کوانتوم به زبان آدمیزاد قسمت سوم

هر پدیده ی به نظر تصادفی در جهان ماکرو، مثلاً پرتاب یک تاس، کاملاً معلوم و معین است.

در واقع پدیده هایی که ما آنها را تصادفی می نامیم، تنها به دلیل دانش ناکافی ما از سیستم آنها، تصادفی به نظر می رسند.

در مورد پرتاب تاس روی یک سطح، عدم اطلاع ما از ارتفاع تاس روی سطح، سرعت چرخش تاس، جرم تاس، زبری سطح و عوامل دیگر باعث می شود تا ما آن را یک عمل کاملاً تصادفی فرض کنیم!

با جمع بندی مطالب بالا به این نتیجه میرسیم که در مکانیک کوانتوم، به جای سوال "ذره کجا قرار دارد؟

"باید این سوال را بپرسیم: "احتمال یافتن یک ذره در یک مکان معین چیست؟ "

در قسمت بعد، به سراغ یکی از موضوعات جنجالی و البته فلسفی، یعنی تفسیرهای مکانیک کوانتومی خواهیم رفت .

اصل عدم قطعیت هایزنبرگ

معرفی اصل عدم قطعیت

در سال ۱۹۲۷ جوان نابغه ای به نام ورنر هایزنبرگ برای اولین بار، پای اصل عدم قطعیت را به فیزیک باز کرد.

ابتدا این اصل را با یک جمله ی ساده تعریف کرده و سپس به سراغ توضیح مفصل آن می روم.

اصل عدم قطعیت یک واقعیت بسیار مهم را به شما گوشزد می کند:

طبیعت، به شما اجازه نمی دهد همه چیز را به صورت یکجا در موردش بدانید، اما موضوع جالب تر هم می شود اگر بدانید طبیعت حتی خودش هم در مورد خودش، همه چیز را یکجا نمی داند!!

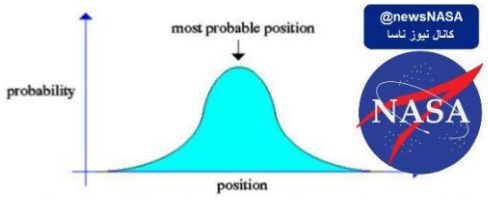
این یعنی اصل عدم قطعیت به زبان ساده. حال اجازه دهید با یک آزمایش ساده، آن را کمی روشن تر کنیم.

فرض کنید یک تفنگ الکترونی داریم که به وسیله ی آن، الکترون ها را از درون یک شکاف کوچک شلیک می کنیم.

در پشت شکاف و در فاصله ی معینی، یک صفحه ی آشکارسازی وجود دارد.

در واقع این صفحه مکان الکترون هایی که از شکاف عبور می کنند را مشخص می کند.

اگر از کلاس درس قبلی یادتان باشد، به دلیل اصل برهم نهی، نمی توانیم مکان برخورد هر الکترون به صفحه آشکارساز را پیش بینی کنیم. اما اگر تابع موج آن را بدانیم، می توانیم احتمال فرود الکترون در یک مکان خاص روی صفحه را محاسبه کنیم.



تصویره (۱)

تابع احتمال کوانتومی- محتمل ترین مکان ذره در شکل مشخص شده است

تصویره (۲) $|\psi\rangle = |\text{سرعت ۱}\rangle + |\text{سرعت ۲}\rangle$

تصویره (۳) $|\psi\rangle = \sqrt{\frac{3}{4}}\,|\text{سرعت ۱}\rangle + \sqrt{\frac{1}{4}}\,|\text{سرعت ۲}\rangle$

تصویر شماره (۱)

حالا بیایید شکاف را اندک اندک، کوچک تر کنیم .

همه ی ما انتظار داریم که در اثر این کوچکترکردن، الکترون ها هم بخش باریک تری از صفحه ی آشکارسازی را اشغال کنند.

در ابتدا، حدس ما درست است و الکترون ها قطعاً بخش باریک تر از صفحه ی آشکارسازی را اشغال می کنند.

اما با کوچکتر شدن شکاف و گذشتن از یک مقدار مشخص، نتیجه کاملاً برعکس می شود، یعنی الکترون ها شروع به پخش شدن می کنند!

انگار سروکله ی عدم قطعیت پیدا شده است.

تصویر شماره (۲)

اصل عدم قطعیت، بیان می کند که جفت هایی از ویژگی های فیزیکی وجود دارند که نمی توان مقدار دقیق آنها را به طور همزمان بدست آورد.

مشهورترین جفت، اندازه حرکت و مکان هستند.

اندازه حرکت یا تکانه، حاصلضرب سرعت در جرم است. البته در مورد تکانه، تعریف فیزیکی کاملاً سرراستی وجود ندارد، اما می توان آن را به معنای "شوق حرکت یک شی" دانست. اصل عدم قطعیت می گوید، هرگاه شما یکی از این دو ویژگی را (مکان یا اندازه حرکت) به دقت اندازه گیری کنید، در مورد ویژگی دیگر، دچار بی دقتی خواهید شد.

