کوانتوم به زبان آدمیزاد قسمت ششم

داستان تقارن تابع موج ، فرمیون و بوزون

پرده ی دوم: فرمیون و بوزون

فیزیکدانان علاقمندند جهان را به دو دسته تقسیم کنند:ماده ی معمولی و ماده ی تاریک، رسانا و نارسانا، لپتون و کوارک ها. برخی از این دسته بندی ها فقط برای راحتی و به طور اختیاری انجام می شوند، در حالیکه برخی، بنیان طبیعت را توصیف می کنند. یکی از این دسته بندی های بنیادی، بوزون ها و فرمیون ها هستند، مفاهیمی که بدون آنها، گیتی به شکلی که امروز میشناسیم، وجود نداشت!

راه های زیادی برای تعریف تفاوت بین این دو مفهوم وجود دارد: فیزیکدانان متخصص ذرات بنیادی، بوزون ها را به عنوان ذرات حامل نیرو و فرمیون ها را به عنوان ذرات ماده در نظر می گیرند، اما این دو مفهوم، به طور استاندارد بر اساس اسپین، تعریف می شوند. فرمیون ها دارای اسپین نیمه صحیح و بوزون ها دارای اسپین صحیح هستند.

همین تفاوت به نظر ساده، اثرات بسیار عمیقی بر ساختار کائنات گذاشته است.

فرمیون ها درست مانند آدم های منزوی و گوشه گیری هستند که به هیچ وجه، جمع شدن در کنار یکدیگر را دوست ندارند، در حالیکه بوزون ها، موجوداتی بسیار اجتماعی هستند و دوست دارند همیشه با یکدیگر باشند.

حالا بهتر است تفاوت فرمیون و بوزون را در بحث تقارن تابع موج نشان دهیم. در واقع هر یک از سبدها در شکل ۱ و ۲، نقش یک تابع موج ψ را بازی می کند. با این حساب چهار حالت شکل ۲ را با استفاده از تابع موج می توان به شکل زیر نمایش داد:

حالت اول بدان معناست که هر دو ذره (توپ) در تابع موج اول (سبد اول) قرار گرفته اند و همین طور الی آخر. علامت Φ نشان دهنده ی تابع موج کلی هر توزیع است.

تفاوت فرمیون ها و بوزون ها با استفاده از تقارن تابع موج به صورت زیر تعریف می شود:

تابع موج کلی فرمیون ها باید نسبت به جابجایی ذرات، پاد متقارن بوده، در حالیکه تابع موج کلی بوزون ها باید نسبت به جابه جایی ذرات، متقارن باشد .

در شرط بالا، تابع موج متقارن به تابعی گفته می شود که با جا به جا کردن ذرات (یعنی جابه جاکردن ۱ و ۲های داخل پرانتزها)، همان تابع اولیه را بدهد و تابع موج پادمتقارن به تابعی گفته می شود که در صورت جابجایی ذرات، به منفی تابع اولیه تبدیل شود. اجازه دهید این شرط را در هر چهار تابع Φ آزمایش کنیم.

اگر جای دو ذره را درΦ ۱ وΦ ۲ عوض کنیم، باز به همان تابع موج اولیه میرسیم، بنابراین این دو تابع موج، متقارن هستند.

در مورد دو تابعΦ ۳ وΦ ۴ طبق شکل زیر اگر جای دو ذره را عوض کنیم، به ترتیب بهΦ ۳ وΦ ۴ -می رسیم. در نتیجهΦ ۳ متقارن وΦ ۴ پاد متقارن است.

در نتیجه سه تابع موجΦ ۲، Φ۱ وΦ ۳ متقارن بوده و می توانند به عنوان تابع موج بوزون ها استفاده شوند، در حالیکه برای فرمیون ها فقط یک انتخاب داشته و تنها تابع موجΦ ۴ را می توانیم استفاده کنیم.

