

ذرات جدید حاوی بیش از سه کوارک

امیرحسین - فتح‌اللهی

در سال گذشته، آزمایش‌گاه‌های مختلفی در جهان خبر از کشف ذرات جدیدی دادند، که اگر چه وجود آنها غیر ممکن دانسته نمی‌شد، و حتی تا حدی پیش‌بینی هم شده بود، ولی در دسته‌بندی متعارفی که از ذرات کشف شده تا به امروز وجود دارد جای نمی‌گیرند [1].

در دنیای فیزیک ذرات، به ذراتی که از حالت مقید کوارک‌ها و پادکوارک‌ها ساخته شده باشند هادرون می‌گویند. خود کوارک‌ها، بنا بر مدل استاندارد فیزیک ذرات، ذرات بنیادی با اسپین $\frac{1}{2}$ هستند و از ترکیب ذرات دیگری ساخته نشده‌اند. هادرون‌ها به دو گروه بزرگ تقسیم می‌شوند: باریون‌ها، با اسپین نیمه صحیح؛ و مزون‌ها، با اسپین صحیح. بنا بر مدل کوارکی، که در سال 1964 مستقلاً توسط گِلْمَن⁽¹⁾ و تِرُونِگ⁽²⁾ مطرح شد، باریون‌ها حالت مقید سه کوارک اند، و مزون‌ها از ترکیب یک کوارک و یک پادکوارک ساخته شده‌اند. پادباریون‌ها حالت مقید سه پادکوارک اند. خود کوارک‌ها چند گونه اند، که به گونه‌های مختلف آن طعم می‌گویند: بالا (u)، افسون (c)، سر (t)، پایین (d)، شگفت (s)، و ته (b)¹ که بار الکتریکی سه‌تای اول $+\frac{2}{3}e$ و سه‌تای دوم $-\frac{1}{3}e$ است؛ e قدر مطلق بار الکترون است. معروف‌ترین باریون‌ها پروتون (p^+) و نوترون (n^0) با اسپین $\frac{1}{2}$ اند که محتوای کوارکی آنها به صورت $p=uud$ و $n=udd$ نمایش داده می‌شود². از معروف‌ترین مزون‌ها می‌توان از پیون‌ها با اسپین صفر نام برد که به صورت $\pi^+ = u\bar{d}$ ، $\pi^0 = u\bar{u} - d\bar{d}$ ، $\pi^- = u\bar{u}$ نمایش داده می‌شوند. نیرویی که کوارک‌ها و پادکوارک‌ها را به هم پیوند می‌دهد نیروی هسته‌ای قوی است. این نیرو همان نیرویی است که پروتون‌ها را، علیرغم بار الکتریکی مثبت‌شان، در هسته‌ای اتم کنار هم نگه می‌دارد. بار نیروی هسته‌ای قوی رنگ نامیده می‌شود، که سه نوع آن معمولاً قرمز (r)، سبز (g) و آبی (b) نامیده می‌شوند. قاعده‌ی کلی این است که ذرات مشاهده پذیر باید سفید باشند، که در مورد باریون‌ها به ما می‌گوید که سه کوارک قرمز، سبز و آبی رنگ سفید را می‌سازند. در مزون‌ها هم ترکیب مثلاً یک قرمز و مکمل قرمز (\bar{r}) رنگ سفید را می‌دهد. برای مثال، یکی از پیش‌بینی‌های مدل کوارکی این است که هیچ باریونی وجود ندارد که از سه کوارک شگفت ساخته شده باشد (ترکیب sss) و بار $-2e$ داشته باشد؛ به زبان فنی‌تر حالت $(S = -3, Q = -2)$ وجود ندارد، که به S عدد شگفتی می‌گویند (طبق قرارداد،

¹ up, charm, top, down, strange, bottom

² علامت‌های در توان بار الکتریکی ذرات در واحد e هستند.

هر کوارک s معادل یک «-1» و هر پادکوارک \bar{s} معادل یک «+1» در عدد شگفتی است). عدد شگفتی از این بابت که می‌توان آن را از واپاشی ذره تحت فرآیندهای هسته‌ای ضعیف تعیین کرد اهمیت دارد. مثال دیگر که بیش‌تر به کار ما مربوط است این است که هیچ حالت باریونی سه - کوارک با عدد شگفتی مثبت یک وجود ندارد، زیرا متضمن این است که حاوی یک پادکوارک \bar{s} باشد. تا همین اواخر هیچ ذره‌ای که به نظر بیاید از مدل بالا تبعیت نکند پیدا نشده بود، ولی حالا حالت‌هایی مشاهده شده‌اند که به نظر می‌رسد این‌طور نیست‌اند. مهم‌ترین تضاد بین ذرات کشف شده و مدل کوارکی در تعداد کوارک‌های مشاهده شده در این ذرات است. بیش‌ترین گزارش‌ها در مورد باریون‌هایی است که به نظر می‌رسد شامل چهار کوارک و یک پادکوارک باشند، و به همین خاطر به آن‌ها، البته به تسامح، حالت پنج-کوارک (penta-quark) می‌گویند. ممکن است آن‌ها را با $qqqq\bar{q}$ نمایش دهیم. حالت دیگری که احتمالاً واقعاً مشاهده شده است مزونی است که از دو کوارک و دو پادکوارک تشکیل شده است، که به آن نیز چهار-کوارک (tetra-quark) می‌گویند، با نمایشی شبیه $qq\bar{q}\bar{q}$.

