

کشف کوارک t

فرهاد اردلان

مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات

(میزون مو)، b ، و نوترینوی میون، ν_μ می نامند. بدینسان، نسل دوم «ساده» هم عبارت است از ذرات e ، μ ، ν_e و ν_μ .

به همین منوال است ماجرای نسل سوم کوارکها، یعنی کوارکهای (b, t) ، که عبارتند از ذره t و ν_t . پس نسل سوم «ماده» هم از b ، t ، ν_b و ν_t تشکیل می شود.

در مدل متعارف (استاندارد) فیزیک ذرات، اعضای هر نسل بزرگ دیگر نیروهای سه گانه: الکترومغناطیس، هسته ای ضعیف، و هسته ای قوی، وارد می آورند. (توجه کنید که در این مدل صحبتی از گرانش نیست؛ گرانشی به اعتبار آن که در مقیاس اتمی فوق العاده ضعیف است، از این مدل کنار گذاشته شده است). این نیروها از طریق مبادله «ذراتی» که گاه «کوانتوم» میدان نیز خوانده می شوند، میان ذرات «ماده» یاد شده در بالا اعمال می شوند: ذره فوتون، γ ، برای الکترومغناطیس؛ ذرات Z^0 و W^\pm ، برای هسته ای ضعیف؛ و ذرات چسب (گلوئون)، G_α ($\alpha = 1, 2, \dots, 8$)، برای نیروهای هسته ای قوی. در نتیجه می توان گفت که ذرات مبادله نیرو عبارتند از $Z^0, W^\pm, \gamma, G_1, \dots, G_8$.

اسپین ذرات «مادی» $\frac{1}{2}$ و اسپین ذرات مبادله نیرو ۱ است. ذره اسرارآمیز دیگری با اسپین صفر، به نام ذره هیگز، H ، نیز به مدل متعارف راه یافته است. روزهای اول اردیبهشت جاری که آزمایشگاه فرمی لب مشاهده کوارک t را اعلام کرد، از میان این «باغ وحش» ذرات، فقط کوارک t و ذره هیگز، H ، مستقیماً مشاهده نشده بودند. اگر این ادعا درست باشد، می ماند H که باید «کشف» شود.

بد نیست به مبانی مدل متعارف فیزیک هم اشاره ای بکنیم. مکانیک کوانتومی، نظریه میدانها به عنوان واسطه های اعمال نیرو، تلقی این دو به صورت نظریه میدانهای کوانتومی، اصل تقارن پیمانه ای در ایجاد نیروهای اصلی، نابرابری مرموز میان چپ و راست در برهمکنشهای ضعیف، و سرانجام مکانیزم شکستن تقارن پیمانه ای برای کوتاه برد کردن نیروهای ضعیف، شالوده این نظریه متعارف را تشکیل می دهند. علاوه بر اینها، تعداد زیادی ملاحظات تجربی را باید در ساختار این نظریه گنجانید که هنوز نمی توان آنها را به صورت اصل بیان کرد. مثلاً مقدار عددی جرم ذرات اصلی، قدرت برهمکنشها و یا حادث نشدن برخی واکنشها در طبیعت از آن جمله اند. پس از کشف پنجمین کوارک، کوارک b ، برخی ملاحظات یاد شده بالا حضور کوارک ششم t را اجتناب ناپذیر می کرد.

در دوسه سال اخیر، در آزمایشهای دقیق لپ (LEP)، که طی آنها آهنگ واپاشی ذره Z^0 و بعضی دیگر از پارامترهای نظریه مدل متعارف اندازه گیری شده است، معلوم شد که جرم ذره هیگز، H ، و کوارک t در محدوده خاصی است. در شکل زیر نمونه ای از این نتایج را مشاهده می کنید.

اخیراً در رسانه ها، در خصوص کشف ذره ای جدید، که گاه از آن به عنوان «آخرین ذره» هم تعبیر شده، مطالب زیادی آمده است. در مورد کاربرد عبارت «آخرین ذره» و مفهوم «کشف» باید تأمل کرد؛ ولی به هر حال در تاریخ فیزیک رویداد مهمی رخ داده که باید پیرامون آن چند کلمه ای توضیح داد.

