۹۵۶ از آن جهت پیدایش μ - مزون روی نداده که آنتی نوترینوهای تولید شده به وسیله رآکتورها برای به وجود

آوردن این فرایند انرژی کافی نداشتند. اگر موفق می‌شدند آنتی-نوترینوها با انرژی زیاد به دست آورند، در آن صورت میوئونها نیز می‌بایستی مانند پوزیترونها به مقدار زیاد تولید شوند.

برای افزایش انرژی آنتی نوترینوی الکترونی لازم است سرعت نوترون را به شدت زیاد کرد. اما چگونه؟ شتابدهنده نوترونها که وجود ندارد. همه روشهای شتاب دادن فقط برای ذرات باردار مناسب هستند. يك راه باقی می‌ماند. می‌توان نوترینو و آنتی نوترینوی میوئونی با انرژی زیاد به دست آورد، در صورتی که پیوندهای تولید کننده آنها سرعتهای کافی داشته باشند. پیوندهای سریع نیز بر اثر بمباران هدف به وسیله پروتونهایی که سرعتی زیاد گرفته‌اند، به وجود می‌آیند. البته امید به دست آوردن دسته متراکم آنتی نوترینو با انرژی زیاد اندك است، زیرا شدت دسته پروتونی در شتابدهنده باشدت دسته نوترونی در رآكتور از زمین تا آسمان فرق دارد. اما افزایش انرژی ذرات برخورد کننده احتمال تأثیرات متقابله ضعیف را به شدت افزایش می‌دهد.

بینیم هدف از این آزمایش چه بود. اگر هر دو نوترینو یکسانند پس نوترینو و آنتی نوترینوی میوئونی باید هم میوئون و هم الکترون یا پوزیترون را به وجود آورند و اگر هم تفاوت دارند پس باید انتظار داشت که فقط میوئون به وجود آید.

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

وجود آمدند. سپس با تجزیه پیوندها آنتی نوترینوها و نوترینوهای با انرژی زیاد پدید آمدند.

برای ثبت ذراتی که به وسیله نوترینوها تولید شده بودند، دستگاهی به نام اتاق اخگری که به روشی جدید ساخته شده بود، به کار رفت. جز این دستگاه هیچ دستگاه ثبات دیگر قادر نبود چندین تن پروتون و نوترون لازم برای مشاهدهٔ عدد محسوس نوترینوی وارد واکنش، داشته باشد.

اتاق شامل يك بسته ده تنی از صفحات آلومینیومی بود که بین آنها ولتاژ زیاد ایجاد شده بود. در همان جایی که ذره باردار سریع در صفحه نفوذ می کند، تخلیه جرقه ای حاصل می شود (شکل ۷). پیوندها، میوئونها، نوترینوها و آنتی نوترینوها قبل از اینکه وارد اتاق شوند، از قشر زره به ضخامت ۱۳/۵ متر گذشته بودند. در این عمل مزونها جذب شدند، اما برای نوترینو این قشر کاملاً شفاف بود^۱. نوترینوها و آنتی نوترینوها در تأثیر متقابل با نوترونها و پروتونهای هسته آلومینیم ذراتی جدید به وجود آوردند.

تمام اتاق از شمارگرهای ذرات احاطه شده بود. شمارگرها ولتاژ بین صفحات را فقط وقتی برقرار می کردند که ذره ای ثبت شدنی به وسیله نوترینوی خارج شده از شتابدهنده به وجود آمده بود. در همان لحظات نیز در جرقه ای ذره عکسبرداری می شد. امکان ثبت ذراتی که از خارج بطور اتفاقی وارد اتاق می شدند (مانند اشعه

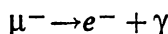
۱- شتابدهنده با نصف قدرت خود کار می کرد، و گر نه ضخامت دیوار مانع را می بایستی بطرزی وحشت-آور افزایش می دادند.

کیهانی) وجود نداشت. مطالعه شش ماه طول کشید و در طول این مدت وجود ۵۰ میوئون کشف شد (شکل ۸). حتی يك الکترون یا پوزیترون دیده به عالم هستی نگشود. این به آن معنی است که نوترینو-های میوئونی فقط می توانند میوئون تولید کنند. وجود دونوع آنتی-نوترینو قطعاً به اثبات رسیده بود.

هنوز روشن نشده است که تفاوت بین **دو نوع بار لپتونی** نوترینوهای الکترونی و میوئونی در چیست. طبیعت در اینجا مسأله ای تازه را در برابر دانشمندان قرار داده است. اما يك چیز روشن است : دونوع بارلپتونی وجود دارد و هر يك از آنها مستقل از دیگری ثابت باقی می ماند .

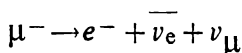
به الکترون و نوترینوی الکترونی بارلپتونی الکترونی ۱ + و به ضد ذرات آنها بار ۱ - ، به μ^- - مزون و نوترینوی میوئونی بارلپتونی میوئونی ۱ + و به μ^+ - مزون و آنتی نوترینوی میوئونی بار ۱ - را باید نسبت داد. در هر واکنش بین ذرات چه مجموع بارلپتونی الکترونی و چه مجموع بارلپتونی میوئونی، مستقل از هم ثابت می ماند . بادر نظر گرفتن قوانین بقای بار لپتونی می توان تمام واکنشهای معلوم را که با شرکت لپتونها صورت می گیرند، توضیح داد .

آنتی نوترینوی میوئونی بر اثر برخورد با پروتون به این جهت نمی تواند نوترون و پوزیترون تولید کند که بارلپتونی میوئونی محفوظ نمی ماند . به همین دلیل نیز واکنش



صورت نمی گیرد .

بر اثر تجزیه μ^- - مزون الکترون ، آنتی نوترینوی الکترونی و نوترینوی میوئونی تشکیل می شود :



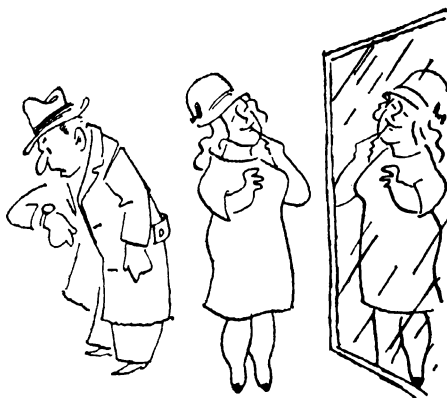
نوترینو قوانین بقای انرژی و سایر کمیت‌های مکانیکی را «نجات داد» ولی يك اصل بسیار مهم دیگر را ویران کرد .

نوترینو و تقارن آئینه‌ای جهان

تا سال ۱۹۵۶ همه معتقد به تقارن آئینه‌ای جهان بودند ، تصویر آئینه‌ای هر شیئی را نیز شیئی ممکن طبیعت می دانستند و تصویر آئینه‌ای هر فرایندی را که در طبیعت روی می دهد نیز ممکن می شمردند . هیچ نوع تفاوت اساسی بین راست و چپ وجود ندارد . زیرا در انعکاس آئینه‌ای راست با چپ و چپ با راست جا بجا می شود .

هرچند در جهان زنده تقارن آئینه‌ای وجود ندارد ، مثلاً قلب انسان در طرف چپ قرار دارد ، با وجود این چنین مواردی را می توان مولود شرایط اتفاقی در نخستین مرحله توسعه و تکامل زندگی در کره زمین دانست . وجود نسخه آئینه‌ای ارگانسیم با قوانین اساسی طبیعت هیچ تناقضی ندارد . مثلاً ، هر چند بندرت ، هستند آدمهایی که قلب آنها در طرف راست قرار گرفته است .

تقارن آئینه‌ای طبیعت به زبان تئوری کوانتمی اجرای قانون بقای مخصوص به نام قانون بقای زوجیت است . قانون بقای زوجیت به این معنی است که طبیعت تفاوتی بین راست پیچی و چپ



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

پیچی دستگاههای مختصات نمی‌شناسد .

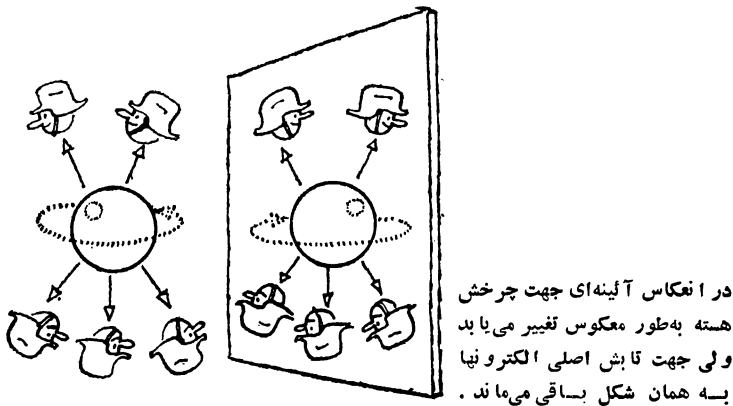
در سال ۱۹۵۶ لی^۱ و یانگ^۲ فیزیکدانان امریکایی متوجه شدند که هیچ نوع واقعیت تجربی تقارن آئینه‌ای را در فرایندهای تأثیرات متقابل^۳ ضعیف تأیید نمی‌کند . بدون شك تقارن در تأثیرات متقابل^۴ الکترو ماگنتیک و قوی وجود دارد . اما در تأثیرات متقابل^۵ ضعیف چطور ؟ ! اطمینان فیزیکدانان به تقارن جهان خیلی محکم و قطعی بود . از این لحاظ نامه‌ای که پائولی در ۱۷ ژانویه سال ۱۹۵۷ به وایسکوپف^۶ نوشت ، جالب است : «من باور ندارم که خدا چپ دست ضعیف است و حاضرم مبلغی زیاد شرط ببندم که آزمایشها وجود تقارن را تأیید خواهند کرد» .

لکن پس از دو روز در ایالات متحده آزمایشهایی انجام گرفت که به روشنی نشان داد در تأثیرات متقابل^۷ ضعیف تقارن راست و چپ وجود ندارد . در ۲۷ ژانویه پائولی نوشت : «حال

که نخستین هیجان برطرف شد، من دارم به خود می‌آیم . به‌راستی چقدر دردناک بود . ساعت ۸ بعد از ظهر روز سه‌شنبه بیست و یکم 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 اینک مهم‌تر از همه حل این مسأله است که چر تأثیرات متقابلهٔ قوی نسبت به چپ و راست متقارن است.» بزودی این مسأله تا اندازه‌ای روشن شد و معلوم شد که با خواص غیر عادی نوترینو که در نتیجهٔ تأثیرات متقابلهٔ ضعیف به وجود می‌آید، مربوط است .

اما بهتر است ابتدا چند کلمه‌ای از خود آزمایشها صحبت کنیم. ایدهٔ آزمایشها چنین است . تمام هسته‌ها از جمله هسته‌های رادیو اکتیو به شکلی معین می‌چرخند. هسته‌ها دارای ممان مکانیکی اختصاصی ایمپولس یعنی اسپین هستند. بر اثر تجزیهٔ بتایی، الکترونها از هسته خارج می‌شوند. اگر در طبیعت تقارن آئینه‌ای وجود دارد، پس جهت حرکت الکترونهايي که از هسته جدا می‌شوند، نباید به جهت چرخش هسته بستگی داشته باشد. فرض کنیم هسته‌ها عکس عقربهٔ ساعت بچرخند، در صورتی که از بالا به پایین به آنها نگاه کنیم (چنین سم‌نگیری می‌تواند در دماهای پایین در میدان مغناطیسی شدید به وجود آید) و نیز فرض کنیم اکثر الکترونها از هسته به طرف پایین بشابند. در آن صورت در انعکاس آئینه‌ای جهت چرخش هسته

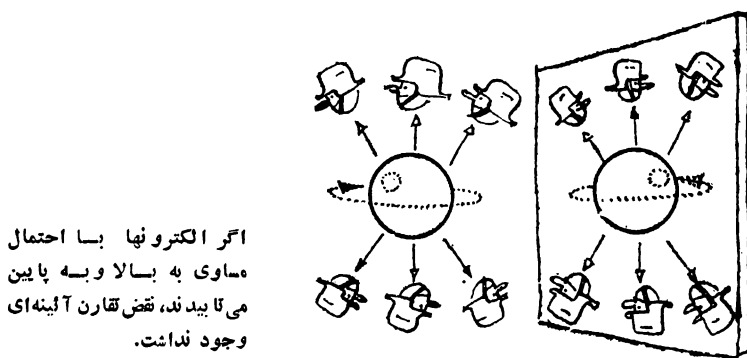
به طور معکوس تغییر می یابد ولی جهت تابش اصلی الکترونها به همان شکل باقی می ماند. این نقض تقارن آئینه ای است. اما اگر الکترونها با احتمال مساوی به بالا و به پایین می تابیدند چنین نبود، یعنی تقارن آئینه ای وجود داشت.