اگرچه از پیش از 30 سال پیش امکان وجود این ذرات مطرح شده بود [2]، ولی فعالیت‌های اخیر برای کشف این ذرات عمدتاً با نتایج نظریه پرداز روسی دیمیتری دیاکانوف، و هم‌کارانش ویکتور پتروف و ماکسیم پولیاکوف در 1997 شروع شد [3]. این نظریه‌پردازان خواص باریون‌های پنج - کوارک را مورد مطالعه‌ی بیش‌تر قرار دادند، و به طور مشخص سبک‌ترین عضو یک خانواده‌ی ده‌تایی را، که Θ^+ نامیده شد، با جرم حدود $1530 \text{ MeV}/c^2$ و محتوای کوارکی $uudd\bar{s}$ پیش‌بینی کردند. این محتوای کوارکی بار و عدد شگفتی مثبت یک ($S=Q=+1$) را می‌دهد و به راحتی دیده می‌شود که وجود آن در مدل متعارف کوارکی ممکن نیست (توجه داشته باشید که هر پادکوارک \bar{s} معادل «+1» در عدد شگفتی است). اولین اعلان عمومی وجود گواه آزمایش‌گاهی برای کشف باریون پنج - کوارک از اسپرینگ-8⁽³⁾ اوزاکای ژاپن بود. شروع فعالیت‌های آن‌ها به سال 2000 برمی‌گردد، وقتی دیاکانوف در یک کنفرانس اعضای LEPS را متقاعد کرد که باید به دنبال چنین ذره‌ای در آزمایش‌های خود باشند. جرمی که گروه LEPS اعلام کرده $1540 \text{ MeV}/c^2$ است که بسیار نزدیک به پیش‌بینی نظری است. سه گروه دیگر در روسیه (مسکو)، آمریکا (آزمایش‌گاه جفرسون) و آلمان (بُن) نیز با تحلیل دوباره‌ی داده‌های سال‌های قبل خود اعلام کرده‌اند که در واقع چنین ذره‌ای در آزمایش‌گاه‌های آن‌ها تولید شده است. داده‌های گروه روسی به سال 1986، گروه آمریکایی به 1999 و گروه آلمانی به 1997 برمی‌گردد. آخرین و پنج‌امین گزارش برای کشف باریون‌های پنج - کوارک از آزمایش‌گاه اروپایی CERN در ژنو سوئیس است. آن‌ها مدعی هستند که دو ذره با عدد شگفتی -2 دیده‌اند که باریکی -2 با نماد Ξ^{--} و بار دیگری صفر با نماد Ξ^0 است. از این دو Ξ^{--} را نمی‌توان از حالت سه-کوارکی ساخت، و تنها محتوای کوارکی برای آن $ssd\bar{u}$ است. محتوای Ξ^0 می‌تواند ssu و $ssd\bar{u}$ باشد، که اولی سال‌ها پیش کشف شده، و دومی با جرم متفاوت از یافته‌های جدید است.

در حال حاضر مهم‌ترین بحث بر سر این است که آیا این حالت‌های پنج - کوارک را باید حالت مقیدی از پنج ذره شناخت، و یا این‌ها در واقع حالت مقید یک باریون و مزون - مدل - کوارکی - متعارف هستند.

حالات دیگری که گزارشی از کشف آن‌ها وجود دارد در مورد مزون‌هاست. گزارش اول در آوریل 2003 از آزمایش بابار (BaBar) در استنفورد آمریکا است. آن‌ها فکر می‌کنند که مزونی را دیده‌اند که عدد شگفتی 1- دارد، و در عین حال دارای یک کوارک افسون c است. پس این ذره که $D_s(2317)$ نامیده شده (عدد معرف جرم آن بر حسب MeV/c^2 است)، چاره‌ای ندارد مگر این که محتوای کوارکی $cs\bar{q}\bar{q}$ داشته باشد. گزارش دیگر در نوامبر 2003 از آزمایش گاه KEK در ژاپن است که مدعی است ذره‌ای دیده‌اند که حاوی دو کوارک و دو پادکوارک است. آن‌ها این ذره را $X(3872)$ نامیده‌اند. در این موارد هم، در صورت صحت یافته‌ها، سوال اصلی این است که آیا این ذرات حالت مقید چهار ذره هستند، و یا در واقع از ترکیب دو مزون متعارف مدل کوارکی نتیجه شده‌اند.

مرجع‌ها

[1] CERN Courier, vol. 43, no. 7; CERN Courier, vol. 43, no. 10.

[2] R. Jaffe, Phys. Rev. **D15** (1977) 267; 281.

[3] D. Diakonov, V. Petrov and M. Polyakov, Z. Phys. **A359** (1997) 305.

نام‌های خاص

¹⁾ M. Gell-Mann, ²⁾ G. Zweig, ³⁾ Laser Electron Photon Facility at SPring-8

مسئله ی 2) کره ی زمین، یا یک کره ی دیگر (مثلاً یک توپ) را در نظر بگیرید. دما ی سطح این کره تابع پیوسته ای از کره به مجموعه ی عددها ی حقیقی است. ثابت کنید حتماً نقطه ای از این کره هست که با نقطه ی متقاطعش هم‌دما است. (دو نقطه از کره را می‌گوییم متقاطع‌اند، اگر در دو انتها ی یک قطر کره باشند).