قضیه از این قرار است که در روزهای اول اردیبهشت سال جاری، سخنگوی آزمایشگاه بزرگ فرمی لب در نزدیکی شیکاگو اعلام کرد: «در آشکار ساز بزرگ آن آزمایشگاه، به نام آشکار ساز CDF، شواهدی قوی مبنی بر مشاهده ذره کوارک t یافته شده است»، و افزود که هنوز نمی توان با قطعیت این مشاهده را تأیید کرد و باید امیدوار بود که ظرف چند ماه آینده، هم در آن آشکار ساز و هم در آشکار ساز دیگر آن آزمایشگاه (آشکار ساز D0 که هنوز این ذره را مشاهده نکرده است)، داده های بیشتری برای تأیید این ادعا به دست آید.

از سوی دیگر، شواهد حاکی از وجود کوارک t (این ذره فرار) و اطلاعات مربوط به خواص آن، در دو سال اخیر به تدریج در شتابگر لپ (LEP) آزمایشگاه سرن ژنو گردآوری شده بود. از این رو کارها طوری پیش می رفت که مشاهده مستقیم ذره یاد شده از هر گونه هبجان اطلاعاتی علمی خالی شود؛ علت این که گفتیم باید در کاربرد مفهوم واژه «کشف» تأمل کرد نیز همین است.

بد نیست جایگاه این ذره و اهمیت مشاهده آن را برای علاقه مندان خارج از حوزه تخصصی فیزیک ذرات تا حدودی روشن کنیم.

کوارک t (t)، از حرف اول کلمه top به معنای سر، در واقع ششمین و آخرین کوارک نظریه متداول و مقبول فیزیک ذرات به شمار می آید. در مورد وجود شش کوارک این نظریه، شواهد فراوانی در دست است و آزمایش هم بارها آن را تأیید کرده است. این شش کوارک در سه «نسل» رده بندی می شوند: نسل اول، کوارکهای (d, u) ؛ نسل دوم، کوارکهای (s, c) ؛ و نسل سوم، کوارکهای (b, t) .

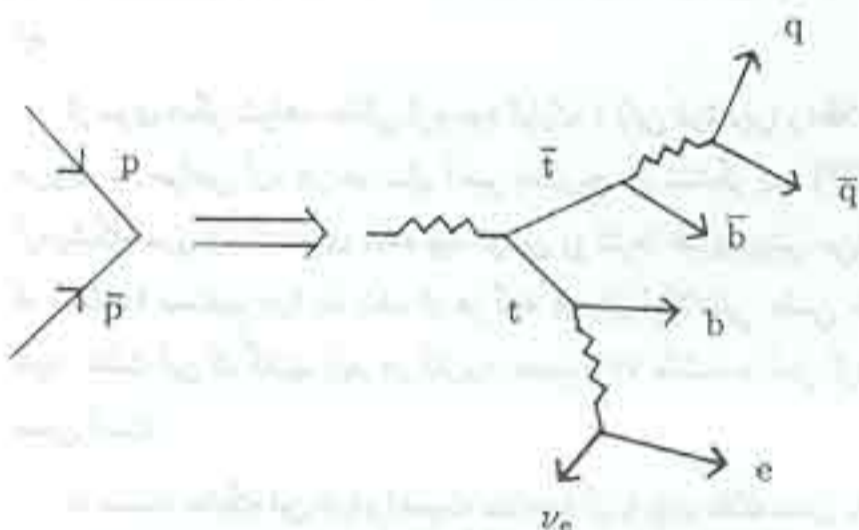
کوارکهای نسل اول، یعنی کوارکهای (d, u) ، اجزای سازنده پروتون و نوترون اند که به نوبه خود هسته را می سازند. این دو ذره، ماده اصلی جهان ما را تشکیل می دهند. علاوه بر کوارکهای (d, u) ، ذره دیگری هم هست که در طبیعت فراوان یافت می شود: الکترون e و نوترینوی آن، یعنی ν_e . کوارکهای (d, u) ، الکترون e ، و نوترینوی ν_e ، «ماده» نسل اول را تشکیل می دهند. پس، نسل اول «ماده»، متشکل است از d, u, e و ν_e .