آزمایشهای وو^۱ از روی مشاهده تجزیه رادیو آکتیوی کبالت (Co^{60}) نشان دادند که شصت درصد هسته های سمت یابی شده کبالت الکترونها را به طرف پایین می تابند. سپس با تکرار این آزمایشها در بسیاری از آزمایشگاههای جهان شکی در تخلف از تقارن آئینه ای باقی نگذاشت.

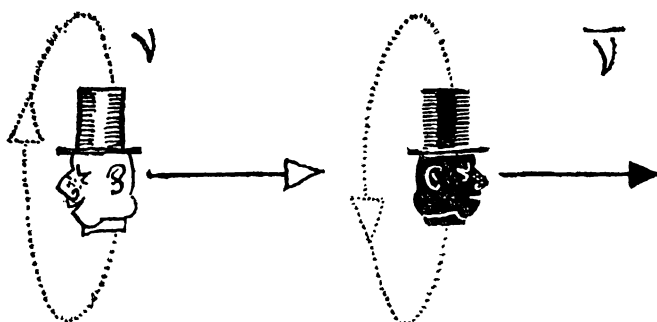
این آزمایش جالب را با خواص نوترینو هایی که همراه الکترونها در تجزیه بتایی از هسته می تابند، توضیح می دهند. فضای خالی به طور آئینه ای متقارن است اما نوترینو تنها ذره ای است که تقارن آئینه ای ندارد. نوترینو و آنتی نوترینو به شکلی کاملاً

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



حرکت بچرخد. با در نظر گرفتن این خاصیت نوترینو می‌توان توضیح داد چرا الکترونها در جهتی معین از هسته خارج می‌شوند. بعدها نقض تقارن آئینه‌ای در تجزیه π - مزون و μ - مزون کشف شد. در اینجا نیز نوترینوها پدید می‌آیند و با چرخش خود موجب نقض بقای زوجیت می‌شوند.

با وجود این خیلی مانده است تا همه چیز روشن شود. نقض تقارن آئینه‌ای مثلاً در موقع پیدایش و تجزیه ذره 8° مشاهده می‌شود. اما در این فرایندها نوترینوها اصلاً شرکت نمی‌کنند. تأثیرات متقابل ضعیف همیشه موجب نقض تقارن آئینه‌ای می‌شوند. در مواردی که پیدایش نوترینو روی نمی‌دهد، سبب نقضها روشن نشده است.



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

اتفاق بارها

بزرگترین عدم تقارن جهان ما از نقطه نظر فیزیک 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 به همراه پوزیترونها می‌توانند آنتی اتمها و تکه‌های ضدماده را به وجود آورند.

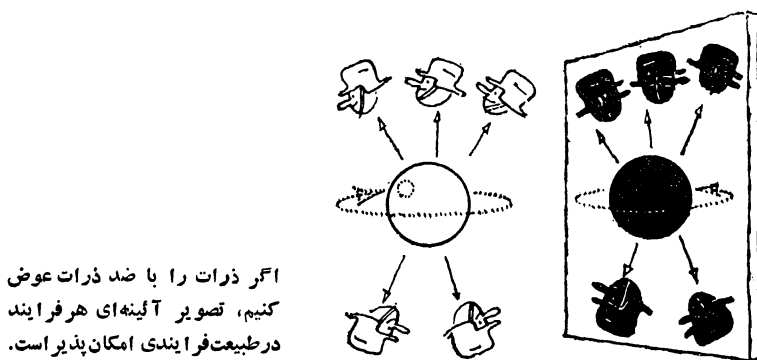
ما درباره جدایی ماده کائئات از ضد ماده اطلاعی نداریم. اما اگر این جدایی نبود، نه ما و شما و نه جهان عینی وجودداشت. خطر انفجار نابودکننده اجازه نزدیکی ماده و ضد ماده را نمی‌دهد. شاید ضد ماده درجایی، خارج از مرزهای ناحیه مرئی کائئات وجود دارد، جایی که هیچ خبری از آن به ما نمی‌رسد.

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

می کردند که طبیعت نسبت به اتفاق بارداری متقارن است. لکن خواص نوترینو را به خاطر بیاوریم. در اتفاق بارداری همه نوترینوها جانشین آنتی نوترینوها و برعکس همه آنتی نوترینوها جانشین نوترینوها می شوند. اما به سبب چرخش این ذره، فرایندها درجهانی که نوترینو جای آنتی نوترینو را بگیرد، به شکلی دیگر روی خواهند داد. آنها چنان به نظر خواهند آمد که در موقع انعکاس آئینه ای به نظر می آیند، انعکاسی که درست چرخش نوترینو را نیز تغییر دهد. پس طبیعی است که تجزیه آنتی کبالت را درست همانند تجزیه کبالت که در آئینه دیده می شود، ممکن بدانیم.

با اتحاد دو عدم تقارن (آئینه ای و بارداری) به تقارنی عالیتز می رسم که نام اصل زوجیت مرکب را گرفته است. مطابق این اصل اگر ذرات را با ضد ذرات عوض کنیم، تصویر آئینه ای هر فرایند در طبیعت فرایندی امکان پذیر است.

اگر قبلاً گمان می کردند که تفاوت تصویر جسم در آئینه با



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 در آئینه ضد من خود را می‌بینید: چپ جای راست و ذره جای ضد ذره را گرفته است.

فصل هشتم

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



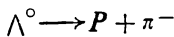
زیبایی واقعی بدون ذره‌ای غرابت وجود ندارد.
فرنیس بکن^۱

دانشمندان از سال ۱۹۴۷ به سرعت به تکمیل
ذرات جدید فقط جدول ذرات بنیادی با ذرات جدید پرداختند.
جفت جفت پدیدار البته نه از آن جهت که طبیعت ذرات را بهتر
می‌شوند

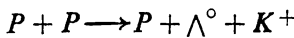
شناخته بودند و ردیابی ذرات با موفقیت بیشتر
توأم بود، بلکه شتاب دهنده‌هایی قویتر ساخته شده بود و در
آزمایشگاه‌های فیزیکدانان ذرات با انرژی زیاد آنقدر فراوان به
وجود آمده بود که سابقه نداشت. در طول هشت سال شانزده ذره

جدید (مزونهای K و هیپرونها) کشف شد.

بین آنها ذرات خنثای K^0 - مزون و Λ^0 - هیپرون غیر قابل رؤیت در اتاق ویلسون وجود دارند. این ذرات موجودیت خود را با مسیرهایی به شکل V که محصولات تجزیه آنها را تشکیل می دهند و حامل بار الکتریکی هستند، اعلام داشتند (شکل ۹):



به زودی متوجه ویژگی عجیب ذرات جدید شدند: آنها فقط دوتا دوتا و یا به صورت گروههای بزرگ به وجود می آیند (شکل ۱۵). فیزیکدانان مدت ها است که به پیدایش دوتایی ذره و ضد ذره عادت کرده اند. اما در اینجا ابداً چنین نبوده است. اینك يك نمونه از این واکنشها:



بر اثر برخورد دو پروتون ذره Λ^0 و K^+ - مزون تولید می شود و یکی از پروتونها نیز باقی می ماند.

ترکیب جفتهایی که به وجود می آیند محدود است. مثلاً ذره Λ^0 می تواند همراه با K^+ - مزون یا Σ^+ - هیپرون به وجود آید نه با K^- - مزون و Σ^- - هیپرون.

جرم سکون مزونهای K و هیپرونها به میزان قابل ملاحظه از جرم نوکلئونها بیشتر است. **دراز عمری باور**
نکردنی

به همین جهت تعجب آور نیست که آنها فقط در تأثیرات متقابل ذرات (معمولاً پروتونهای) انرژی زیاد تولید می شوند. ذرات جدید محصول تأثیر متقابل قوی هستند و گرنه به

مقدار زیاد تولید نمی شدند. شاید تصور شود که این ذرات نمی توانند عمری دراز داشته باشند. آنها به سبب همان تأثیرات متقابلۀ قوی باید تجزیه شوند، اگر... اگر قوانین بقا اجازه دهند. مثلاً ذره 8° باید به سرعت به پروتون و پيون منفی تجزیه شود.

واکنش نیز در حقیقت همین طور صورت می گیرد زیرا نه قوانین مکانیکی بقا و نه قوانین بقای بارهای گوناگون نقض نمی شوند. اما فرایند تجزیه به شکلی عجیب به تأخیر می افتد. طول عمر 8° - هیپرون (از مرتبه 10^{-10} - 10^{-11} ثانیه) در مقایسه با طول عمر ذراتی که به وسیله تأثیرات متقابلۀ قوی تجزیه می شوند (10^{-23} - 10^{-22} ثانیه) خیلی زیادتر است. اگر این افزایش عمر در مورد انسان صورت گیرد، سن انسان از سن منظومه شمسی بیشتر خواهد شد. تأثیرات متقابلۀ قوی والکتروماگنتیک می توانند این ذرات (درست تر جفتهای ذرات) را به وجود آورند اما به عللی نمی توانند آنها را نابود کنند. نظری به طول عمر ذرات جدید بیندازید و آنها را با طول عمر مزونهای π باردار که در نتیجه تأثیرات متقابلۀ ضعیف تجزیه می شوند، مقایسه کنید. مزونهای K نیز در طول همین مدت تجزیه می شوند. زمان تجزیه هیپرونها نیز تقریباً همین است. پی بردید که این مسأله تصادفی نیست؟

آری چنین است! تجزیه ذرات جدید همان گونه که دقیقترین آزمایشها نشان می دهند، به وسیله تأثیرات متقابلۀ ضعیف صورت می گیرد. زیرا این ذرات عمر طولانی دارند. در اینجا بار دیگر به طور عینی ثابت می شود که تأثیرات متقابلۀ ضعیف خیلی کند است

اما بهیچ وجه نیروهایی ناچیز نیست. آنها اعمالی را انجام می دهند که قویترین (یا سریعترین) نیروهای طبیعت در انجام آنها ناتوانند. پیدایش دوتایی و درازی عمر از خواص عجیب ذرات جدید است. به همین جهت فیزیکدانان این ذرات را ذرات عجیب و غریب نامیده اند.

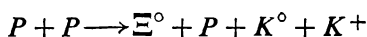
علت دراز عمری فیزیکدانان، با تجربه دریافته اند اگر حادثه ای که ظاهراً باید روی دهد، روی ندهد، پس بابد به جستجوی قانون بقای دیگر پرداخت. چنین قانونی نیز به وسیله هل - مان فیزیکدان امریکایی و نیشیجیما دانشمند ژاپونی کشف شده است.

بنا به عقیده این دانشمندان ذرات عجیب ناقل یک عدد کوانتمی دیگر هستند که در تأثیرات متقابل قوی و الکتروماگنتیک حفظ می شود اما در تأثیرات متقابل ضعیف ثابت نمی ماند. این عدد کوانتمی را غرابت نامیده اند. قانون بقای غرابت هم پیدایش دوتایی و هم دراز عمری ذرات عجیب را توضیح می دهد، هرچند برای خود آن تا حال تعبیری روشن پیدا نشده است.