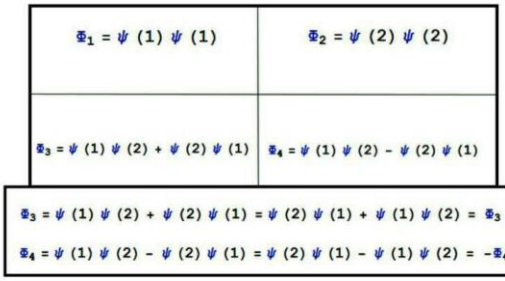
حالا می توانیم دلیل اجتماعی بودن بوزون ها و گوشه گیر بودن فرمیون ها را درک کنیم: تنها تابع موجی که برای فرمیون ها، مجاز است، حالتی است که دو توپ جدا از یکدیگر هستند و در مقابل، از بین سه حالتی که برای بوزون ها مجاز است، دو حالت آن مربوط به زمانی است که توپ ها در کنار هم و در یک سبد قرار گرفته اند.

بنابراین، شاید فرمیون ها زیاد هم گوشه گیر نباشند، چرا که آنها چاره ی دیگری ندارند!

نکته ای که باید به آن توجه کنیم این است که اجتماعی یا منزوی بودن بوزون ها و فرمیون ها ناشی از نیروهای جاذبه ای یا دافعه ای بین آنها نیست، بلکه مستقیما ناشی از شرط متقارن یا پاد متقارن بودن تابع موج آنهاست و بنابراین بیش از آنکه یک واقعیت فیزیکی باشد، یک شرط ریاضی است.

ساتیندرا بوز، فیزیکدان بنگالی، قوانین حاکم بر بوزون ها را بدست آورد و واژه ی "بوزون" نیز به افتخار او گذاشته شده است.

انریکو فرمی نیز کسی بود که قوانین ذرات فرمیون مانند را استخراج کرد و وجه تسمیه ی "فرمیون" نیز همین است.



تصویره (۱)

تصویره (۲)

داستان تقارن تابع موج ، فرمیون و بوزون

پرده ی سوم: داستان متقارن و پادمتقارن از کجا نشات می گیرد؟

شاید برای شما هم این سوال پیش آمده باشد: چرا باید تابع موج فرمیون ها، پاد متقارن و تابع موج بوزون ها، متقارن باشد؟

پاسخ این سوال، خیلی سرراست و واضح نیست.

در واقع مکانیک کوانتومی کلاسیکی در برابر این سوال سکوت می کند.

پاسخ این سوال را باید در مکانیک کوانتومی نسبیتی، جستجو کنیم. بهتر است بگوییم قانون تقارن تابع موج از دل مکانیک کوانتومی نسبیتی، بیرون آمده است.

به طور کلی چهار فاکتور ناوردایی لورنتس، انرژی های مثبت، نرم های مثبت و علیت در کنار هم ثابت می کنند که ذرات با اسپین صحیح از آمار بوز-اینشتین (پادمتقارن بودن تابع موج) و ذراتی با اسپین نیمه صحیح از آمار فرمی-دیراک (متقارن بودن تابع موج) پیروی می کنند.

در واقع، فرمیون ها محکوم به داشتن تابع موج پادمتقارن هستند، زیرا در غیر اینصورت، بی نهایت تراز انرژی منفی وجود خواهد داشت که به چالش انرژی منفی شهرت دارد.

داستان تقارن تابع موج ، فرمیون و بوزون

پرده ی چهارم: یک تفاوت کوچک، اما طوفانی!

باید خوشحال باشیم که دنیای ما از دو نوع ذره ی فرمیون و بوزون ساخته شده است، زیرا در غیر اینصورت نه ماده ای وجود داشت، نه کهکشانی و نه انسانی. تمام نظمی که در شیمی مشاهده می شود، نتیجه ی مستقیمی از این واقعیت است که الکترون یک فرمیون است!

از آنجایی که الکترون ها، فرمیون هستند، پس باید تابع موج پادمتقارن داشته باشند و این بدان معناست که شما نمی توانید دو الکترون را در یک حالت یکسان قرار دهید.

وقتی در طول جدول تناوبی حرکت می کنیم و از یک عنصر به عنصر بعدی می رویم، یک الکترون (و البته یک پروتون)، اضافه می شود، اما نکته اینجاست که به دلیل فرمیون بودن الکترون، نمی توانید آن را در همان مکان اشغال شده ی عنصر قبلی قرار دهید.

به این ترتیب است که الکترون های عناصر سنگین تر، در ترازهای بالاتری قرار خواهند گرفت.

