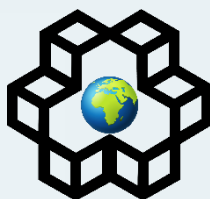


(Image credit: TSDesign/SCIENCEPHOTOLIBRARY/Getty Images)

مدل استاندارد ذرات بنیادی در فیزیک

مهران میر شمس
آزمایشگاه تحقیقات فضایی

پاییز ۱۴۰۳



www.spacerl.com

مدل استاندارد ذرات بنیادی در فیزیک

مدل استاندارد ذرات بنیادی در فیزیک^۱، نظریه‌ای است که انواع ذرات بنیادی، میدان‌ها و نیروهای اصلی اداره کننده آن‌ها را تعریف کرده و توضیح می‌دهد. به عبارت دیگر این نظریه چگونگی ترکیب ذرات بنیادی و بوجود آمدن ذرات بزرگ‌تر، چگونگی تعامل ذرات با هم و چگونگی پاسخ ذرات به نیروهای بنیادی طبیعت را تشریح می‌کند. مدل استاندارد فیزیک، سنگ بنای فیزیک نظری است که امکان کشف ذرات جدید مثل هیگز-بوزون (Higgs-boson) را هم فراهم ساخته است. به زبان ساده مدل استاندارد فیزیک، مثل درخت رشد خانواده ذرات است. به عنوان مثال این مدل توضیح می‌دهد که اتم‌های سازنده بدن ما از پروتون‌ها و نوترون‌ها ساخته شده که آن‌ها هم به نوبه خود از ذرات بنیادی به نام کوارک‌ها^۲ تشکیل شده‌اند.

ذرات بنیادی به ذراتی گفته می‌شود که قابل تقسیم به ذرات کوچک‌تر نبوده و از ترکیب آن‌ها ذرات دیگر (electron, neutron, proton, photon, positron, muon & pion) بوجود می‌آیند. سه خانواده از ذرات بنیادی تا به حال شناخته شده‌اند:

- 1- Leptons
- 2- Quarks
- 3- Bosons

لپتون‌ها و کوارک‌ها (Leptons & Quarks) را به فرمیونز (Fermions) می‌شناسیم. این‌ها ذراتی هستند با عدد چرخش SPIN) غیر صحیح مثل $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{3}$ و ... بوزون‌ها (Bosons) دارای عدد چرخش صحیح ۱، ۲، ۳ و ... هستند. (عدد چرخش در کنار جرم و بار الکتریکی، سومین شاخص ذاتی ذرات و از مفاهیم پایه فیزیک کوانتوم است. لپتون‌ها سازنده ذرات بزرگ‌تر (مثل electrons, muons, tau) و ذرات متناظر آن‌ها نیوترینوزها (neutrinos) می‌باشند. کوارک‌ها ذرات بسیار ریزی هستند که با ترکیب خود ذرات هادرونز (Hadrons) یعنی پروتون‌ها و نوترون‌ها را می‌سازند. (ذراتی که دارای تعداد فرد Quarks (معمولاً ۳ عدد) باشند را baryons و اگر شامل دو Quarks باشند را mesons می‌نامند). سومین خانواده ذرات بنیادی بوزون‌ها (Bosons) هستند. این ذرات را به حامل‌های نیرو^۳ هم می‌شناسیم. که شامل فوتون‌ها (Photons) حامل نیروی الکترومغناطیس، ذرات بوزون W و Z حامل نیروی ضعیف هسته‌ای، gluons حامل نیروی قوی هسته‌ای و Higg boson حامل نیروی Higgs می‌باشد.

هر خانواده از ذرات بنیادی شامل شش ذره هستند (البته به غیر از bosons که تا به حال پنج‌تای آن‌ها شناخته شده است) که به نسل‌ها^۴ شناخته می‌شوند. پایدارترین و کوچک‌ترین ذرات خانواده، نسل اول را تشکیل می‌دهند. وقتی می‌گوییم پایدار هستند، منظورمان این است که زود فروپاشی (متلاشی) نمی‌شوند. تمامی ماده پایدار جهان هستی از اولین نسل ذرات بنیادی ساخته شده‌اند. به عنوان مثال پروتون‌ها از دو کوارک به سمت بالا و یک کوارک به سمت پایین که از پایدارترین نوع کوارک‌ها هستند تشکیل شده‌اند. (شکل ۱)

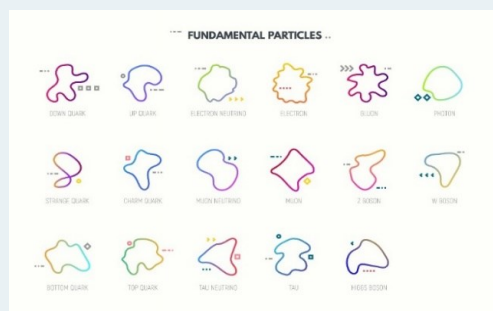
شکل ۱:

تا به امروز ۱۷ ذره بنیادی شناسایی شده اند. 6-leptons، 6-quarks و ۵-bosons

تنها ۵-bosons

هنوز ذره حامل نیروی گرانش را نشناخته‌ایم!! طبق مدل استاندارد، گرانش باید ذره حامل مخصوص به خود داشته باشد. یک ذره از جنس bosons که graviton نام‌گذاری شده است. طبق تئوری موجود امواج گرانشی بایستی از گراویتون‌ها ساخته شده باشند. با این حال تا به امروز موفقیتی در شناسایی گراویتون حاصل نشده است.