مطابق این نظریه ذرات Λ^0 ، Σ^+ ، Σ^- ، Σ^0 ، K^- ، $\bar{K}^0$ غرابت مساوی با -۱، ذرات $\bar{\Lambda}^0$ ، $\bar{\Sigma}^+$ ، $\bar{\Sigma}^-$ ، $\bar{\Sigma}^0$ ، K^+ ، K^0 غرابت +۱، ذرات Ξ^- ، Ξ^0 غرابت -۲، ذرات $\bar{\Xi}^-$ ، $\bar{\Xi}^0$ غرابت +۲ دارند، و نوکلئونها، مزونهای π و مزونهای η غرابت ندارند.

جمع جبری غرابتها در هر واکنشی که به وسیله تأثیرات متقابل

قوی یا الکتروماگنتیک به وجود می آید، بدون تغییر باقی می ماند . به همین جهت تأثیرات متقابل قوی در برخوردهای ذرات، یکباره کمتر از دو ذره دارای غرابت با علامتهای مخالف به وجود نمی آورند. مثلاً در برخورد پروتونها ، ذرات Λ^0 و K^+ تشکیل می شوند نه ذرات Λ^0 و K^- . در پیدایش ذرات Ξ^0 باز هم دو ذره مزون عجیب همزمان پدیدار می شوند :



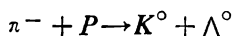
ذره Ξ^0 غرابت ۲- و ذرات K^0 و K^+ در مجموع غرابت ۲+ دارند. به همین جهت چنین واکنشی می تواند در نتیجه تأثیرات متقابل قوی صورت گیرد.

اما تأثیرات متقابل قوی نمی توانند ذرات عجیب را متلاشی کنند. برای تجزیه به سایر ذرات عجیب، انرژی نمی تواند کاری انجام دهد و ذرات سبکتر نیز فاقد غرابت هستند. بنابراین تأثیرات متقابل هسته ای و الکترو ماگنتیک در این مورد ناتوانند^۱. فقط تأثیرات متقابل ضعیف بالاخره ذرات عجیب را به پایان عمر نزدیک می کنند. کشف قانون بقای غرابت امکان داده است نه تنها به رفتار مزونهای K و هیپرونهای پی برند بلکه بسیاری از این ذرات از آن جمله هیپرونهای Σ^0 و Ξ^0 را پیشگویی کنند .

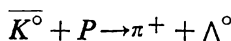
۱- تجزیه Σ^0 - هیپرون استننا را تشکیل می دهد ؛ $\Lambda^0 + \gamma \rightarrow \Sigma^0$ واکنش به وسیله نیروهای الکتروماگنتیک صورت می گیرد. نیروهای هسته ای نمی توانند اسپین ایزوتوبی را تغییر دهند. اسپین ایزوتوبی در ذرات Σ^0 مساوی با يك و در Λ^0 - هیپرون مساوی با صفر است.

موفق شده اند خواصی شگفت انگیز حتی برای
مزونهای شگفت انگیز K^0 و $\bar{K}^0$
 مزونهای عجیب K^0 و $\bar{K}^0$ پیشگویی کنند. این
 ذرات تنها در علامت غرابت تفاوت دارند و

در بقیه خواص همانندند. از آنجا که غرابت فقط در تأثیرات
 متقابله قوی (نه در ضعیف) ثابت می ماند، K^0 و $\bar{K}^0$ باید فقط در
 واکنشهایی که درست تأثیرات متقابله قوی موجب به وجود آمدن
 آنها شده اند، همانند ذرات متفاوت رفتار کنند. مثلاً در واکنش



K^0 - مزون با غرابت +۱ به وجود می آید نه ضد ذره $\bar{K}^0$ با غرابت
 -۱. تنها $\bar{K}^0$ (نه K^0) بر اثر برخورد با پروتون می تواند Λ^0 -
 هیپرون را به وجود آورد :



K^0 و $\bar{K}^0$ در تجزیه نیز باید یکسان رفتار کنند زیرا تجزیه را
 تأثیرات متقابله ضعیف که رعایت غرابت رانمی کند، باعث می شود.
 این مسأله قابل فهم است اما به راستی وضع بسیار پیچیده
 است. مزونهای خنثای K نسبت به تجزیه نه مانند يك ذره
 بلکه همانند دو ذره با راههای متفاوت تجزیه و با طول عمرهای
 متفاوت و حتی با جرمهای نسبتاً متفاوت رفتار می کنند. مزونهای
 خنثای K فقط شامل ذرات K^0 و $\bar{K}^0$ نیست بلکه شامل مزونهای
 K_1^0 و K_2^0 نیز هست. طبیعت ذرات خنثای K را در پیدایش به يك
 طریق و در تجزیه به شکلی کاملاً دیگر از یکدیگر متمایز می سازد.
 گمان نمی رود در این کتاب کوچک بتوان بقدر کافی توضیح داد که

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

مزونهای K^0 و $\overline{K}^0$ نسبت به تأثیرات متقابله ضعیف بایدمانند يك ذره رفتار کنند . به همین جهت هر K - مزون خنثی آماده تجزیه شدن را می توان همچون مخلوطی از K^0 - مزون و $\overline{K}^0$ - مزون ، درست ترمانند دونوع مخلوط باذوجیت مرکب متفاوت تصور کرد . توضیح این مسأله دشوارتر از همه است .

به خاطر می آورید ؟ ذوجیت مرکب ثابت می ماند . این به آن معنی است که اگر ذرات را با ضد ذرات عوض کنیم و تمام منظره را در آئینه منعکس سازیم همه وقایع دنیای خرد باید همچنان مانند قبل از اجرای این اعمال روی دهد . پس رفتار کمیت های مبین حالات ذرات در مکانیک کوانتومی (آنها توابع موجی نامیده می شوند) در عمل تعویض ذرات با ضد ذرات که با انعکاس آئینه ای همزمان است ، متفاوت است . در بعضی موارد تابع موجی اصلاً تغییر نمی کند ، یعنی ذوجیت مثبت است ولی در برخی موارد علامت را تغییر می دهد ، یعنی ذوجیت منفی است .

حالت K_1^0 - مزون را می توان همانند مجموع حالات مزونهای K^0 و $\overline{K}^0$ و حالت K_2^0 - مزون را همچون تفاوت همان حالات با شدت مساوی دانست^۱ :

$$K_1^0 = \frac{K^0 + \overline{K}^0}{\sqrt{2}}$$

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

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

مزونهای K_1° و K_2° با ذوجیت مرکب از یکدیگر متمایزند: ذوجیت مرکب در ذره 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 π - مزون تجزیه شوند. زیرا دستگاهی از دو π - مزون ذوجیت مثبت دارد و K_2° - مزون فقط به سه π - مزون تجزیه می‌شود زیرا ذوجیت دستگاهی از سه π - مزون منفی است. ذوجیت مرکب در تأثیرات متقابل ضعیف باید محفوظ بماند.

تفاوت در کانالهای تجزیه موجب تفاوت در طول عمر می‌شود. طول عمر مزونهای K_2° تقریباً صدبار بیشتر از مزونهای K_1° است. ذرات K° و $\overline{K}^\circ$ را نیز می‌توان مخلوطی از مزونهای K_1° و K_2° با شدت یکسان دانست:

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

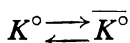
$$\overline{K}^\circ = \frac{K_1^\circ - K_2^\circ}{\sqrt{2}}$$

این معادلات به شکلی ساده از معادلات قبلی نتیجه می‌شوند. این گفته‌ها ابداً ثمره خیالبافی عجیب و غریب نیست. آزمایش می‌گوید که در واقع نیز همین طور است.

فرض کنیم که بر اثر برخورد مزونهای سریع π - با پروتونهای

هدف ، مزونهای K^0 به وجود آیند . اینها ذراتی با غرابت ۱ + هستند و در برخورد با پروتون نمی توانند هیپرونها $^{\circ} 8$ را به وجود آورند . اما بعد چه روی می دهد ؟ K^0 - مزون مخلوطی از ذرات $^{\circ} K_1$ و $^{\circ} K_1$ است . مزونهای $^{\circ} K_1$ به سرعت تجزیه می شوند و در فاصله چند متری هدف فقط مزونهای $^{\circ} K_2$ باقی می ماند . اگر در نظر بگیریم که مزونهای $^{\circ} K_2$ مخلوط مزونهای $^{\circ} K$ و $^{\circ} \bar{K}$ به مقدار مساوی است ، پس در فاصله چندمتری هدف عده مساوی مزونهای $^{\circ} K$ و $^{\circ} \bar{K}$ را خواهیم داشت . ولی مزونهای $^{\circ} K$ می توانند درواکنش با پروتونهای هدف دوم که دورتر ازاولی قرار دارد ، شرکت کنند و هیپرونها $^{\circ} 8$ را به وجود آورند . اما مزونهای $^{\circ} \bar{K}$ که ابتدا در دسته وجود نداشتند ! همه اینها درست در آزمایش مشاهده شده است .

عملاً چنین نتیجه می شود که تأثیرات متقابل ضعیف در خلأ قادرند مزونهای $^{\circ} K$ را به مزونهای $^{\circ} \bar{K}$ و بالعکس تبدیل کنند :



این تبدیل از آن جهت امکان پذیر است که در تأثیرات متقابل ضعیف غرابت محفوظ نمی ماند .

حوادث حیرت انگیز به همین جا ختم نمی شود . پس از هدف دوم عده مزونهای $^{\circ} \bar{K}$ کمتر از عده مزونهای $^{\circ} K$ است زیرا قسمتی از مزونهای $^{\circ} \bar{K}$ در واکنش با پروتونها شرکت می کند . پس تناسب بین $^{\circ} K$ و $^{\circ} \bar{K}$ در تولید مزونهای $^{\circ} K_2$ خالص بهم می خورد . در نتیجه مزونهای $^{\circ} K_1$ ظاهر می شوند و از نو امکان مشاهده تجزیه به دو π -

مزون به وجود می‌آید (شکل ۱۱).

در اینجا همه چیز بینهایت غیرعادی است. این حوادث دنیای خرد را می‌توان با منظره زیرشبه دانست. دسته‌ای از کلاغهای خاکستری از روی تخته سنگی به هوا پریدند. اما در این دسته هر کلاغ در حقیقت 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 به نوبه خود به معنی آن است که قرقیهایی که قبلاً در کنار تخته سنگ اول نابود شده بودند، پدیدار شده‌اند. خیالپردازی محض است. با وجود این همه وقایع برای مزونهای K^0 درست همین گونه روی می‌دهد.

در سال ۱۹۶۴ معلوم شد که پژوهشهای جدید **تزلزل جدید** از نو اساس تئوری ذرات بنیادی را متزلزل کرده است. مزونهای خنثای K باز هم وجه تمایزی پیدا کرده‌اند. در فاصله ۱۹ متری هدفی که دسته مزونهای K^0 در آن به وجود آمده است، دو π - مزون (نه سه π - مزون بر طبق معمول) مشاهده شده است. هرچند امکان این نوع تجزیه اندک است (در حدود ۲٪ درصد)، اما در وجود آن شک نیست.

مزونهای K_1^0 در این فاصله زیاد نمی‌توانند وجود داشته باشند. پس مزونهای K_1^0 به دو π - مزون تجزیه شده‌اند، یعنی بی‌کم و کاست نقض ذوجیت مرکب در تأثیرات متقابل ضعیف. قانون

بقایای 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 زوجیت مرکب بساید موجب
 برگشت ناپذیری پدیده‌ها بر حسب زمان در دنیای خرد باشد. این یکی
 از جدیترین تزلزل مبانی است که زمانی در فیزیک روی داده است.
 از زمان کشف جدید چند سال می‌گذرد اما تا حال موفق به
 حل قطعی آن نشده‌اند .

زندگی ذرات عجیب به وسیله تأثیرات متقابلۀ
تأثیرات متقابلۀ ضعیف
همه کاره‌اند
 ضعیف به پایان می‌رسد. اگر تأثیرات متقابلۀ
 ضعیف نبود ، پایداری این ذرات کمتر از
 الکترون و پروتون نبود .