اگر الکترون ها، بوزون بودند، خیلی خوشحال در پایین ترین انرژی، دورهمی می گرفتند و نتیجه ی فاجعه بار آن بود که تمام مواد، مانند هیدروژن رفتار می کردند!

در این قسمت، سه مفهوم بسیار مهم تقارن تابع موج ، فرمیون و بوزون را با زبانی ساده بررسی کردیم، اما پشت این مفاهیم شگفت انگیز، اقیانوسی از ریاضیات زیبا و البته پیچیده وجود دارد که حاصل تلاش دانشمندان بزرگ و جسور است.

اگر این قسمت را خوب درک کرده باشید، باید یادتان باشد کائنات را حتما با عینک تقارن نگاه کنید، زیرا بدون این عینک، اصلا چیزی برای نگاه کردن وجود ندارد

داستان تقارن تابع موج ، فرمیون و بوزون

پرده ی سوم: داستان متقارن و پادمتقارن از کجا نشات می گیرد؟

شاید برای شما هم این سوال پیش آمده باشد: چرا باید تابع موج فرمیون ها، پاد متقارن و تابع موج بوزون ها، متقارن باشد؟

پاسخ این سوال، خیلی سرراست و واضح نیست.

در واقع مکانیک کوانتومی کلاسیکی در برابر این سوال سکوت می کند.

پاسخ این سوال را باید در مکانیک کوانتومی نسبیتی، جستجو کنیم. بهتر است بگوییم قانون تقارن تابع موج از دل مکانیک کوانتومی نسبیتی، بیرون آمده است.

به طور کلی چهار فاکتور ناوردایی لورنتس، انرژی های مثبت، نرم های مثبت و علیت در کنار هم ثابت می کنند که ذرات با اسپین صحیح از آمار بوز-اینشتین (پادمتقارن بودن تابع موج) و ذراتی با اسپین نیمه صحیح از آمار فرمی-دیراک (متقارن بودن تابع موج) پیروی می کنند.

در واقع، فرمیون ها محکوم به داشتن تابع موج پادمتقارن هستند، زیرا در غیر اینصورت، بی نهایت تراز انرژی منفی وجود خواهد داشت که به چالش انرژی منفی شهرت دارد

داستان تقارن تابع موج ، فرمیون و بوزون

پرده ی چهارم: یک تفاوت کوچک، اما طوفانی!

باید خوشحال باشیم که دنیای ما از دو نوع ذره ی فرمیون و بوزون ساخته شده است، زیرا در غیر اینصورت نه ماده ای وجود داشت، نه کهکشانی و نه انسانی. تمام نظمی که در شیمی مشاهده می شود، نتیجه ی مستقیمی از این واقعیت است که الکترون یک فرمیون است!

از آنجایی که الکترون ها، فرمیون هستند، پس باید تابع موج پادمتقارن داشته باشند و این بدان معناست که شما نمی توانید دو الکترون را در یک حالت یکسان قرار دهید.

وقتی در طول جدول تناوبی حرکت می کنیم و از یک عنصر به عنصر بعدی می رویم، یک الکترون (و البته یک پروتون)، اضافه می شود، اما نکته اینجاست که به دلیل فرمیون بودن الکترون، نمی توانید آن را در همان مکان اشغال شده ی عنصر قبلی قرار دهید.

به این ترتیب است که الکترون های عناصر سنگین تر، در ترازهای بالاتری قرار خواهند گرفت.

اگر الکترون ها، بوزون بودند، خیلی خوشحال در پایین ترین انرژی، دورهمی می گرفتند و نتیجه ی فاجعه بار آن بود که تمام مواد، مانند هیدروژن رفتار می کردند!

در این قسمت، سه مفهوم بسیار مهم تقارن تابع موج ، فرمیون و بوزون را با زبانی ساده بررسی کردیم، اما پشت این مفاهیم شگفت انگیز، اقیانوسی از ریاضیات زیبا و البته پیچیده وجود دارد که حاصل تلاش دانشمندان بزرگ و جسور است.

اگر این قسمت را خوب درک کرده باشید، باید یادتان باشد کائنات را حتما با عینک تقارن نگاه کنید، زیرا بدون این عینک، اصلا چیزی برای نگاه کردن وجود ندارد