نسل دوم کوارکها، یعنی کوارکهای (s, c) ، نیز خویشتاوندانی مشابه الکترون و نوترینوی الکترون دارند، که آنها را میون

$t\bar{t}$ حاصل، عبارت است از:

وایشی	نسبت مستقیم
$t\bar{t} \rightarrow q\bar{q}bq\bar{q}\bar{b}$	$\frac{28}{81}$
$q\bar{q}be\nu\bar{b}$	$\frac{12}{81}$
$q\bar{q}b\mu\nu\bar{b}$	$\frac{12}{81}$
$q\bar{q}b\tau\nu\bar{b}$	$\frac{12}{81}$
$e\nu b\mu\nu\bar{b}$	$\frac{7}{81}$
\vdots	
$e\nu be\nu\bar{b}$	$\frac{1}{81}$
$\mu\nu b\mu\nu\bar{b}$	
$\tau\nu b\tau\nu\bar{b}$	

در این جدول، مقصود از q هر یک از کوارک‌های غیر از b و t است. نمودار فاینمن یکی از این واکنشها، مثلاً $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t} \rightarrow q\bar{q}be\nu\bar{b}$ ، به این ترتیب است:



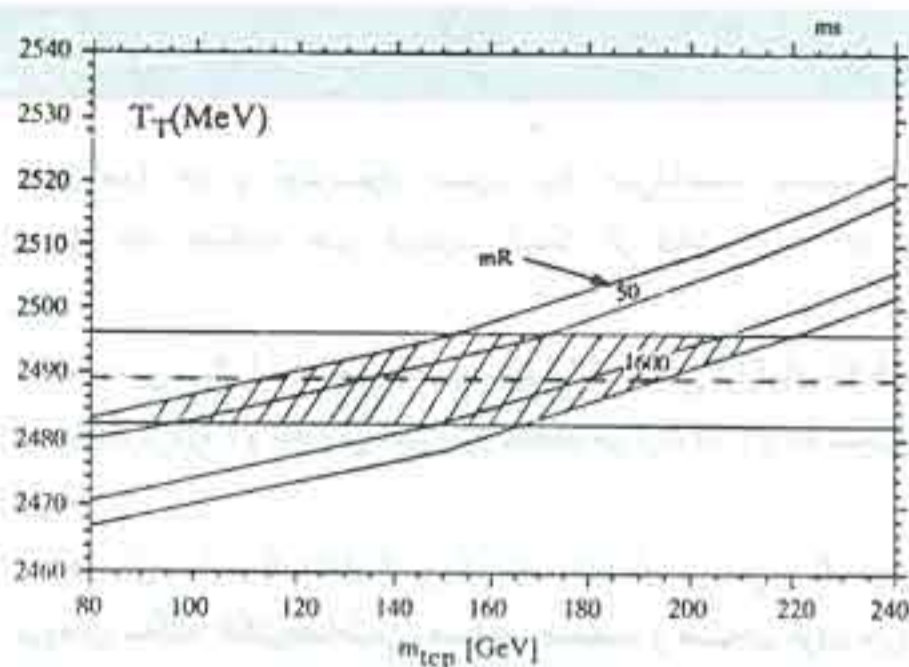
حال بینم آشکارساز CDF در شتابگر تواترون آزمایشگاه فرمی لب چه چیزی را دیده است. مشاهدات حاصل از چندین ماه داده‌گیری عبارتند از:

۱. دو رویداد که حاصل هر کدام یک الکترون، e ، و یک میون، μ ، و تعدادی کوارک در زمینه‌ای از نصف رویداد است!
۲. شش رویداد، که حاصل هر کدام یک الکترون، e ، یا میون، μ ، به علاوه تعدادی بیش از سه کوارک در زمینه‌ای از ۲٫۳ رویداد است!
۳. هفت رویداد که حاصل هر کدام یک الکترون، e ، یا میون، μ ، علاوه بر تعدادی بیش از سه کوارک است که در آن یک لیتون کم انرژی حاصل از وایشی کوارک b ، نیز در زمینه‌ای از ۳٫۱ رویداد، مشاهده می‌شود.

مقطع مؤثر حاصل از این رویدادها عبارت است از:

$$13.9^{(+6.1)}_{(-4.8)} \text{ pb}$$

که با مقطع مؤثر محاسبه شده در نظریه می‌خواند و جرم حاصل به این قرار



در شکل بالا، Γ_Z «پهنای» ذره Z ، یعنی وارون آهنگ وایشی آن، است. به دلایل تجربی، جرم H از 50 GeV بیشتر، و به دلایل نظری از 1000 GeV کمتر است. دقت پهنای Z به قرار زیر است، که آن را در شکل با نقطه چین مشاهده می‌کنید.