قبلاً خاطر نشان کرده‌ایم که تأثیرات متقابلۀ ضعیف همه کاره‌اند.
 لکن این نیروها بقدری کند عمل می‌کنند که نمی‌توانند با نیروهای
 هسته‌ای و الکترومagnetیک رقابت کنند. تأثیرات متقابلۀ ضعیف قادر
 نیستند در فرایندهایی که تحت تأثیر نیروهای قویتر طبیعت قرار
 می‌گیرند، شرکت کنند . اما تأثیرات متقابلۀ ضعیف در دو مورد
 قاطعاً عمل می‌کنند : در فرایندهایی که نوترینوها به وجود می‌آیند
 و در فرایندهایی که غرابت تغییر می‌کند . در اینجا سایر تأثیرات
 متقابلۀ ناتوانند . نوترینو فقط در تأثیرات متقابلۀ ضعیف شرکت

می‌کند و تنها تأثیرات متقابلۀ ضعیف می‌توانند غرابت را تغییر دهند. این فرایندها با يك سرعت داخلی صورت می‌گیرند و به وسیلۀ يك مقدار ثابت تأثیرات متقابلۀ مشخص می‌شوند.

این همه کاره بودن که در نتیجۀ آن، تبدیلات کاملاً متفاوت با يك ثابت ارتباط مشخص می‌شوند، از کجا پیدا شده است؟ این مسأله اخیراً روشن شده است.

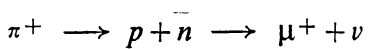
مطابق تئوریهای امروزی در تأثیرات متقابلۀ ضعیف همیشه چهار ذره به نام فرمیون^۱ با اسپین $\frac{1}{2}$ شرکت می‌کنند. همه کاره بودن تأثیرات متقابلۀ ضعیف عبارت از این است که تأثیر متقابلۀ هر دو فرمیون به يك شکل صورت می‌گیرد و با يك ثابت ارتباط مشخص می‌شود. فقط لازم است که هر جفت فرمیون که در تأثیرات متقابلۀ شرکت دارد، شامل يك ذره باردار و يك ذره خنثی باشد. لپتونها و باریونها هریک جفتهای جداگانه را تشکیل می‌دهند. اما تأثیر متقابلۀ ضعیف در تمام این جفتهای یکسان عمل می‌کند.

در مورد تجزیۀ نوترون و μ - مزون خصلت چهار فرمیونی تأثیر متقابلۀ به چشم می‌خورد، یعنی همه فرمیونها که در تأثیرات متقابلۀ شرکت می‌کنند، حضور دارند. اما همیشه این طور نیست. مثلاً در تجزیه π - مزون :

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

در اینجا فقط دو فرمیون μ^+ و ν_μ مستقیماً شرکت دارند. معهذ این واکنش را نیز تأثیر متقابلۀ چهار فرمیونی به وجود آورده

است. منتها آن را در دومرحله انجام می دهد. در نخستین مرحله π^+ - مزون درمدتی کوتاه مجازاً تولید جفت پروتون - آنتی نوترون می کند و سپس تأثیر متقابلۀ ضعیف این جفت را به μ - مزون و نوترینوی میوئونی تبدیل می کند.



تأثیر متقابلۀ قوی

تأثیر متقابلۀ ضعیف چهار فرمیونی

مرحلۀ میانی این واکنش مشاهده نمی شود و به همین جهت خصلت چهارفرمیونی تأثیر متقابلۀ پوشیده می ماند. وضع در سایر واکنشها نیز چنین است.

توجه کردید که همه گروهای پیشین تأثیر متقابلۀ ذره ای که خواص به وسیلۀ میدان، درست تر به وسیلۀ مبادله آن را می شناسیم کوانتهای میدانهای مربوطه وجود پیدامی کنند. ولی نمی دانیم تأثیر متقابلۀ ضعیف به تعبیر امروزی از وجود دارد یا نه استثنائات است. گمان می رود که تمام چهار فرمیون در يك نقطه بدون هیچگونه واسطه ای در تأثیرات متقابلۀ شرکت می کنند.

آیا واقعاً همین طور است؟ شاید میدان تأثیرات متقابلۀ ضعیف وجود دارد و بر وفق معمول کوانتهای این میدان نیز وجود دارند. بازهم نوعی از ذرات بنیادی؟ آری، فرضیه می گوید که تأثیرات متقابلۀ بین جفتهای فرمیونها به کمک ذراتی مخصوص به نام بوزونهای

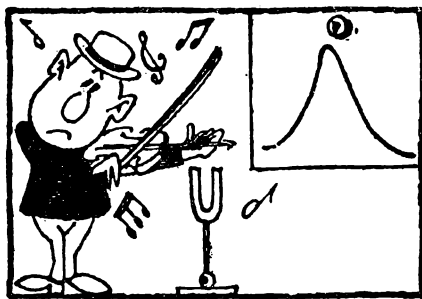
میانی صورت می گیرد. بوزونها ذراتی هستند که اسپین صحیح (در واحد $\hbar$) دارند. بطوری که از تئوری، از آن جمله از قوانین بقا برمی آید، بوزونها باید بار الکتریکی داشته باشند. جرم آنها باید از مزونهای K بیشتر باشد. زیرا در غیر این صورت مزونهای K باید به بوزون میانی و کوانت γ تجزیه شوند. چنین تجزیه ای واقعاً مشاهده نشده است.

بوزون میانی نیز مانند سایر ذرات نمی تواند پایدار باشد. طول عمر آن باید نزدیک به 10^{-17} ثانیه باشد. بوزون میانی می تواند به μ - مزون و نوترینو، الکترون و نوترینو یا به چند π - مزون تجزیه شود. بوزونهای میانی نوترینوهای با انرژی زیاد در میدان هسته به وجود آورند.

با وجود کوششهایی که در راه یافتن بوزوینها به عمل آمده است، تاکنون موفق به پیدا کردن آنها نشده اند. درباره این ذره خیلی چیزها می دانیم. فقط مهمتر از همه را نمی دانیم: اصلاً وجود دارد یا نه؟

فصل نهم

در باب ناپایدارترین ذرات



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

در ردیف ۳۵ ذره نسبتاً دراز عمر ذراتی
وجود دارند، بقدری کوتاه عمر، که معمولاً

ناپایدارترین

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 دائماً نیز برعهدهٔ آنها افزوده می‌شود.

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

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

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

در سال ۱۹۶۰ گروه محققان دانشگاه کالیفرنیا

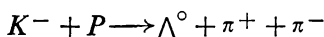
**نیافتنی را هم
می‌توان یافت**

(ایالات متحده) به کمک 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 بر طبق طرح زیر صورت می‌گرفت :



از مسیر ذراتی که در این واکنش شرکت داشتند، چند صد عکس

تهیه شد. سپس ارتباط عده مزونهای π^+ و π^- به وجود آمده با

انرژی آنها به کمک ماشین حساب ارزیابی شد.

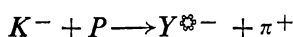
تصادفی نبود که دست به این کار زدند. درست به همین طریق

ممکن بود به کشف ذرات بسیار کوتاه عمر امید داشت.

ایده چنین است : اگر در برخورد P و K^- یکباره سه ذره تولید می شود ، همانطور که در عکس دیده می شود (شکل ۱۲) ، پس انرژی مزونهای π^- می تواند گوناگونترین مقادیر را بپذیرد : از نزدیک به صفر تا حداکثری که قانون بقای انرژی مجاز می داند. انرژی اولیه K^- - مزون و پروتون نیز بین ذراتی که به وجود می آیند ، باید تقسیم شود .

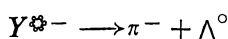
در حقیقت معلوم شد که منحنی ارتباط عده پیونهای به وجود آمده با انرژی ، ماکزیممی تند داشت (شکل ۱۳) . قسمت اعظم مزونها با انرژی کاملاً مشخص به وجود می آمدند .

این مسأله راتنها به يك طریق می توان توضیح داد. در مرحله اول واکنش مورد تحقیق فقط دو ذره به وجود می آید :



در این عمل قوانین بقای انرژی و ایمپولس ، انرژی هر ذره را همسان معین می کنند. از این رو مزونهای π^+ باید با انرژی معین به وجود آیند .

در مرحله دوم واکنش ، ذره میانی یا رزونانس $Y^* -$ به $\Lambda^0 -$ هیپرون و π^- - مزون تجزیه می شود :



این تجزیه بقدری سریع روی می دهد که در عکس مسیر ذرات مثل اینکه هر سه ذره π^+ ، π^- و Λ^0 از يك نقطه برمی خیزند . اگر رزونانس $Y^* -$ تشکیل نمی شد ، ماکزیمم تند منحنی که ارتباط عده

مزونها را با انرژی بیان می‌کند، وجود نداشت.^۱
از روی بیان انرژی و ایمپولس می‌توان انرژی سکون
رزونانس تولید شده Y^{*0} و جرم آن را معین کرد. جرم Y^{*0}
بر حسب انرژی مساوی با ۱۸۳۲ میلیون الکترون ولت است.
اما طول عمر رزونانس. ما کزیم منحنی توزیع انرژی مزونهای
 π^+ پهنای نزدیک به شصت میلیون الکترون ولت دارد. یعنی انرژی
یا جرم سکون رزونانس کاملاً ثابت نیست. بر طبق اصل عدم قطعیت،
هر چه عدم قطعیت در انرژی دستگاه بیشتر باشد، طول عمر آن کمتر
است:

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

با دانستن ΔE طول عمر رزونانس Y^{*0} به دست می‌آید که از مرتبه
 10^{-23} ثانیه است.

رزونانس Y^{*0} بار منفی دارد. اما در برخورد مزونهای
 K با نوکلئونها رزونانسهای مثبت و خنثی Y^{*+} و Y^{*0} نیز پدید
می‌آیند. هر سه ذره جرمهای نزدیک به یکدیگر دارند و تریپلت باردار
با اسپین ایزوتوپی مساوی با واحد را به وجود می‌آورند.^۲

رزونانسهای Y^{*0} نخستین ذرات کشف شده از
انواع رزونانسها
این نوع نیستند. انریکوفرمی در سال ۱۹۵۲
رزونانسی را در موقع پراکندگی پیونها روی نوکلئونها کشف کرد.

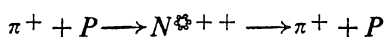
۱- در بعضی موارد یکباره سه ذره تولید می‌شوند. به همین جهت مزونها با انرژیهای متفاوت یافت می‌شوند.

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

احتمال پراکندگی پیوندهای مثبت روی پروتون وقتی که انرژی دسته پیمونی به ۱۹۵ میلیون الکترون ولت می‌رسد، به شدت افزایش می‌یابد (شکل ۱۴).

شکل منحنی خیلی شبیه منحنی رابطه نوسان مکانیکی با فرکانس است و همین شباهت نیز اساس نامگذاری ذرات کوتاه عمر یعنی رزونانسها قرار گرفت.

در صورتی که در نظربگیریم واکنش در دو مرحله صورت می‌گیرد، می‌توان پیدایش ماکزیمم در منحنی ارتباط عده پیوندهای پراکنده شده با انرژی آنها را توضیح داد. ابتدا π - مزون بانوکلئون یکی می‌شود و رزونانس را تشکیل می‌دهد و سپس این رزونانس تجزیه می‌شود:



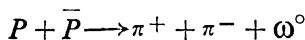
از روی منحنی رزونانسی معلوم می‌شود که طول عمر ذره N^{*++} از مرتبه 10^{-23} ثانیه است.

رزونانس N^{*++} حامل دوبار الکتریکی است. با مطالعه پراکندگی مزونهای π روی نوکلئونها سه رزونانس دیگر نیز کشف شده‌اند: N^{*-} ، N^{*0} و N^{*+} . هر چهار رزونانس N^{*} مولتیپلت با اسپین ایزوتوپی $\frac{3}{2}$ را تشکیل می‌دهند.

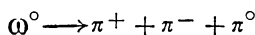
رزونانسهایی که تا حال درباره آنها صحبت کردیم، رزونانسهای باریونی نام دارند. رزونانسهای مزونی نیز وجود دارند که بار باریونی ندارند و تنها به مزونها تجزیه می‌شوند.

۱- گاهی آنها را با علامتهای Δ^{++} ، Δ^{-} ، Δ^{0} و Δ^{+} مشخص می‌کنند.

