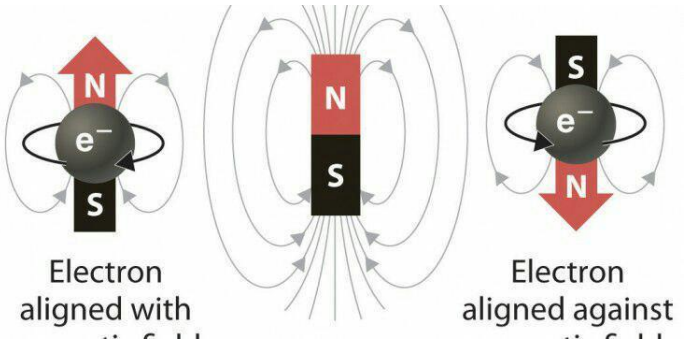
کوانتوم به زبان آدمیزاد قسمت پنجم

درصد کمی از مواد، دارای اتم های هم جهت بوده و بنابراین میدان های مغناطیسی یکدیگر را تقویت کرده و در نهایت، رفتار مغناطیسی از خود بروز می دهند. به دو دلیل بالا، مواد مغناطیسی بسیار کمیاب هستند.




تصور شماره (۲)

منظور از اسپین کوانتومی ذرات زیراتمی مانند الکترون و پروتون، دقیقا چیست؟

مورتون تاول؛ استاد فیزیک کالج واسر نیویورک:

زمانیکه ذرات بنیادی در یک میدان مغناطیسی حرکت می کنند، مانند آهنرباهای کوچک رفتار کرده و در واقع منحرف می شوند. در دنیای کلاسیکی، یک شی باردار و در حال چرخش، ویژگی های مغناطیسی دارد که بسیار شبیه به همین ویژگی های ذرات بنیادی است.

از آنجایی که فیزیکدانان، شباهت ها را دوست دارند، این ویژگی ذرات بنیادی را نیز به صورت چرخش آنها توصیف می کنند. متاسفانه، این شباهت محکوم به شکست است و ما در واقع نمی توانیم الکترون را به صورت یک ذره ی در حال چرخش، تصور کنیم.

آزمایش ها نشان می دهند الکترون به وسیله ی میدان های مغناطیسی، منحرف می شود.

اگر در مورد چرخش الکترون به دور خودش، پافشاری کنیم، یک تناقض به وجود می آید: برخلاف پرتاب یک توپ نرم بیسبال، اسپین یا چرخش یک الکترون، هرگز تغییر نمی کند و تنها دو جهت ممکن دارد.

از طرفی با توجه به قواعد مکانیک کوانتومی، نمی توان مدعی شد که الکترون ها و پروتون ها، اشیای صلب و سفتی هستند.

کورت باخمن استاد کالج بیرمنگام جنوبی:

با شروع دهه ی ۱۹۲۰ میلادی، «اوتو اشترن» و «والتر گرلاخ» از دانشگاه هامبورگ در آلمان، مجموعه ای از آزمایش های پرتوی اتمی را انجام دادند.

با علم به اینکه همه ی بارهای در حال حرکت، میدان های مغناطیسی تولید می کنند، آنها تصمیم گرفتند تا این میدان های مغناطیسی تولید شده توسط الکترون ها را اندازه گیری کنند. این دو فیزیکدان دریافتند که اگر الکترون ها، به سرعت به دور خود بچرخند، میدان های مغناطیسی کوچکی مستقل از میدان های حاصله از حرکت اروبیتالی شان، تولید می شود.

در نتیجه، واژه ی اسپین (به معنای چرخش) برای توصیف این چرخش واضح حرکت های زیراتمی استفاده شد.

اسپین کوانتومی ، یک کمیت فیزیکی عجیب و غریب است.

اگرچه برخی افراد، این کمیت را به چرخش سیاره ای تشبیه می کنند، اما بر اساس اندازه های شناخته شده ی ذرات زیراتمی، این ذرات باردار برای تولید اندازه حرکت های مغناطیسی قابل اندازه گیری، باید سریع تر از سرعت نور حرکت کنند.