$$\Gamma_Z = 2490 \pm 10 \text{ GeV}$$

بنابراین، جرم کوارک t را ناحیه هاشور خورده شکل محدود می‌کند. در واقع می‌توان نشان داد که:

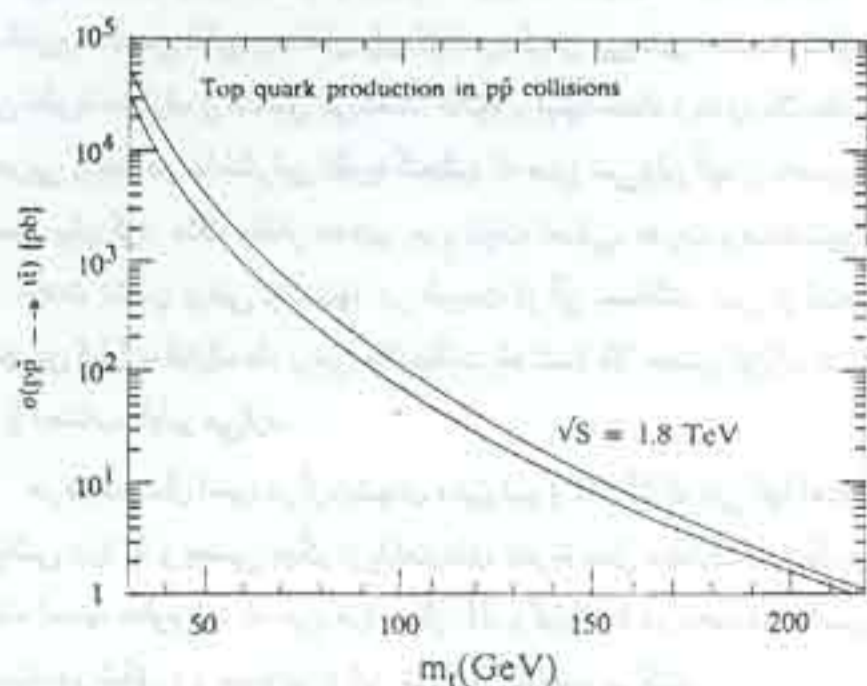
$$\text{اگر } m_H = 50 \text{ GeV, آنگاه } m_t = 141 \pm 20 \text{ GeV}$$

$$\text{اگر } m_H = 300 \text{ GeV, آنگاه } m_t = 162 \pm 18 \text{ GeV}$$

$$\text{اگر } m_H = 1000 \text{ GeV, آنگاه } m_t = 180 \pm 18 \text{ GeV}$$

بدینسان با بهبود یافتن دقت آزمایشهای (LEP)، جریان امور چنان پیش می‌رود که جرم کوارک t با دقت هر چه بیشتری تعیین شود.

در آزمایشگاه فرمی لب، در شتابگر تواترون، که با برخورد پروتون و پاد پروتون ($p\bar{p}$) کار می‌کند، انرژی مرکز جرم برخورد، 1800 GeV است. بنا بر نظریه متعارف، مقطع مؤثر، برای جفت کوارک t و پاد ذره آن، $t\bar{t}$ ، به قرار زیر پیش‌بینی می‌شود:



نسبت تقسیم (branching ratio) برای کانالهای مختلف وایشی جفت

است. باید انتظار داشت اطلاعاتی که در مورد کوارک t کسب می‌کنیم، این امکان را فراهم آورد که در آینده‌ای نزدیک، ذره مرموز هیگز را نیز مهار کنیم. این کار با استفاده از روش‌های جدیدی که در حال حاضر در دسترس است، امکان‌پذیر است. در ادامه، به بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های اخیر می‌پردازیم. در این بخش، به بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های اخیر می‌پردازیم. در این بخش، به بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های اخیر می‌پردازیم.

است. این نتیجه با نتایج حاصل از سایر آزمایش‌ها سازگار است. این نتیجه با نتایج حاصل از سایر آزمایش‌ها سازگار است. این نتیجه با نتایج حاصل از سایر آزمایش‌ها سازگار است. این نتیجه با نتایج حاصل از سایر آزمایش‌ها سازگار است. این نتیجه با نتایج حاصل از سایر آزمایش‌ها سازگار است.

$$m_t = 174 \pm 10 \text{ GeV}, \pm 13 \text{ GeV}$$

(خطای اول، آماری و خطای دوم سیستماتیک است) که با نتایج لب سازگار است. این نتیجه با نتایج حاصل از سایر آزمایش‌ها سازگار است. این نتیجه با نتایج حاصل از سایر آزمایش‌ها سازگار است. این نتیجه با نتایج حاصل از سایر آزمایش‌ها سازگار است. این نتیجه با نتایج حاصل از سایر آزمایش‌ها سازگار است.