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^- - مزون و رزونانس ω^0 به وجود می‌آیند:



رزونانس ω^0 فاقد بار است و اسپین صحیح دارد و در طول ۱۰-۱۲ ثانیه به سه π^- - مزون تجزیه می‌شود:



رزونانس‌های دیگر را که تاکنون شناخته شده‌اند نام نمی‌بریم و فقط خاطر نشان می‌کنیم که با هریک از ذراتی که در تأثیرات متقابلۀ قوی شرکت دارند و نسبتاً پایدارند، گروهی از رزونانسها با جرم بیشتر مطابقت دارند. رزونانسها را می‌توان حالت‌های تحریک شده ذرات پایدار دانست. مثلاً رزونانس ω^0 حالت تحریک شده مزونهای π است. رزونانسهای N^* حالت‌های تحریک شده نوکلئون‌ها و رزونانسهای Y^* حالت‌های تحریک شده هیپرونهای Σ هستند.

حداقل دو احتمال وجود دارد. یکی این که

آیا رزونانس ذره بنیادی است؟

تصور کنیم رزونانسها اصلاً نوعی جدید از ذرات بنیادی نیستند بلکه سازمانی فشرده از

ذراتی هستند که در تأثیرات متقابلۀ قوی شرکت دارند، سازمانی فشرده از ذراتی که به همانها تجزیه می‌شوند. مثلاً رزونانس نوکلئونی چیزی مانند اتم π^- - مزونی است که در آن، مزون جای الکترون را می‌گیرد و نقش نیروهای کولونی را نیروهای هسته‌ای به عهده دارند. طول عمر این اتم بقدری کم است که گمان نمی‌رود π^- - مزون در

این مدت حتی چند گردش به دور هسته انجام دهد. از این نقطه نظر رزونانس را در حقیقت می‌توان حالت تحريك شده نوكلئونی دانست که در «پوستین» مزونهای مجازی يك مزون حقیقی دارد.

احتمال دیگر عبارت از این است که رزونانسها را ذرات بنیادی که دست کمی از همقطاران دراز عمر خود ندارند، بدانیم. زیرا تمام آنها با جرم، بارالکتریکی، اسپین، بارباریونی، اسپین ایزوتوپی، غرابت و زوجیت معین مشخص می‌شوند. همانطور که بعد خواهیم دید، اکنون این نقطه نظر محتملتر به نظر می‌رسد.

بدون شك كشف رزونانسها تصویر پیچیده خانواده ذرات بنیادی را پیچیده‌تر کرده است. اما ظاهراً این پیچیدگی زودگذر است. می‌توان امیدوار بود که پس از پیچیدگی یکنواخت طولانی ناگهان، البته به كمك رزونانسها، همه چیز را روشتر از پیش ببینیم. این امیدها براساس طبقه‌بندی ذراتی که در تأثیرات متقابله قوی شرکت دارند، به وجود آمده است.

فصل دهم

درباب نظام ذراتی که در تأثیرات متقابله
قوی شرکت دارند و این که کوارک چیست



سه کوارک مسترمارک

جویش ۱

«بیداری فیتگان»

سوپر مولتیپلتهای
حال به ذراتی که در تأثیرات متقابله قوی شرکت
دارند، دقیقتر می‌نگریم. گروهی از هشت مزون،
گروهی از هشت باریون و گروهی از هشت آنتی باریون جلب
توجه می‌کنند. هریک از این گروهها طبیعتاً به مولتیپلتهای باردار
تقسیم می‌شود. تفاوت جرم ذرات در داخل هریک از مولتیپلتهای
باردار را می‌توان نتیجه بار الکتریکی دانست.

سه گروه نامبرده به شدت از یکدیگر متمایزند. اولاً اسپین متفاوت دارند. اسپین مزونها مساوی با صفر و اسپین بساریونها و آنتی باریونها مساوی با $\frac{\hbar}{4}$ است. مقدار بار باریونی در هر سه گروه متفاوت است^۱. اسپین مشترك و بار باریونی یکسان وجه مشترك ذرات گروههاست^۲. تفاوت جرم در ذرات يك گروه چندان زیاد نیست (مخصوصاً بین مولتیپلهای باردار مجاور).

در اینجا این فکر خود بخود به وجود می آید: هر گروه را باید همانند چیزی واحد، همچون سوپر مولتیپلتی در نظر گرفت. اما ذرات مولتیپلت باردار مختلف که در يك سوپر مولتیپلت شرکت می کنند، 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 مقدار غرابت را روی محور عمودی ببریم، اشکال منظم هندسی جالبی به دست می آید. به راستی عجیب نیست؟

رزونانسهای باریونی نیز در يك سوپر مولتیپلت سوپر مولتیپلهای متحد می شوند. اینها رزونانسهای N^* و Y^* رزونانسی با همانطور که امروزه نشان می دهند، رزونانسهای Δ و Σ^* هستند. وجه اشتراك آنها اسپین مشترك $\frac{3}{2}$ و

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

۲- اگر ذرات را فقط از لحاظ اسپین و بار باریونی متفاوت بدانیم، در آن صورت همه مزونها (ذرات ضد ذرات) در يك گروه و باریونها و آنتی باریونها در گروههای متفاوت قرار می گیرند.

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

جالبتر از همه این است که در این سوپر-مولتیپلت وجه تمایز مولتیپلت‌های باردار از یکدیگر در يك مقدار جرم معادل با ۱۴۶ میلیون الکترون ولت است. مقدار غرابت نیز در مولتیپلت‌های باردار متفاوت است: در رزونانسهای Δ مساوی با صفر، در رزونانسهای Σ^{*} مساوی با يك و در رزونانسهای Ξ مساوی با ۲ است.

اگر تصویر اسپین ایزوتوپی را روی محور افقی و غرابت را روی محور عمودی ببریم، ذوزنقه‌ای به دست می‌آید. ولی اگر ذره‌ای با غرابت ۳- و اسپین $\frac{3}{2}+$ و عدد باریونی $۱+$ وجود می‌داشت، ذوزنقه به مثلث تبدیل می‌شد.

رزونانسهای مزونی نیز سوپر-مولتیپلت مخصوص به خود را تشکیل می‌دهند. سوپر-مولتیپلت‌های رزونانسی دیگر نیز وجود دارند ولی ما از آنها یاد نخواهیم کرد.

همانطور که می‌بینید، نظامی جدید برای عدهٔ **کوارکها** بسیار زیاد ذرات بنیادی، چه ذرات نسبتاً پایدار و چه رزونانسها، برقرار شده است.

حال مسأله نظام ذرات بنیادی را که پس از کشف رزونانسها به‌طور اساسی تجدید ساختمان یافته است، از نقطه نظر جدید مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

عده‌ای زیاد از ذراتی که در تأثیرات متقابلۀ قوی شرکت می‌کنند، کشف شده است. آنها با اعداد کوانتمی درونی مانند بار الکتریکی، بارباریونی و غرابت مشخص می‌شوند. این اعداد در تأثیرات متقابلۀ قوی و الکتروماگنتیک محفوظ می‌مانند. آیاممکن نیست تمام ذراتی که در تأثیرات متقابلۀ قوی شرکت می‌کنند، مرکب باشند و قوانین بقای اعداد کوانتمی فقط مبین بقای عدۀ بنیادی‌ترین ذرات، یعنی اجزای تشکیل‌دهندۀ ذرات بنیادی معمولی، باشند؟

این اندیشه ثمربخش در آمد و امکان داد تا نظام جدید ذراتی را که در تأثیرات متقابلۀ قوی شرکت دارند، کاملاً عینی مجسم کنیم. اینک نخستین و مهمترین مسأله. چند ذره زیربنیادی می‌تواند وجود پیدا کند؟ چه خوب است که عدۀ آنها زیاد نباشد. تشکیل دویست ذره فقط ازدو یاسه ذره خیلی جالب است. به عقیدۀ هل-مان و تسویک^۱ رویهم فقط سه ذره کافی است.

عدۀ ذرات زیربنیادی کم است اما در عوض خواص آنها به غایت غیروعادی است. به همین جهت هل-مان به این ذرات نامی عجیب داده است. قهرمان اصلی در رمان جویس «بیداری فینگان» خود را مارک، سلطانی از افسانه‌های قرون وسطی می‌داند که برادر-زاده‌اش تریستان، زنش ایزولدو را ربوده است. مارک با کشتی به دنبال ایزولدو روان می‌شود. مرغان دریایی بالای سر آنها به پرواز در می‌آیند و کینه‌توزانه فریاد می‌زنند: «سه کوارک^۲ مسترمارک!»

و فریاد اسرار آمیز و وحشتناک آنها هر چند بلندتر می شود : «سه کوارک، سه کوارک، سه کوارک، سه کوارک، سه کوارک!». کوارکها شیاطینند. هل-مان با انتخاب این نام ظاهراً خواسته است وجود قابل تردید این ذرات زیربنیادی را خاطر نشان کند.

علامتهای p ، n ، λ را برای کوارکها پذیرفته اند. غیرعادی بودن کوارکها در این است که آنها بارهای الکتریکی و باریونی کسری دارند. مقدار بار و غرابت کوارکها در جدول آورده شده است.

بار باریونی	غرابت	بار الکتریکی	علامت کوارک
$\frac{1}{3}$	۰	$+\frac{2}{3}$	p
$\frac{1}{3}$	۰	$-\frac{1}{3}$	n
$\frac{1}{3}$	-۱	$-\frac{1}{3}$	λ

اسپین همه آنها مساوی با $\frac{\hbar}{2}$ است زیرا فقط از ذرات با اسپین $\frac{1}{2}$ می توان ذراتی با اسپین صفرویک یعنی مزونها و رزونانسهای مزونی را ساخت.

در ردیف کوارکها باید وجود آنتی کوارکها را که بار و غرابت با علامت مخالف دارند، ممکن شمرد.

پیشگویی ذره- 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 عهده حل این مسأله برمی‌آید.

اسپین این رزونانسها $\frac{3}{2}$ است. پس هر يك از آنها باید از سه کوارك با اسپینهای موازی تشکیل یافته باشد. غرابت رزونانسهای Δ مساوی با صفر است. یعنی آنها نباید دارای کوارکهای λ باشند. هر يك از رزونانسهای Σ^0 يك کوارك λ و هر يك از رزونانسهای Ξ^0 دو کوارك λ دارد.

درك این مسأله دشوار نیست که از سه کوارك با سمستگی یکسان اسپین می‌توان ۱۰ ترکیب متفاوت به دست آورد:

$$\begin{array}{cccc} p p p & p p n & p n n & n n n \\ p p \lambda & p n \lambda & n n \lambda & \\ & p \lambda \lambda & n \lambda \lambda & \\ & & \lambda \lambda \lambda & \end{array}$$

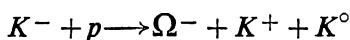
تمام این ترکیبات بارهای صحیح و غرابت‌های متفاوت دارند. در ترکیبات سه خط اول رزونانسهای Δ ، Σ^0 و Ξ^0 را می‌توان دید. اما $\lambda \lambda \lambda$ چیست؟ بیگمان ذره‌ای تازه است!

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

پیشگویی کرد. اما چگونه؟

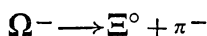
اگر جرم رزونانسهای خطوط مجاور را با یکدیگر مقایسه کنیم معلوم می شود که جرم رزونانسهای بالایی از جرم رزونانسهای پایینی بیشتر است. بعلاوه تفاوت بین جرم ذراتی که در خطوط مجاور قرار گرفته اند، همانطور که قبلاً گفته شد، تقریباً یکسان و مساوی با $16/0$ جرم نوکلئون، معادل با 146 میلیون الکترون ولت است. یعنی اگر جرم کوارکهای p و n را یکسان در نظر بگیریم، جرم کوارک λ ، 146 میلیون الکترون ولت بیشتر است.