از طرفی، اسپین، کوانتیزه یا دارای مقادیر گسسته است، یعنی تنها اسپین های خاصی، مجاز هستند.

این عوامل باعث می شود تا اسپین کوانتومی ، یکی از چالش برانگیزترین جنبه های مکانیک کوانتومی به شمار رود.

با یک نگاه جامع تر درمی یابیم که اسپین یک ویژگی ضروری و بسیار تاثیرگذار بر الکترون ها و هسته ها در اتم ها و ملکول هاست و دنیای شیمی و فیزیک حالت جامد را می سازد.
اسپین، بخش ضروری تمام برهمکنش های میان ذرات زیراتمی در پرتوهای ذرات با انرژی بسیار بالا و سیالات با دمای پایین است.
بسیاری از فرآیندهای فیزیکی، از محدوده ی کوچکترین مقیاس های هسته ای تا بزرگترین فواصل اخترفیزیکی به برهمکنش های ذرات زیراتمی و اسپین های آنها بستگی دارد.
ویکتور استنگر، استاد فیزیک دانشگاه هاوایی:
در فیزیک کلاسیکی، اندازه حرکت زاویه ای، یک متغیر پیوسته است.
در حالیکه در مکانیک کوانتومی، اندازه حرکت های زاویه ای، گسسته بوده و به صورت واحدهایی از ثابت پلانک تقسیم بر ۴ پی، بسته بندی شده اند.
نیلز بور در سال ۱۹۱۳ پیشنهاد کرد که اندازه حرکت زاویه ای، کوانتیزه شود و از این پیشنهاد برای توضیح و تفسیر طیف هیدروژن استفاده کرد.
دانش کنونی ما می گوید ذرات بنیادی شامل کوارک ها، لپتون ها (مانند الکترون) و بوزون ها (مانند فوتون) هستند.
این ذرات، همگی به صورت شبه نقطه ای فرض می شوند، بنابراین ممکن است از اینکه چگونه آنها می چرخند (یا به اصطلاح اسپین دارند) متعجب شوید.
یک پاسخ ساده این است که شاید آنها هم از چیزی تشکیل شده باشند و به اصطلاح بنیادی نباشند.
اما دلایل نظری عمیق تری ما را ملزم می کنند تا برای آنها، اسپین قائل شویم.
نکته ی قابل توجه به تفاوت بین فرمیون ها، (ذرات با اسپین نیمه صحیح) و بوزون ها (ذرات با اسپین صحیح) برمی گردد.
فرمیون ها از اصل طرد پائولی پیروی می کنند که بیان می کند دو فرمیون یکسان، نمی توانند در حالت کوانتومی یکسانی قرار بگیرند.
بدون توجه به اصل طرد پائولی، شیمی هرگز جدول تناوبی نداشت!
از طرف دیگر، بوزون ها تمایل دارند تا در یک حالت کوانتومی یکسان، جمع شوند که منجر به پدیده هایی مانند ابررسانایی و حالت چگال بوز-اینشتین می شود.
توضیحات بالا، مفهوم بسیار مهم اسپین را به صورت کیفی توصیف می کنند، این در حالیست که ریاضیات پیچیده ای در پس پرده ی این مفهوم عجیب و غریب وجود دارد که در آینده به آن خواهیم پرداخت.
داستان تقارن تابع موج ، فرمیون و بوزون
پرده ی اول: تقارن تابع موج
وقتی اشیای دنیای ماکروسکوپی را توصیف می کنیم، اغلب از کلماتی مانند "یکسان" یا "همان" استفاده می کنیم. مثلا می توانیم ادعا کنیم که دو گوشی آیفون ۶ اس، یکسان هستند. اما این فقط یک نگاه خام است!
اگرچه در نگاه اول، هیچ تفاوتی بین این دو گوشی، احساس نمی کنیم، اما آنها واقعا یکسان نیستند و در مقیاس ملکولی با یکدیگر تفاوت دارند.
از طرفی، در دنیای ماکروسکوپی، می توانیم این دو گوشی به اصطلاح یکسان را از یکدیگر تفکیک کنیم، مثلا می توانیم یکی را با رنگ آبی و دیگری را با رنگ قرمز، علامت گذاری کنیم. اما در جهان میکروسکوپی، کلمات "همسان" یا "قابل تشخیص"، معنای کاملا متفاوتی دارند.
هر دو ذره ی کوانتومی (مانند الکترون، پروتون، فوتون و ...) کاملا با یکدیگر یکسان هستند و هیچ راهی برای جدا کردن و تفکیک آنها وجود ندارد، چرا که در این مورد، نمی توانیم، یکی را علامتگذاری کنیم.
در واقع، علامت گذاری یک الکترون با رنگ های متفاوت، غیرممکن است، زیرا در جهان کوانتومی، حتی رنگ هم معنی ندارد!