سخنرانیهای آکادمیسین آناسوف

به سوی یک نقطه تکین، مثلاً a ، میل می‌کند، رشد جواب به صورت توانی از $\frac{1}{x-a}$ خواهد بود. علاوه بر دستگاههای فوخی، دستگاههای معادلات دیفرانسیل عادی خطی دیگری هم وجود دارند که روی تمامی کره ریمان هلوترنفند، مگر در تعدادی متناهی نقاط تکین که خاصیت توصیف شده اخیر را دارند. چنین دستگاههایی جملگی (هم فوخی و هم غیر فوخی) منظم خوانده می‌شوند.

جوابهای دستگاهی که نقطه تکینی منزوی دارد، معمولاً از این نقطه منشعب می‌شوند. اگر تمام تکینگی‌ها منزوی باشند، این انشعاب دستگاه مرتبه p را، با نمایشی از گروه بنیادی کره‌ای که نقاط تکینگی از آن حذف شده‌اند، در گروه $GL(p, \mathbb{C})$ ، متشکل از تمام ماتریسهای از مرتبه p مختلط وارونپذیر، توصیف می‌کنند. غالباً این نمایش را نمایش مونودرومی می‌نامند.

مسئله بیست و یکم هیلبرت به این قرار است:

فرض کنید چندین نقطه [از کره] و نمایشی از [گروه بنیادی] کره‌ای که این نقاط از آن حذف شده‌اند، در $GL(p, \mathbb{C})$ داده شده است. آیا دستگاهی «فوخی» وجود دارد که تکینگیهای درست همان نقاط داده شده، و نمایش مونودرومی آن (که انشعاب جوابها را توصیف می‌کند) درست همان نمایش داده شده، باشد؟

خود هیلبرت متقاعد شده بود که پاسخ همواره «بله» است. اما بعدها معلوم شد که این امر، مورد نادری از یک پیش‌بینی نادرست او بوده است: بولیبروخ مثالهایی ابداع کرد که پاسخ در آن [موارد] «نه» بود.

بولیبروخ رسماً جوابی برای مسئله بیست و یکم هیلبرت یافت. معلوم شد که این جواب منفی است. البته معنای این موضوع آن است که اکنون باید این مسئله را عوض کنیم و به دنبال شرطهایی باشیم که پاسخ مثبت یا منفی از آنها استنتاج می‌شود. پله‌ملی، لایو-داینلفسکی، ذکرز، کاستوف و خود بولیبروخ به برخی نتایج از این دست رسیده‌اند. ضمناً، شهود هیلبرت او را به کلی همراه نکرده بود؛ مواردی که پاسخ آنها می‌تواند «نه» باشد «استثنایی»



دیمیتری آناسوف (Dimitri Anasov)، عضو آکادمی علوم روسیه و استادی استکلوف مسکو، از تاریخ ۱ تا ۱۵ اردیبهشت ماه سال جاری میهمان مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات بود. پروفسور آناسوف در طول مدت اقامت خود در مرکز، دو سخنرانی ایراد کرد که چکیده مفصل آنها در زیر آمده است.

مسئله بیست و یکم هیلبرت

مسئله بیست و یکم هیلبرت درباره دستگاههای معادلات دیفرانسیل عادی خطی در حوزه مختلط است. چنین دستگاهی را فوخی می‌نامیم هرگاه (ضرایب) همه‌جا روی کره ریمان هلوترنف باشند، مگر در تعدادی متناهی نقطه تکین که ممکن است قطبهای مرتبه یک داشته باشند. (برای صحبت درباره هلوترنف بودن در بینهایت، یا قطب در بینهایت، ابتدا باید متغیر مستقل جدید $t = \frac{1}{x}$ را معرفی کرد؛ در این عبارت، x متغیر مستقل اولیه است. دستگاه مورد نظر باید برحسب t بازنویسی شود. آنگاه خواص متناظر در صفر برقرار می‌شوند). یک خاصیت دستگاه فوخی به این قرار است: وقتی