با دانستن جرم رزونانسهای Ξ^0 می توان پیشگویی کرد که جرم ذره $\lambda\lambda\lambda$ باید مساوی با 1676 میلیون الکترون ولت باشد. چنین ذره ای در ۳۱ ژانویه سال ۱۹۶۴ در آزمایشگاه بروکهایون^۱ (ایالات متحده) در موقع تحقیق بر خوردهای مزونهای K انرژی زیاد با پروتونها پیدا شد. این درست همان ذره Ω^- ، آخرین ذره بنیادی در جدول ماست^۲. ذره Ω^- در واکنش



کشف شد. خواص آن درست با پیشگوییها مطابقت داشت. هرچند ذره Ω^- ، مطابق طبقه بندی، جزء رزونانسهاست،

خیلی بیشتر از رزونانسها عمر می کند. تجزیه بر طبق طرح



در مدت 10^{-8} ثانیه روی می دهد. بدین طریق ذره Ω^- باید از جمله ذرات دراز عمر به حساب آید و به همین جهت است که

۱- Brookhaven. ۲- ذره Ω^- آن یعنی $\bar{\Omega}^+$ نیز در سال ۱۹۷۱ کشف شد.

در جدول ذرات بنیادی جا دارد.

طول عمر زیاد ذره Ω^- به وسیلهٔ غرابت زیاد آن (۳-) آشکار می‌شود. مادام که مجموع جرمهای سکون ذرات با غرابت کلی ۳- بیش از جرم سکون ذره Ω^- است، تجزیه ذره Ω^- «از طریق کانال قوی» که غرابت را تغییر نمی‌دهد، ممنوع است.

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

حال ببینیم چگونه می‌توان باریونها و مزونها
طرح کوارکی
باریونها و مزونها
 را از کوارکها ساخت. وضع در اینجا کمی پیچیده‌تر از ساختمان رزونانسهای باریونی است. باریونها اسپین کسری دارند و بنابراین در ساختمان باریونها همانند رزونانسهای باریونی حداقل سه کوارک می‌توانند شرکت کنند.

به دست آوردن اسپین $\frac{h}{4}$ دشوار نیست. برای این کار باید فرض کنیم که دو کوارک اسپینهای موازی دارند و اسپین سوم به سوی مخالف سمتگیری شده است:

وضع برای اغلب باریونها ساده است. به طور مثال نوترون را در نظرمی گیریم. بار الکتریکی و غرابت آن مساوی با صفر است. پس نوترون باید از یک کوارک p و دو کوارک n تشکیل یافته باشد،

یعنی ساختمان pnn را داشته باشد. هیبرون Ξ شامل يك كوارك n و دو كوارك λ یعنی دارای ساختمان $n\lambda\lambda$ است.

به همین ترتیب می توان ساختمان سایر باریونها را معین کرد. اما چرا باریونهاشت تا هستند و مانند رزونانسهای باریونی ده تانیستند؟ اینجاست که دشواریهایی در توضیح واقعیت پیدامی شود. باریونها با ساختمان کوارکی را می توان به صورت طرح شش ضلعی تنظیم کرد:

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

هر ترکیب کوارکها با باریونی مشخص مطابقت دارد. در این طرح درست هشت ترکیب دیده می شود. قبل از همه توجه کنید که در این جدول ترکیبی از سه کوارك یکسان وجود ندارد. سه کوارك یکسان، همانطور که از مکانیک کوانتومی بر می آید، اسپینهای موازی دارند و بنا براین می توانند فقط رزونانسهایی با اسپین $\frac{3}{2}$ را تشکیل دهند.

دو ترکیب یکسان $pn\lambda$ هیبرونهای 8° و Σ° را مجسم می کنند. از آن جهت دو ذره متفاوت به دست می آید که سمتگیری متقابل اسپینهای سه کوارك می تواند مختلف باشد.

حال به مزونها می پردازیم. اسپین و بار باریونی آنها مساوی با صفر است. به همین جهت مزونها باید از جفت کوارك - آنتی

کوارک ساخته شده باشند. ذرات تشکیل یافته از چنین جفت‌هایی با اسپین و بارباریونی مخالف مشخص می‌شوند و همین درست اسپین و بارباریونی مساوی با صفر جفت را تأمین می‌کند.

مثلاً π^+ - مزون چیزی جز ترکیب $p\bar{n}$ نیست ، K^+ - مزون شامل کوارک p و آنتی کوارک $\bar{n}$ است . ترکیب‌های ممکن کوارک - آنتی کوارک 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 چیز ساده است. متأسفانه باید از توضیح آن چشم‌پوشیم. فقط می‌توان بطور مختصر گفت که مزونهای π^0 و η^0 (در مرکز شش ضلعی جا دارند) ترکیب‌هایی از جفت‌های یکسان کوارک - آنتی کوارک هستند.

باری ، واقعاً می‌توان ذرات معلوم را از کوارک‌ها ساخت. می‌توان، اگر... کوارک‌ها وجود دارند! به‌راستی وجود داشته باشند.

نظام جدید ذراتی که در تأثیرات متقابل قوی شرکت می‌کنند و براساس سوپر مولتیپلته‌اقرار دارد، تا حدودی حقیقت را منعکس می‌کند. پیشگویی ذره Ω^- هم تصادفی نبوده است. حتی اگر فردا ثابت شود که کوارک‌ها وجود ندارند و تعبیر کوارکی نظام جدید ذرات با حقیقت وفق نمی‌دهد، خط بطلان بر آنچه کسب شده است، نمی‌کشد.

هنوز هم در جستجوی کوارکها هستند. ابتدا به شدت ولی اکنون با حرارتی کمتر در جستجوی آنها هستند. اما بهر حال جستجو ادامه دارد. ظاهراً بهتر است بگوییم نباید در جستجوی آنها باشند بلکه باید آنها را در شتابدهنده‌ها بسازند. لکن هنوز موفق به ساختن آنها نشده‌اند. از قرار معلوم جرم سکون آنها خیلی زیاد است و قدرت شتابدهنده‌های امروزی کافی نیست.

شتابدهنده‌های خیلی قوی فعلاً در اختیار طبیعت است. بعضی ذرات اشعه کیهانی دارای چنان انرژی عظیم هستند که می‌توانند کوارکهای آزاد را تولید کنند، البته اگر کوارکها در طبیعت وجود داشته باشند. بنابراین کوارکها را باید در اتمسفر کره زمین و در آب اقیانوسها جستجو کرد. زیرا کوارک دارای بار کسری مساوی $\frac{1}{3}$ یا $\frac{2}{3}$ بار الکتریکی است و ذرات باردار معمولی نمی‌توانند آن را بطور کامل خشی کنند.

و. براگینسکی برای کشف کوارکها در دانشگاه مسکو آزمایشهایی جالب انجام داده است. این آزمایشها که از نظر ایده به آزمایشهای معروف میلینکن^۱ نزدیکند تا حال نتیجه مثبت نداده‌اند. باید گفت که با قبول مدل کوارکی ذراتی که

دشوارها

در تأثیرات متقابله قوی شرکت دارند، همیشه اوضاع بروفق مراد نیست. مدلی که درباره آن صحبت کردیم مدل ذرات در حالت سکون بود. در این مدل ذرات از کوارکها ساخته شده‌اند، درست مانند این که کودک برجی از مکعبها بسازد. اما

کوارکها حتماً حرکت می کنند و حرکت آنها نیز نمی تواند تأثیری در خواص ذرات حاصل نداشته باشد و ما هم این حرکت را در نظر نگرفته ایم.

آری نمی توانیم هم چنانکه باید و شاید در نظر بگیریم. زیرا درباره نیروهای مربوط به کوارکها عملاً هیچ چیز نمی دانیم. تنها می توان گفت که این نیروها عظیمند و گرنه شکافتن ذره به کوارکها دشوار نبود. گمان می رود که جرم کوارک $7-10$ بار بیش از جرم نوکلئون باشد. به همین جهت در تشکیل پروتون از سه کوارک باید انرژی عظیم تقریباً معادل با ۳۰ برابر جرم سکون نوکلئون خارج شود. دانشمندان فعلاً با چنین تابش متمرکز انرژی روبرو نشده اند. از کوارک در نوکلئون فقط سایه ای رنگ پریده به جا می ماند. تمام بارهای آن محفوظ می ماند، اما تقریباً تمام جرم نابود می شود. به حد کافی غیر عادی است، با وجود این محال نیست.

نتیجه

پس ذره بنیادی چیست؟ فصل اول کتاب نیز به همین مطلب اختصاص داده شده است. شاید مفید باشد هم اکنون بار دیگر آن را بخوانید. مسلماً به فهم مطالب، بیشتر کمک خواهد کرد و بیشتر آگاهی خواهید یافت.

بسیاری چیزها درباره ذرات بنیادی هم اکنون بر ما روشن است. درباره خواص ذرات بنیادی و قوانین رفتار آنها خیلی چیزها می دانیم. اما احساس کلی پس از خواندن کتاب احتمالاً همان است که پس از خواندن فصل اول دست می دهد. روشن نیست که ذره بنیادی چیست. فرضیه هایی گوناگون وجود دارد که همیشه باهم بخوبی توافق ندارند. باوجود این بعضی چیزها تاحدی درست می نماید. از آن جمله ممکن است تمام ذرات از ذرات بنیادی تر تشکیل یافته باشند. آری، بعضیها امکان دارد!

مسئله ای حل نشده باقی می ماند: آیا تمام ذرات کشف شده به يك اندازه بنیادینند؟ آیا دموکراسی کامل درجهان ذرات بنیادی حکمفرماست یا ذره های آریستوکرات از نوع کوارکها، مدعیان منحصر به فرد مقام بنیادی وجود دارند؟

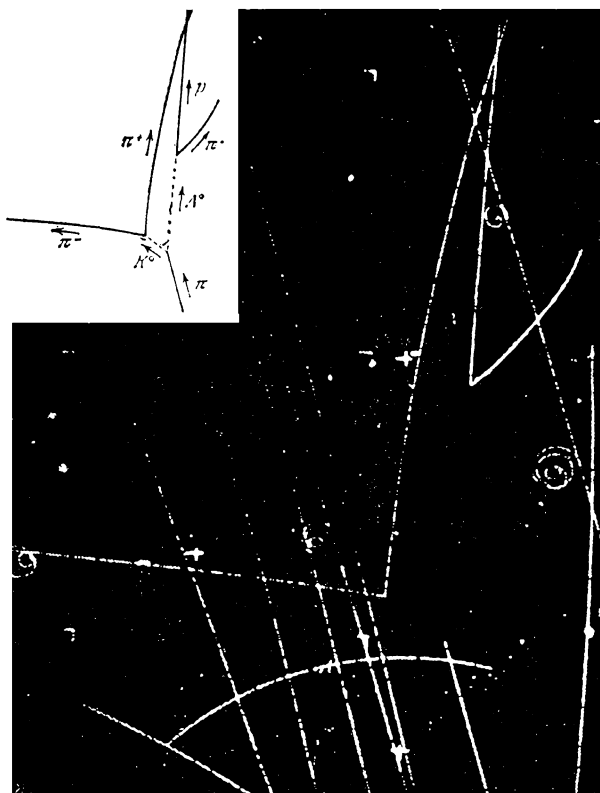
يك چیز روشن است: کوچکترین امید به شناسایی تمام و

کمال یکی از آنها وجود ندارد و روابط بین ذرات بنیادی چنان استوار است که هر ذره را می‌توان یکی از اجزای ذرات دیگر دانست.

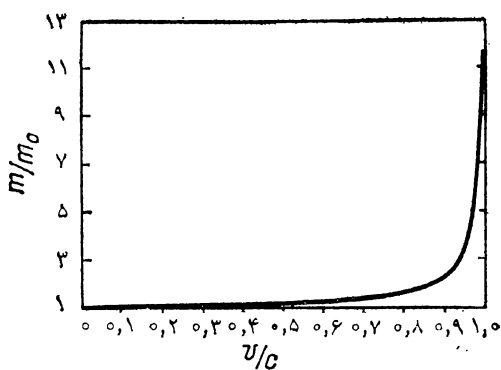
پروتون را به عنوان نمونه در نظر می‌گیریم. این ذره به وسیلهٔ ابرمزونهای مجازی π و K احاطه شده است. مزونهای K که سنگین‌ترند، به مرکز هسته نزدیک‌ترند و مزونهای π در نقاط دور افتاده‌تر قرار دارند. پس مزونهای π و K از اجزای ساختمانی پروتون هستند. اما نه تنها این ذرات بلکه تمام ذرات دیگر نیز در ساختمان پروتون دخالت دارند! فوتونهای مجازی هم پروتون را احاطه کرده‌اند. این فوتونها می‌توانند جفت الکترون - پوزیترون را به وجود آورند و مزونها هم می‌توانند جفت نوکلئون-آنتی نوکلئون، هیپرونهای عجیب و رزونانسها را تولید کنند. پس تمام ذرات تا حدی در «پوستین» پروتونی دخالت دارند و در خواص پروتون تأثیر می‌کنند.