(Image credit: iKonStudio/Getty Images)



¹ Standard Model of Physics

² quarks

³ Force Carriers

⁴ generations

مدل استاندارد ذرات بنیادی در فیزیک

نیروی گرانش در بین چهار نیروی اصلی هستی، (نیروی هسته‌ای قوی، نیروی هسته‌ای ضعیف، نیروی الکترومغناطیس و نیروی گرانش)، ضعیف‌ترین نیرو است. شاید احساس شما این را تأیید نکند، چون به هر حال گرانش پاهای شما را به زمین چسبانده است. ولی توجه کنید که برای تولید این نیرو جرمی به اندازه جرم زمین مورد نیاز است! در حالیکه آهن‌ربای کوچک (نیروی الکترو مغناطیس) می‌تواند یک سوزن را در خلاف جهت نیروی گرانش بلند کند.

در نتیجه گراویتون‌ها که طبق نظریه موجود مدل استاندارد فیزیک بایستی حامل نیروی گرانش باشند، به تنهایی نمی‌توانند بر روی ماده تأثیرگذار باشند و همین مسئله، کشف آن‌ها را مشکل‌تر می‌سازد. نکته جالب اینجاست که مدل استاندارد فیزیک با همه پیچیدگی خود قادر به توضیح فقط $4/9\%$ از انرژی و ماده موجود در جهان هستی است. تمامی کهکشان‌ها، ستارگان، سیارات، سیارک‌ها و ... جزء این $4/9\%$ هستند. حقیقت این است که تقریباً 95% بقیه را نمی‌شناسیم. (ماده تاریک و $26/8\%$ ماده تاریک و $68/3\%$ انرژی تاریک). موجودیت این 95% با مدل استاندارد موجود در فیزیک قابل توضیح نیست.



شکل ۲: ماده تاریک.

در این تصویر توزیع ماده تاریک به صورت سه‌بعدی با استفاده از تصاویر تلسکوپ هابل و با در نظر گرفتن اثر گرانشی^۵ نشان داده شده است.

(Image credit: Lawrence Livermore National Laboratory)

این تازه هنوز همه مشکل نیست. راستش را بخواهید، ما حتی شک داریم که ذرات بنیادی واقعاً بنیادی باشند. یعنی چیز دیگری در دل آن‌ها نباشد!! نظریه ریسمان‌ها مدعی است که ذرات بنیادی از ریسمان‌های مرتعش ساخته شده‌اند! و بعد، ابهام بزرگ دیگرمان در مورد ضد ماده^۶ است. طبق مدل‌های موجود، ماده و ضد ماده بایستی به مقدار مساوی در مه‌بانگ^۷ به وجود آمده باشند. ولی در این صورت ما نباید وجود می‌داشتیم، چون ماده و ضد ماده یکدیگر را نابود می‌کردند. حال آنکه مشاهدات ما نشان می‌دهد جهان هستی عمدتاً از ماده و تعداد بسیار کمی ضد ماده درست شده است! و نمیدانیم چرا چنین عدم تقارنی وجود دارد؟ سؤال‌های دیگری هم داریم: اینکه چرا ذرات این جرم‌ها را دارند؟ چرا نیروهای اصلی دارای قدرت‌های مختلف و به این مقدار هستند؟ چرا ذرات بنیادی به سه خانواده تقسیم شده‌اند؟ متأسفانه مدل استاندارد فعلی فیزیک جوابی برای این سؤال‌ها ندارد و به نظر می‌رسد تا تکمیل این مدل راه طولانی در پیش است.

ولی اخبار خوب اینکه، تلسکوپ‌های فضایی و زمینی، شتاب‌دهنده‌های ذرات، آشکارسازهای امواج گرانشی، همه به کمک دانشمندان آمده‌اند تا آن‌ها بتوانند «مدل استاندارد فیزیک» را اصلاح کرده، توسعه داده و تکمیل نمایند. بدون شک اکتشافات فضایی کمک بزرگی در این راه است. این تجهیزات با نگاه به عمق جهان هستی، چگونگی شکل‌گیری و تکامل آن در طول ۱۴ میلیارد سال گذشته را به ما نشان می‌دهند. این مشاهدات به دانشمندان کمک خواهد کرد تا نظریه‌های خود را با واقعیت موجود جهان تطبیق داده و اصلاح کنند.

مرجع:

1- What is the Standard Model? By Keith Cooper, last updated September 22, 2022; www.space.com/standard-model-physics

⁵ Gravity Lenz

⁶ antimatter

⁷ Big-Bang