

ذرات بنیادین (قسمت سوم)

سید حسام موسوی مهر

نسل‌های ماده:

Quarks	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
Leptons	ν_e e- Neutrino	ν_μ μ - Neutrino	ν_τ τ - Neutrino
	e electron	μ muon	τ tau
I II III The Generations of Matter			

کوارک‌ها و لپتون‌ها در سه دسته‌ی جدا از هم طبقه‌بندی می‌شوند که به هر دسته یک نسل از ماده می‌گویند. هر نسل از ماده دارای سه ذره با بارهای $+\frac{2}{3}$ ، $-\frac{1}{3}$ ، و -1 است. جرم ذرات هر نسل از نسل قبلی بیشتر است. تمام آنچه در جهان وزندگی روزمره می‌بینیم از ذرات نسل اول ساخته شده است زیرا ذرات نسل‌های دوم و سوم سریعاً به ذرات نسل اول تجزیه می‌شوند.

اما اگر اینطور است، اصلاً چرا سه نسل ذره وجود دارد؟ این سوالی است که بدون جواب مانده است. تا وقتی که به آن پاسخ ندهیم، نمی‌توانیم مطمئن شویم که نسل‌های بالاتری از ذرات وجود ندارد. برهمکنش‌ها:

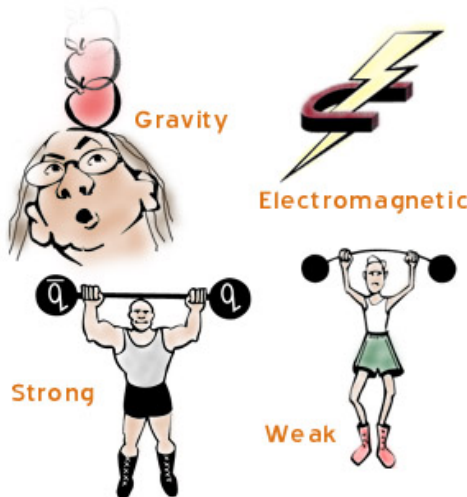
تا اینجا فهمیدیم که جهان از کوارک‌ها و لپتون‌ها ساخته شده است.

اما این ذرات تنها هنگامی با ارزش خواهند بود که بتوانند با هم برهمکنش داشته باشند. از جمله برهمکنش‌های موجود می‌توان دافعه، جاذبه، و نابودی جفت‌های ماده-پادماده را نام برد.

در جهان چهار نوع برهمکنش بنیادی وجود دارد و تمام نیروها را می‌توان به آنها نسبت داد: جاذبه، الکترومغناطیس، قوی، و ضعیف.

فرق بین نیرو و برهمکنش چیست؟

نیرو تاثیری است که حضور چند ذره بر ذره دیگری وارد می‌کند. برهمکنش‌های یک ذره شامل تمام نیروهایی می‌شود که بر آن وارد می‌شود و تجزیه‌ها و نابودی‌ها (Annihilation) یا از بین رفتن یک ذره‌ی ماده هنگامی که به جفت پادماده‌ی خود (برسد) را هم در بر می‌گیرد. البته خوب است بدانید که اکثر فیزیکدانها هم موقع صحبت این واژه‌ها را به صورت هم‌ارز به کار می‌برند (گرچه هنگام صحبت در مورد ذرات بنیادی، استفاده از واژه‌ی برهمکنش درست‌تر است).



اجسام چگونه با هم برهمکنش می‌کنند؟

مشکل اینجاست که بسیاری از اجسام (و اگر درک بیشتری در باره‌ی ماهیت تماس بیابیم، تقریباً تمام اجسام) بدون اینکه تماس داشته باشند بر یکدیگر تاثیر می‌گذارند. مثلاً وقتی دو قطب هم‌نام از دو

آهن‌ریا را به هم نزدیک می‌کنیم چگونه آنها به حضور یکدیگر پی می‌برند و همدیگر را دفع می‌کنند؟ خورشید چگونه از ورای میلیون‌ها کیلومتر فاصله به زمین می‌گوید که به من جذب شو؟!¹

¹ م. تعریف تماس در ذهن ما چیزی بسیار بدیهی است. تویی که به زمین می‌خورد را در نظر بگیرید. از نظر ما فاصله‌ی توپ از زمین در لحظه‌ی برخورد برابر صفر است. اما حقیقت این است که توپ و زمین هر دو از تعداد زیادی ذرات باردار تشکیل شده‌اند

دانش ما از علم فیزیک به ما میگوید که جواب این سوال ها وجود نیروهای مغناطیسی و جاذبه است؛ اما این نیرو ها از کجا به وجود می آیند؟

جواب در این نکته نهفته است که، از دیدگاه بنیادی، نیرو چیزی نیست که برای ذره ای اتفاق بیفتد (به سر ذره ای بیاید) و بهتر است از آن به عنوان چیزی که بین ذره ها رد و بدل می شود یاد کنیم. برای روشن تر شدن موضوع فرض کنید دو نفر بر روی یک سطح صاف یخی ایستاده اند و یک توپ بسکتبال را برای همدیگر پرت می کنند. بدیهی است که از هم دور خواهند شد. حال فرض کنید که ما نمی توانیم توپ را ببینیم. عاقلانه خواهد بود اگر بگوییم که آنها دارند یک توپ نامرئی را برای هم پرت می کنند. به همین صورت برهمکنش بین ذرات ماده را می توان به ردوبدل کردن ذرات حامل نیرو نسبت داد. البته، بر خلاف توپ بسکتبال، نیرویی که این ذرات حمل می کنند می تواند از نوع جاذبه هم باشد. فیزیک دانها پی برده اند که می توان برهمکنشهای بین مواد را با استفاده از این مدل تا دقت بسیار زیادی توصیف کرد.²