حلقه‌ای بسته به دست می‌آید: خواص يك ذره به وسیلهٔ تمام ذرات دیگر معین می‌شود. آیا جایی از این حلقه باز می‌شود؟ آیا ذراتی وجود دارند که تمام ذرات دیگر از آنها ساخته شده باشند؟ یا چنین ذراتی اصلاً وجود ندارند؟ فعلاً کسی نمی‌داند.

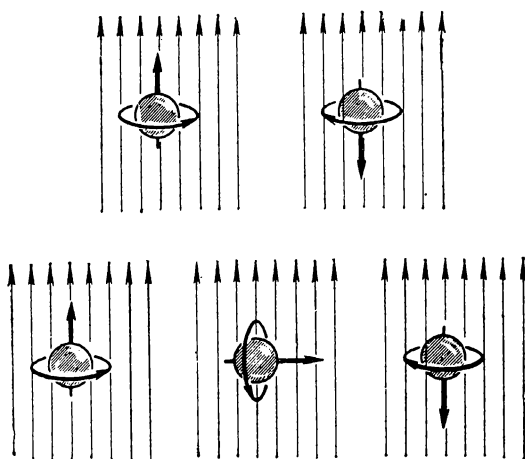
وضع در جهان ذرات بنیادی آنچنان حاد است که انتظار حل آن، هر چند بطور جزئی، طولانی نخواهد بود.



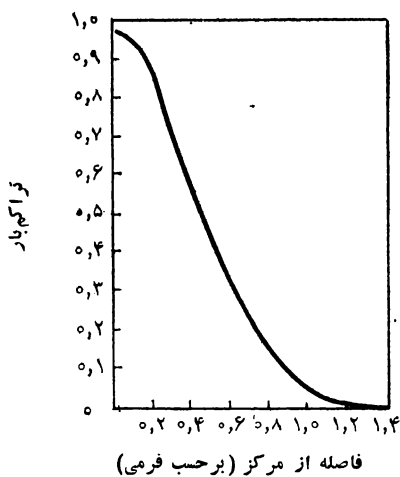
شکل ۱. تجزیه دو ذره بنیادی در فرایند تأثیر متقابل ضعیف. تجزیه در اتاق حبابی ثبت شده است. پی- مزون منفی (π^-) انرژی زیاد که در بواترون سه دست آمده است، وارد اتاق می‌شود و با پروتون هیدروژن مایع برخورد می‌کند. در این برخورد K^- - مزون خنثی (K^0) و ذره لاندای (Λ^0) تولید می‌شود. این ذرات بار ندارند و اثری از خود به جا نمی‌گذارند. K^- - مزون خنثی به π^- - مزون منفی و π^- - مزون مثبت، ذره لاندای به پروتون (P) و π^- - مزون منفی تجزیه می‌شود.



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

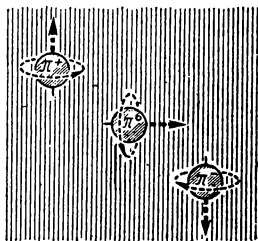
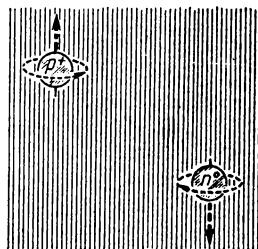


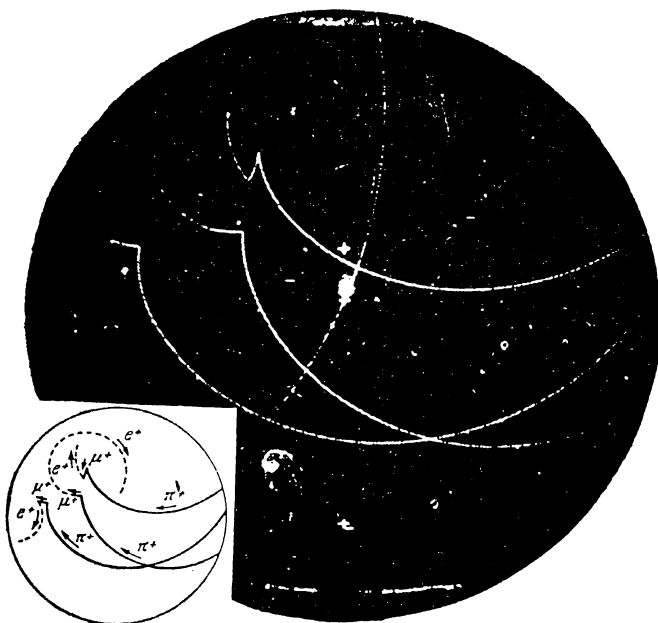
شکل ۳. ذره‌ای که می‌چرخد فقط اوضاعی معین را نسبت به میدان مغناطیسی خارجی می‌پذیرد. ذرات با اسپین $\frac{1}{2}$ (در بالا) طوری قرار می‌گیرند که اسپین در جهت میدان یا عکس میدان سمتگیری شده باشد. ذرات با اسپین ۱ (در پایین) سه وضع ممکن دارند: سمتگیری اسپین در جهت میدان، عمود بر میدان و عکس میدان.



شکل ۴. تغییر تراکم بار پروتون بر حسب دوری از مرکز ($10^{-13} \text{ cm} = 1 \text{ فرمی}$)

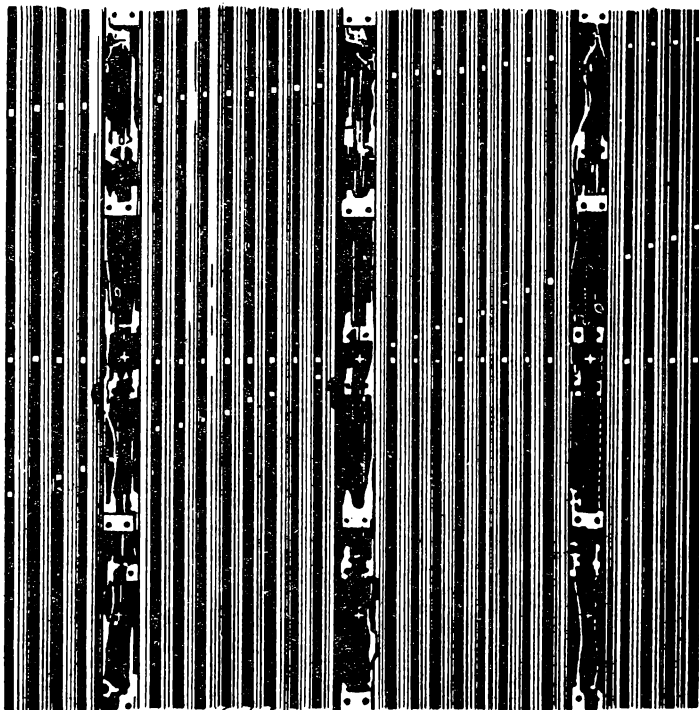
شکل ۵. اوضاع مختلف ذره
 آنها در نتیجه تأثیر متقابل
 پیدا می‌شود. در فقدان تأثیر
 متقابل الکترومغناطیس تمام
 نوکلئونها مانند همهٔ پيونها
 غیر قابل تمیزند. اما اگر
 این تأثیرات متقابل در نظر
 گرفته شوند، اسپین ایزونوبی
 نوکلئونها را به پروتون و
 نوترون، پيونها را به سه
 نوع متفاوت (از نظر بار)
 تقسیم می‌کند.



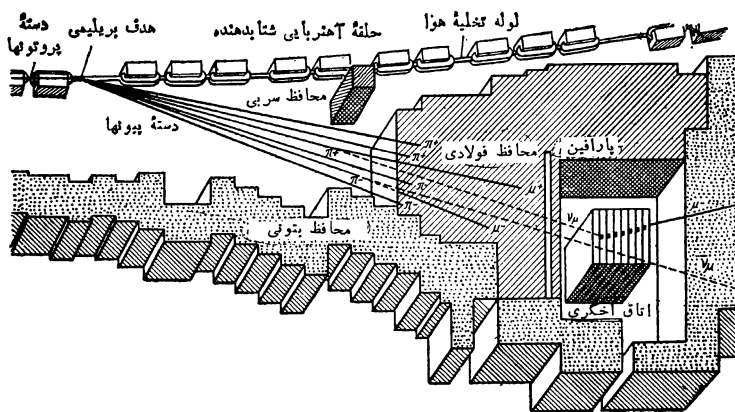


شکل ۶. تجزیه π^- مزون و μ^- مزون در اتاق حبابی.

هر يك از سه π مزون مثبت به میوئون مثبت و نوترینو تجزیه می شود. نوترینو اثری به جا نمی گذارد. اما میوئونها به صورت مسیرهای کوتاه ثبت می شوند. سپس هر يك از میوئونها به پوزیترون، نوترینو و آنتی نوترینو تجزیه می شود. گنها پوزیترون اثری به جا می گذارد.

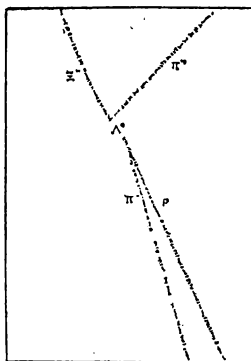
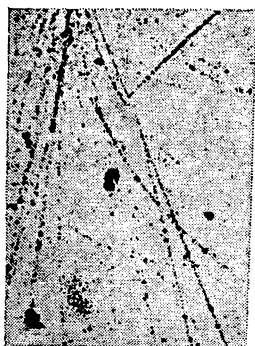


شکل ۷. رد ذرائعی که به وسیله یوترینو در اتاق اختگری تولید شده است .



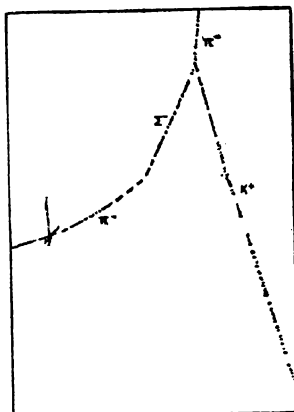
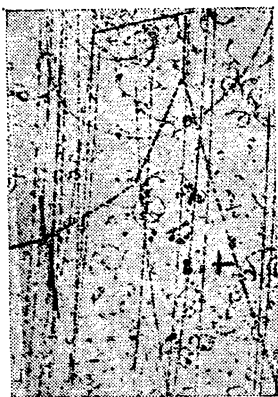
شکل ۸. طرح آزمایش کشف دو نوع نوترینو .

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



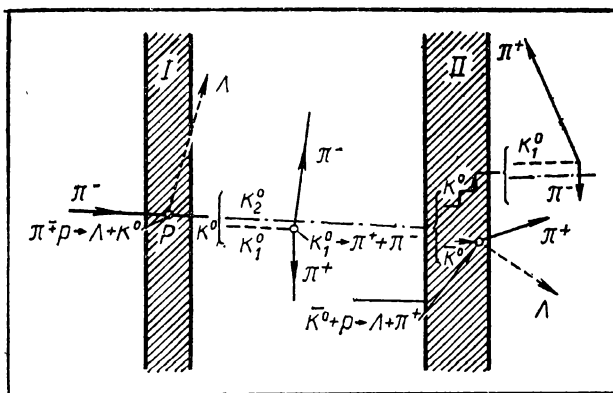
شکل ۹. نمونه تجزیه ذرات عجیب .

ذره منفی π^- به ذره خنثی π^0 و پیون منفی تجزیه می شود . سپس ذره π^0 به پروتون و پیون منفی دیگر تجزیه می شود .