اجازه دهید برای درک بهتر این موضوع، به سراغ توپ های رنگی دوران کودکی برویم.
فرض کنید یک توپ آبی و یک توپ قرمز و دو سبد دارید و میخواهید آنها را در دو سبد توزیع کنید.
چند راه برای توزیع آنها، وجود دارد؟
شکل زیر، چهار حالت ممکن برای توزیع دو توپ در دو سبد را نشان می دهد.
تقارن تابع موج : طبق شکل بالا، با احتمال ۵۰ درصد، دو توپ را درکنار هم در یک سبد خواهید دید (۲۵ درصد دو توپ در سبد سمت راست و به احتمال ۲۵ درصد هر دو توپ در سبد سمت چپ) و به احتمال ۵۰ درصد هم دو توپ در سبدهای جداگانه خواهند بود (۲۵ درصد توپ قرمز در سبد سمت راست و به احتمال ۲۵ درصد توپ قرمز در سبد سمت چپ.(
اما صبر کنید!
این ها فقط توپ های ماکروسکوپی هستند در حالیکه ما درباره ی ذرات کوانتومی صحبت می کنیم، پس اجازه دهید، داستان را با توپ های کوانتومی ادامه دهیم.
توپ های کوانتومی می توانند در یک برهم نهی از حالت های کوانتومی قرار داشته باشند. حالا دوباره فرض کنید میخواهیم دو توپ را در دو سبد توزیع کنیم.
باز هم با چهار حالت به شکل زیر مواجه می شویم:
تقارن تابع موجهمانطور که در بالا اشاره کردیم، ذرات یا توپ های کوانتومی، مانند یکدیگر هستند و هیچ راهی برای برچسب گذاری آنها وجود ندارد.
بنابراین صحبت از توپ قرمز یا آبی بی معناست.
در شکل بالا هم، فقط برای درک بهتر روش های توزیع، رنگ ها را همچنان حفظ کرده ایم. در اینجا باز هم با چهار حالت، مواجه هستیم که در دو مورد آن، هر دو توپ در یک سبد و در دو مورد دیگر، هر یک از توپ ها در یک سبد جداگانه قرار گرفته اند.
در موردی که هر دو توپ در یک سبد قرار میگیرند (نیمه ی بالایی شکل)، مسئله ی دشواری وجود ندارد.
اما زمانیکه توپ ها در سبدهای جداگانه قرار می گیرند، قضیه کمی پیچیده تر می شود چرا که توپ ها می توانند در یک برهم نهی قرار بگیرند.
همانطور که در نیمه پایینی شکل هم دیده می شود، یک توزیع، حالتی است که توپ آبی در سبد راست به اضافه ی زمانیکه در سبد چپ قرار بگیرد.
توزیع بعدی مربوط به تفریق همین دو حالت است.
اگرچه علامت منفی، کمی عجیب به نظر می رسد، اما یادتان باشد چهار حالت بالا، فقط توزیع های احتمال هستند و ما برای بدست آوردن احتمال، باید آن ها را به توان دو برسانیم، بنابراین در نهایت علامت منفی در احتمال ها وجود نخواهد داشت و این همان نکته ای که همیشه در مورد احتمال ها می دانستیم: احتمال ها همیشه مثبت هستند.

@newsNASA
کانال نیوز ناسا