یعنی اگر مکان یک ذره را به صورت کاملاً دقیق اندازه گیری کنید، بی دقتی زیادی در اندازه حرکت به وجود خواهد آمد.

پس نمی توانید مقدار دقیق هر دو ویژگی را به طور همزمان در اختیار داشته باشید.

اگر یکی از آنها را دقیق تر اندازه بگیریم، عدم قطعیت یا نادقیقی در دیگری بیشتر می شود. جفت ویژگی معروف دیگر، زمان و انرژی هستند و تمام موارد بالا برای این دو کمیت نیز صادق است.

اجازه دهید دوباره به آزمایش بالا بازگردیم. اگر شکاف را باریک تر کنیم، عدم قطعیت در مورد مکان الکترون ها، کاهش می یابد، اما عدم قطعیت اندازه حرکت آنها افزایش یافته و در نتیجه محدوده ی بزرگتری از صفحه ی آشکارساز را اشغال کرده و به اصطلاح پخش می شوند.

کمی کمّی تر!

شکل ریاضی اصل عدم قطعیت در مورد جفت اندازه حرکت و مکان و همچنین جفت انرژی و زمان یک ذره به صورت زیر بیان می شود:

تصویر شماره (۳)

بنابراین حاصلضرب دو ویژگی مورد نظر، همیشه مساوی یا بزرگتر از مقدار ثابت پلانک کاهش یافته تقسیم بر دو است.

شاید بپرسید این روابط چگونه به وجود آمده اند؟

به بیان ساده، این روابط حاصل یک اصل عمومی تر در مکانیک کوانتومی هستند و آن، جابه جایی ناپذیری اپراتورهاست.

برای پاسخ دادن به این سوال باید ریشه های ریاضی پیدایش اصل عدم قطعیت هایزنبرگ را بررسی کنیم که این کار را در کلاس های درس تخصصی کوانتوم انجام خواهیم داد.

ریشه ی فیزیکی پیدایش اصل عدم قطعیت

اگر بخواهیم ریشه ی فیزیکی اصل عدم قطعیت را توضیح دهیم، فقط یک انتخاب داریم:

)دوگانگی موج-ذره(

برای روشن تر شدن موضوع، باید به تفاوت بین موج و ذره توجه کنیم.

در واقع یک ذره، در یک مکان مشخص قرار دارد، در حالیکه موج یک موجود پخش شده در فضاست و محدوده ای از مکان ها را دربر می گیرد.

اندازه حرکت یک ذره، محدوده ای از مقادیر را دارد، در حالیکه اندازه حرکت یک موج، کاملاً دقیق و معلوم است.

حالا یک موجود چطور می تواند به طور همزمان این دو ویژگی (موج و ذره بودن) را داشته باشد؟ پاسخ مشخص است!

یک چیز، هیچ وقت نمی تواند به طور کامل موج یا ذره باشد، بلکه باید مخلوطی از این دو باشد. به همین دلیل است که اصل عدم قطعیت پدیدار می شود.

در واقع در دو معادله ی ذکر شده در بالا، مکان (x) مربوط به خاصیت ذره بودن و اندازه حرکت (p) مربوط به خاصیت موج بودن است.

شما نمی توانید یک موج خالص (دقیق ترین (x و یک ذره ی خالص (دقیق ترین (p را به طور همزمان داشته باشید!

یک اشتباه بنیادی

برخی از افراد برای توضیح اصل عدم قطعیت، یک اشتباه بنیادی را مرتکب می شوند.

آنها اصل عدم قطعیت را اغلب با اثر ناظر اشتباه می گیرند.

اثر ناظر یا مشاهده گر، پدیده ای است که در اثر مشاهده ی سیستم کوانتومی یا به عبارت بهتر، اندازه گیری آن، به وجود می آید.

یعنی زمانیکه یک سیستم کوانتومی، مورد اندازه گیری قرار می گیرد،دچار اختلال شده و در نتیجه حالت اصلی آن (قبل از اندازه گیری) تغییر می کند.

در واقع اثر ناظر، نتیجه ی اصل برهم نهی است.

استدلال اشتباه افراد (از جمله خود هایزنبرگ(!!

این بود که با نگاه کردن به سیستم، فوتون های نوری به الکترون ها برخورد کرده و مکان آنها را تغییر می دهند، در نتیجه اندازه گیری ما باعث به وجود آمدن عدم قطعیت می شود.

اما این پدیده، هیچ ربطی اصل عدم قطعیت ندارد، زیرا عدم قطعیت در مورد مکان و اندازه حرکت یک ذره ی کوانتومی، همیشه و بدون توجه به حضور یک ناظر یا مشاهده گر رخ می دهد.

پس یادمان نرود عدم قطعیت یک ویژگی ذاتی طبیعت بوده و در تاروپود آن تنیده شده است!