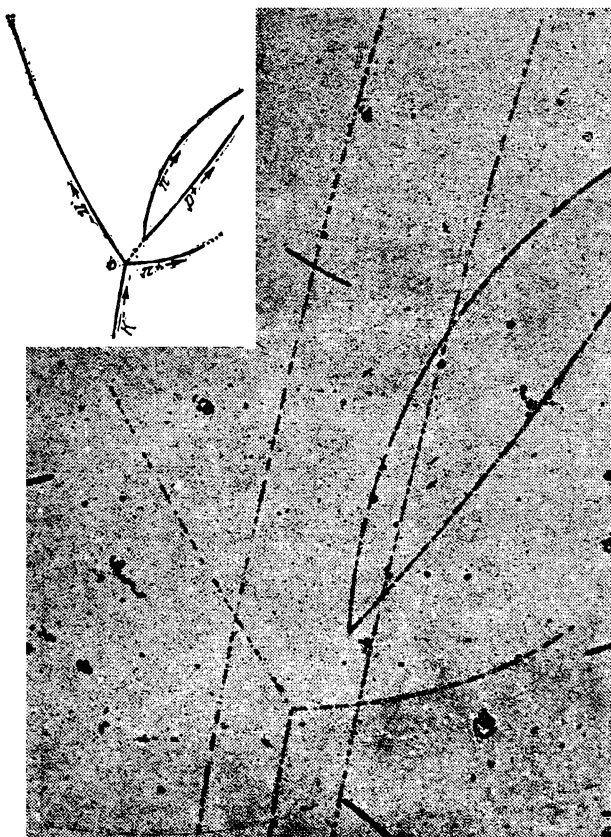


شکل ۱۰. پیدایش همزمان ذرات عجیب .

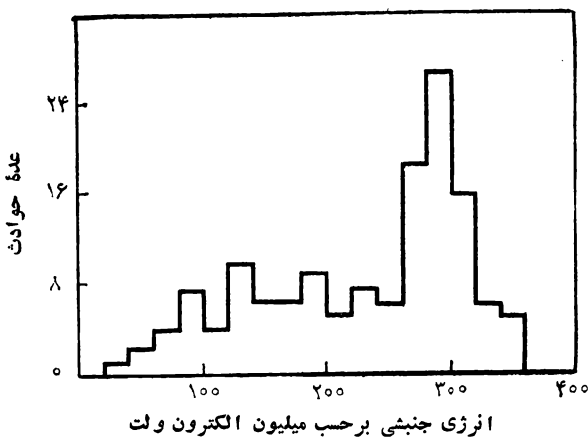
وقتی که پیون در اتاق حبابی با پروتون برخورد کرد، ذرات Σ^- و K^+ همزمان تشکیل شدند. سپس ذره Σ^- به پیون و نوترون نامرئی تجزیه شد.



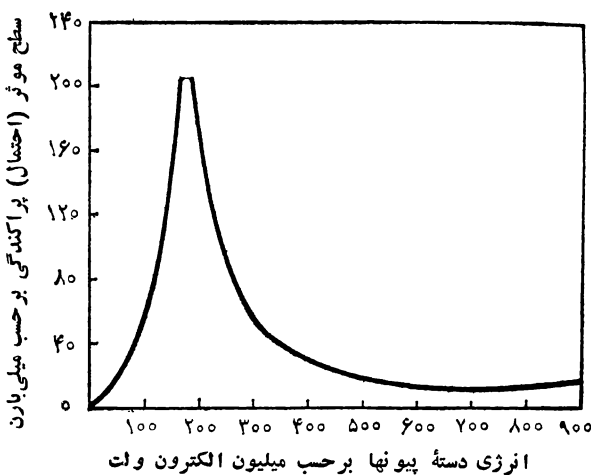
شکل ۱۱. طرح پیدایش و تجزیه مزونهای خنثی K .



شکل ۱۲. در برخورد K^- مزون منفی با پروتون در اتاق حبابی (در نقطه o) رزونانس Y^* و پیون منفی (π^-) تشکیل می‌شود. ذره Y^* قبل از اینکه بتواند مسیری به جا گذارد، به ذره Λ^0 که مسیری به جا نمی‌گذارد (خط نقطه چین) و پیون مثبت (π^+) تجزیه می‌شود. ذره Λ^0 به نوبه خود به پروتون و پیون منفی (π^-) تجزیه می‌شود.



شکل ۱۳. کشف ذره - رزونانس از روی نمودار رابطهٔ عدد ذرات π - مزون با انرژی.



شکل ۱۴. رزونانس پيون - پروتوني . سطح مؤثر يا احتمال پراکندگی پيون مثبت روی پروتونها که بر حسب میلی بارن^۱ اندازه گیری شده است ، بشدت افزایش می یابد و از حدود ۱۰۰ Mev به حداکثر ۱۹۵ Mev می رسد و سپس تقریبا به همان شکل بشدت کاهش می یابد .

۱- بارن (barn) واحد سطح مؤثر فرایندهای هسته ای است. يك بارن مساوی با 10^{-24} cm^2 است .

امیر کبیر منتشر کرده است :

دردلمرو ریاضیات
الکساندر پتروویچ دوموریاد
ترجمه پرویز شهریار

مؤلف کوشیده است تا مسائل ساده مربوط به بازیها، سرگرمیها و نقشه‌ها را از دیدگاه ریاضی بررسی کند و خواننده را وادارد تا به پیرامون خود از نظر گاهی علمی بنگرد و این توانایی را به دست آورد که از هر مطلب ساده‌ای، مسأله‌ای ریاضی بسازد.

ددپی فیثاغودث
شه‌پان - النسکی
ترجمه پرویز شهریار

این کتاب به افتخار ریاضیدان بزرگ و آفریننده مکتب ریاضی، ددپی فیثاغودث نام گرفته است. کتاب سرشار از چیسانه‌های هیجان‌انگیز ریاضی و کشف دلپذیر آنها است، که در دو فصل بزرگ شکل می‌گیرد. ددپی فیثاغودث نگرش تاریخی به روند دلپذیر تاریخ ریاضی است، از اینرو سوای دانشجویان رشته ریاضی، بسیاری نیز از مطالعه آن لذت می‌برند. ددپی فیثاغودث کتابی است که هنوز همتایی در زمینه کتابی از این دست نیافته است.

تقارن در هندسه و جبر ترجمه پرویز شهریاری

درونیامیه گفتارهای کتاب حاضر را می باید به عنوان مدخلی برای ورود به تقارن برداشت کرد. سه مقاله ای که در این کتاب آمده از نشریه مشهور ریاضیات ددبیرستان چاپ اتحاد شوروی سالهای ۴-۱۹۶۳ برگردانده شده است. مترجم در گوشه ای از پیشگفتار می نویسد: «درباره تقارن، مطالب بسیار می توان گفت و ابتدا نظرم بر این بود که با توجه به یادداشتهای متعددی که در این زمینه فراهم آورده بودم، مشروحتر بحث شود ولی موقع تنظیم دریغم آمد که قالب این مقالات را برهم بزنم، زیرا این مقالات به همین صورت خود می تواند مورد استفاده خاص دانش آموزان و دانشجویان واقع شود.»

سرگرمیهای فیزیک (دوجلد)
ای. پرلمان
ترجمه مهندس احمد تمدن

پرلمان، در این کتاب بر آن است تا به بازآفرینی آنچه که از فیزیک فرا گرفته ایم، یاری دهد. نه آنکه به دانسته های ما درباره فیزیک مسأله تازه ای بیفزاید، به زبانی روشنتر، نویسنده سعی دارد، گردزدایی و غبارروبی ای بکند از فرا گرفته های ما در قلمرو مبانی علم فیزیک و هم آموزشی دگر باره به خاطر احیاء آنها، و اینکه چگونه به شکلهای گونه گون، آنرا به کار ببریم. پرلمان با کشش و شیرینی افسانه های علمی نویسنده گان خیالپردازی همچون ژول ورن، جی. اچ. ولز و مارک تواین، به چیستانها، مطالب شگفت انگیز، داستانها، تجربیات سرگرم کننده، حقایق باور نکردنی و مقایسه های خلاف انتظاری که همگی وابسته به «فیزیک» و متکی به رخ نمودهای روزانه و افسانه های علمی است دست یازیده و اعتقاد دارد که افسانه های علمی برای کتابهایی از این گونه بسیار شایسته اند.

سرگرمیهای فیزیک نخستین بار در اوایل این قرن نوشته شد و از آن پس هر بار که کتاب چاپ تازه ای یافت، پرلمان پی جویانه و با الهام از پیشرفتهای فیزیک مدرن، دستکاریهایی در آن کرده است.

تفریحات ریاضی

مارتین گاردنر

ترجمه مهندس هرمزشهر باری

تبدیل اشکال هندسی و مسئله ابوالوفا تردستی بانخ و آزاد کردن قیچی بدون بریدن نخ/ منحنی های متساوی العرض و مته ای که سوراخ چهار گوش می سازد / شعبده بازی و حیل های ریاضی ورق/ چند مسئله توپولوژی و بطری بی پشت و رو گلین و آشنایی با پارادکس و تخم مرغی که نباید باشد ولی هست، مباحث جالب این کتاب است.

جادوی اعداد

سیدنی ه. لمب

ترجمه جلال تقی زاده - هوشنگ جوزوی

این کتاب را در سری (کتابهای سیمرخ) منتشر کرده ایم. جادوی اعداد مجموعه جالبی است از رازها، بازیها و نیرنگهای ریاضی و بخوبی قابلیت اعداد و مفاهیم نمادی و سمبلیک آنها را در تعیین مشخصات دقیق بیان می کند. کتاب، می تواند بویژه برای دوستان ریاضی و تمرین ذهنی و برای ورزشی در تحلیل های ریاضی کمک بسزایی باشد.

دوره اختصاصی جبر مقدماتی

سرگی ایوسفویچ نووسلو

ترجمه پرویز شهریار

کتاب حاضر در اصل، برای کلاسهای «تربیت معلم» نوشته شده است و به همین مناسبت کوشش شده است تا مطالب، دقیق و بدون ابهام باشد و از هرگونه بی دقتی معمول کتابهای درسی پرهیز شود. از این روی، افزون بر آنکه دانش آموزان و دانشجویان دوستان ریاضیات از این کتاب بهره فراوان می برند، بیش از همه می تواند «کتاب دستی» هر معلم ریاضی باشد و در کار پر زحمت تدریس ریاضی دبیرستان راهنمای همیشگی او.

سرگرمیهای جبر
یا. ای. پرلمان
ترجمه پرویز شهریاری

مؤلف در مقدمه کتاب می نویسد: «نباید این کتاب را به عنوان کتاب درسی ساده-شده ای از جبر نگاه کرد. کتاب سرگرمیهای جبر هم مثل سایر نوشته های من نه بخاطر مطالعه درسی، بلکه برای مطالعه آزاد تهیه شده است. برای این کتاب خواننده ای در نظر گرفته شده است که - ولو بطور مبهم و یا نیمه فراموش- شده هم باشد - با بعضی از مفاهیم جبر آشنایی داشته باشد. سرگرمیهای جبر تلاش می کند تا این تزلزل های فکری را استواری بخشد و اطلاعات پراکنده و ناهمواری را که در ذهن وجود دارد جان دهد و منظم کند. و از آن مهمتر رغبت مطالعه مطالب جبر را در خواننده برانگیزد و او را به سوی تکمیل آنچه در کتابهای درسی وجود ندارد رهنمون شود. برخلاف کتابهایی از این گونه، که فرض را بر عدم اطلاع خواننده از مقدمات ریاضی می گیرد؛ کتاب سرگرمیهای جبر بخصوص متوجه این است که اطلاعات ریاضی دبیرستانی را استحکام بخشد و قدرت کارخواننده را در آن زمینه توسعه دهد.»

فهرست سالانه انتشارات خود را به تازگی منتشر کرده ایم.
علاقه مندان می توانند به نشانی «خیابان سعدی شمالی - بن بست فرهاد - شماره ۲۳۵ - دایره روابط عمومی مؤسسه انتشارات امیرکبیر» برای ما نامه بنویسند تا فهرست را - به رایگان - برای ایشان بفرستیم.

این کتاب به سرمایه مؤسسه انتشارات امیرکبیر به چاپ رسیده است

