

## ذرات بنیادین (قسمت دوم)

سید حسام موسوی مهر

کوآرکها را هیچگاه نمی توان به تنهایی یافت. آنها همیشه با یکدیگر ترکیب می شوند تا ذراتی به نام Hadron ها را به وجود بیاورند. همانطور که پیشتر هم گفتیم، با اینکه کوآرکها همگی بار کسری دارند، ترکیب آنها که همان hadron ها باشند، همواره بار صحیح دارند. Hadron ها به دو دسته تقسیم می شوند: Baryon ها و Meson ها.



Baryon ها از ترکیب سه کوآرک ساخته شده اند. پروتون ها و نوترونها baryon هستند. هر پروتون از دو کوآرک up و یک کوآرک down ساخته شده (uud) که بار آن می شود  $+1 = +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3}$  و هر نوترون از دو

کوآرک down و یک کوآرک up تشکیل شده (udd) که بار معادل آنها می شود  $0 = +\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3}$ .

Meson ها از ترکیب یک کوآرک و یک پاد کوآرک ساخته می شوند. به عنوان مثال ذره ی pion مثبت ( $\pi^+$ ) از یک کوآرک up و یک پاد کوآرک down ساخته شده ( $u\bar{d}$ ) و بار آن برابر است با  $+1 = +\frac{2}{3} + (-(-\frac{1}{3}))$ .

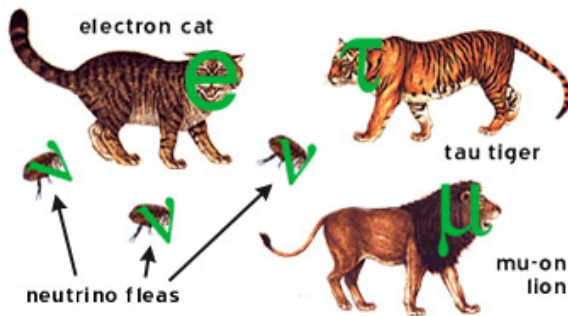
در ذره ی پاد ماده ی مربوط به هر مزون جای کوآرک و پاد کوآرک عوض می شود. مثلاً ذره ی پاد ماده ی pion ی که گفتیم،  $\pi^-$  است که تشکیل شده از یک پاد کوآرک up و یک



کوآرک down ( $ud$ ) و بار آن هم -1 است. Meson ها به خاطر اینکه در ساختارشان پادماده وجود دارد بسیار ناپایدارند. یکی از meson ها به نام kaon ( $K^-$ ) طول عمر خیلی زیادی دارد که همین باعث شد که نام strange را برای یکی از کوآرکهایی که داخلش بود انتخاب کنند.

نکته ی عجیبی که در مورد hadron ها وجود دارد این است که تنها بخش ناچیزی از جرم آنها مربوط به کوآرک های داخلشان است. مثلاً جرم یک پروتون 0.938 واحد است در حالی که حاصل جمع جبری جرم ذرات تشکیل دهنده اش تنها 0.012 واحد است. باقی این جرم از انرژی جنبشی و پتانسیل کوآرک های سازنده اش هست که طبق معادله ی  $E = mc^2$  به جرم تبدیل شده است.

## Lepton ها:



دسته ی دیگر ذرات ماده لپتون ها هستند. شش نوع لپتون وجود دارد که سه نوع از آنها دارای بار الکتریکی هستند و سه تای دیگر بدون بارند. لپتون ها ذرات نقطه مانند هستند که ساختار درونی ندارند. معروف ترین لپتون الکترون ( $e^-$ ) است. دو لپتون باردار دیگر  $\mu^-$  muon و  $\tau^-$  tau هستند. بار این دو لپتون برابر بار الکترون است، اما جرم آنها خیلی بیشتر از جرم الکترون است. سه لپتون دیگر نوترینو ( $\nu$ ) نام دارند. نوترینوها بار ندارند،

جرمشان (حتی در مقابل جرم الکترون) بسیار ناچیز است، و بسیار مشکل پیدا می شوند. بر خلاف کوآرکها، لپتونها علاقه ای به کنار هم بودن ندارند و همیشه به تنهایی یافت می شوند. هر کدام از سه لپتون باردار نوترینوی مخصوص خودش را دارد. مثلاً  $\nu_e$  نوترینوی الکترون است. برای هر ذره ی لپتون یک ذره ی پاد لپتون وجود دارد. به ذره ی پادماده مربوط به الکترون، (پاد الکترون) پوزیترون (positron) می گویند.

واژه ی لپتون در زبان یونانی به معنای جرم کوچک است. البته این واژه برای توصیف لپتون ها خیلی مناسب نیست. به عنوان مثال جرم ذره ی tau (که یک لپتون است)، تقریباً 3000 برابر جرم یک الکترون یا 1.64 برابر جرم یک پروتون است.