باید توجه داشت که هر ذره ای می تواند انواع خاصی از ذرات حامل نیرو را جذب کند. مثلاً الکترون ها می توانند فوتونها، یا همان ذرات حامل نیروی الکترومغناطیس را نشر و جذب کنند. اما نوترینو ها به علت اینکه بار ندارند، نمی توانند فوتونها را نشر یا جذب کنند.

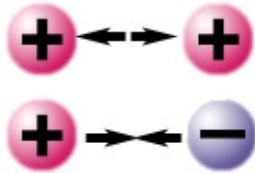


الکترومغناطیس:

نیروی الکترومغناطیس باعث جذب شدن بارهای غیرهمنام و دفع شدن بارهای همنام می شود. با استفاده از این نیروی می توان پدیده های بسیاری مانند اصطکاک و خاصیت آهنربایی را توجیه کرد. شما به علت وجود نیروی الکترومغناطیس در زمینی که زیر پایتان قرار دارد فرو نمی روید (پاورقی 1 را بخوانید).

ذره ها ی حامل نیروی الکترومغناطیس را فوتون (γ) می نامیم. طیف الکترومغناطیس از فوتونهایی با انرژی های متفاوت تشکیل شده³. فوتونها تا جایی که می دانیم جرم ندارند⁴ و در خلاء همواره با سرعت

نور ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 1.86 \times 10^5 \text{ miles/s}$) حرکت می کنند.



(می توانیم به آنها بس قطبی بگوییم). دانش ما از فیزیک به ما می گوید که بزرگی میدان الکتریکی که یک بس قطبی ایجاد می کند با عکس توان بسیار بزرگی از فاصله نسبت دارد. لذا هنگامی که کمی از بس قطبی دور شویم، ناگهان میدان الکتریکی اطراف بس قطبی آنچنان افت می کند که عملاً هیچ تاثیری بر روی ذرات باردار (یا بس قطبی های دیگر) نمی گذارد. بنابراین دو جسم که میگوییم با هم مماس هستند، در حقیقت فاصله ی بسیار کمی از هم دارند که در آن فاصله نیروی دفعه ی دو بس قطبی و نیرویی که دو جسم را به هم می فشارد در تعادلند. این دیدگاه در مورد تماس بسیار سودمند است اما ممکن است بعضی رویدادهایی که قبلاً به راحتی قابل درک بودند،

حالا احتیاج به تعاریف جدیدی داشته باشند. مثلاً فرض کنید که یک نوترینوی الکترون (ν_e) و جفت پاد ماده ی آن ($\bar{\nu}_e$) را داریم. قبلاً گفتیم که یک ذره ی ماده و ذره ی پاد ماده ی مربوط به آن وقتی به هم می رسند نابود می شوند. اما در غیاب نیروهای خارجی هر چقدر این دو را به هم نزدیک کنیم، به علت اینکه بار ندارند، به هم جذب نمی شوند. اینکه در چه فاصله ای دو ذره حضور هم را می فهمند و با هم می آمیزند با استفاده از این دیدگاه جدید به راحتی توضیحی داده نمی شود.

² م. وجود ذراتی که یا واقعاً وجود ندارند و یا وجودشان را نمی توان به راحتی تصدیق کرد، چیز نادری نیست. به عنوان مثال در سال 1965 آقای Richard P. Feynman به خاطر ترکیب نظریه ی نسبیت و کوانتوم جایزه ی نوبل فیزیک را گرفت. فاین من هنگام ترکیب این دو (که به ایجاد الکترو دینامیک کوانتوم انجامید) بنا بر نیاز ذرات خیالی متعددی تعریف کرد که برای کار کردن نظریه لازم بودند ولی به هیچ وجه در واقعیت وجود نداشتند.

³ م. انرژی ذخیره شده در یک فوتون از فرمول $E = h\nu$ ی پلانک به دست می آید. انرژی یک فوتون می تواند از کمتر از 10^{-19} J (که در امواج رادیویی یافت می شود) تا بیش از 20 J (یا تقریباً 10^{20} eV که در امواج موسوم به امواج کیهانی Cosmic Rays) که معمولاً از ابر نواختران تابش می شود) باشد. البته محدودیتی برای انرژی یک فوتون وجود ندارد اما بیشتر امواج در این بازه قرار می گیرند.

⁴ م. نکته ی جالب و عجیبی که ممکن است ندانید این است که فوتون با وجود اینکه جرم ندارد، تکانه ی خطی (linear momentum) دارد. مثلاً اگر باریکه ای از نور بر صفحه ای که آن را جذب نکند (مثلاً یک آینه) بتابد، رانشی هر چند کوچک در آن ایجاد می کند. این خاصیت مثلاً می تواند باعث شود که یک جسم در فضا در اثر تابش نور شتاب بگیرد!