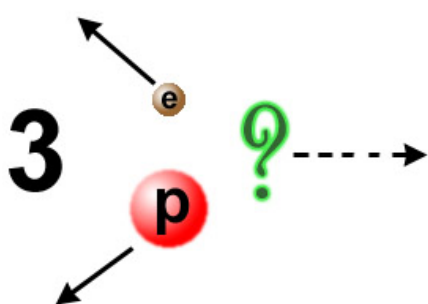
لپتونهای سنگین مانند muon و tau در مواد روزمره به هیچ وجه یافت نمی شوند. آنها هنگام تشکیل سریعاً به لپتونهای سبکتر تجزیه می شوند. مثلاً یک ذره ی tau ممکن است به یک کوارک، یک پاد کوارک، و یک نوترینوی tau تبدیل شود  $\tau \rightarrow u + \bar{u} + \nu_{\tau}$ . الکترون ها و نوترینوها تنها لپتونهای پایدار هستند و بنابراین آسان تر یافت می شوند.

فیزیکدانها در یافته اند که برخی از محصولات در تجزیه ی لپتونها مجاز و برخی دیگر غیر مجازند. قاعده ی ساده ای برای در یافتن این موضوع وجود دارد. طبق این قاعده، لپتونها را به سه خانواده تقسیم می کنند:  $e^-$  و  $\mu^-$ ،  $\nu_{\mu}$  و  $\tau^-$ . در تجزیه ی یک لپتون عده ی اعضای هر خانواده در دو طرف معادله باید یکسان باشد.

	muon	muon neutrino	electron	$e^-$ antineutrino
equation:	$\mu$	$\rightarrow \nu_{\mu}$	$+ e^-$	$+ \bar{\nu}_e$
electron number:	0	= 0	+ 1	+ -1
muon number:	1	= 1	+ 0	+ 0
tau number:	0	= 0	+ 0	+ 0

در این قاعده فرض می شود که پاد ذره ی مربوط به یک خانواده، ذره ای از آن خانواده که همراه آن در فرآورده ها موجود است را خنثی می کند. مثلاً برای تجزیه ی یک muon، اگر معادله ی تجزیه را به صورت  $\mu^- \rightarrow \nu_{\mu} + e^- + \bar{\nu}_e$  داده باشند می توان با کمک قاعده ی بالا به درستی یا نادرستی آن پی برد. در این مورد خاص پی می بریم که این نوع تجزیه می تواند انجام شود<sup>1</sup>.

$\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_{\tau}$  ممکن است، زیرا تعداد اعضای هر خانواده، بار الکتریکی، و انرژی همگی پایسته مانده اند.  $\tau^- \rightarrow \mu^- + \nu_{\mu}$  ممکن نیست، زیرا تعداد اعضای خانواده ی muon دو واحد اضافه شده است.  $e^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_{\mu} + \nu_e$  ممکن نیست، زیرا همانطور که گفتیم جرم muon از الکترون بیشتر است و این از نظر بقای ماده و انرژی ناممکن است.



و اما در مورد نوترینوها، گفتیم که آنها بسیار کوچک هستند و بار الکتریکی ندارند. بنابراین برهمکنش آنها با ذرات دیگر بینهایت ضعیف است. اکثر نوترینوهایی که به زمین می رسند، بدون اینکه با هیچ یک از اتمهای سازنده ی زمین برهمکنشی داشته باشند، مثل یک روح، از زمین عبور می کنند!

نوترینوها در اثر بر همکنش های متعددی ایجاد می شوند. یکی از این بر همکنش ها، واکنشهای هسته ای هستند که کشف نوترینو هم در اثر مطالعه ی دقیق آنها بود. مثلاً یک نوترون ثابت، به یک پروتون و یک الکترون تبدیل می

شود که مسیر حرکتشان با هم زاویه ای در حدود  $120^\circ$  می سازند. طبق قانون بقای اندازه ی حرکت خطی، باید ذره ی سومی در خلاف جهت برآیند این دو ذره پرتاب شود که همان نوترینو است. این خود به صورت ضمنی به ما می گوید که سرعت پرتاب نوترینو باید بسیار زیاد باشد.

<sup>1</sup> م. البته این به این معنی نیست که حتماً تجزیه به آن صورتی که ما نوشتیم انجام شود. ممکن است تجزیه از دو راه پیش برود که یکی به خاطر اینکه سرعتش بیشتر است بر دیگری پیشی بگیرد. به نظر معقول می آید که با مطالعه ی مکانیسم چنین واکنشهایی (در صورت وجود هرگونه حد واسط) بتوان معادلات سینتیکی، مشابه با آنچه در شیمی برای سرعت واکنش ها استفاده می شود به دست آورد. زیرا اینگونه معادلات هیچ گونه محدودیتی در مورد موضوعی که در آن به کار برده می شوند ندارند.