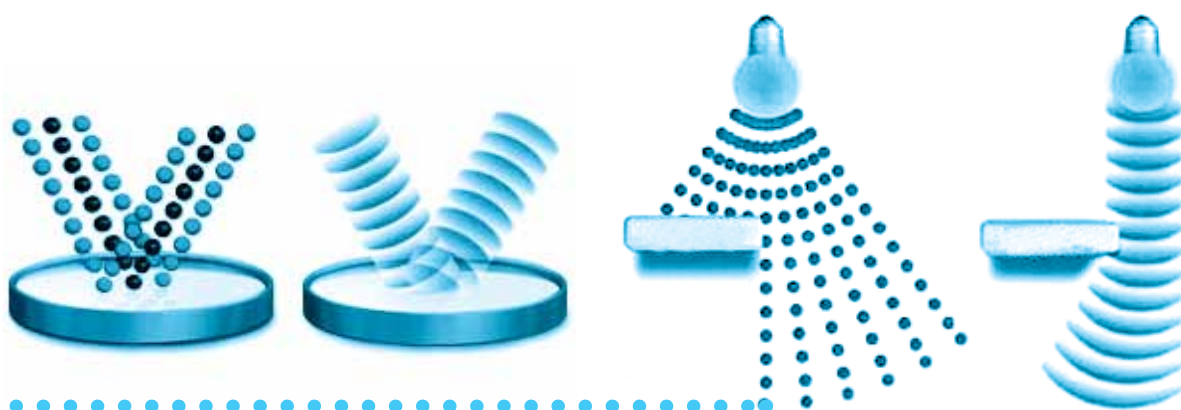




دوگانگی موج-ذره کلید درک دنیای کوانتوم



**«اگر کسی پس از خواندن نظریه کوانتوم دچار شوک نشود،
آن را درک نکرده است.» نیلز بور**

اشکان کریمی

چکیده

یکی از موضوع‌های چالش برانگیز که همواره درک و فهم کامل آن دشوار بوده است، خصلت دوگانه موجی - ذره‌ای نور است. از آنجا که این مطلب، اساس و پایه علم کوانتوم به‌شمار می‌رود، درک عمیق آن کمک شایانی به فهم مبانی کوانتوم می‌کند. در این مقاله، به‌صورت مفهومی این خصلت دوگانه را مورد بررسی قرار داده، مروری بر آن خواهیم داشت.

کلیدواژه‌ها

نور، الکترون، خصلت موجی و ذره‌ای

مقدمه

طی چند دهه، از حدود ۱۸۹۰ تا ۱۹۳۰، انقلابی در نحوه نگرش به ساختار ماده صورت گرفت و سبب شد شواهد و دلایل نو، در تعارض با مدل‌های دیرینه قرار گیرد. سیر پیشرفت‌ها همه را به بازنگری کامل در تصویر کلاسیک ماده و انرژی واداشت که در جهان ماکروسکوپی، از هم متمایزند؛ ماده به‌صورت تکه و قطعه وجود دارد و دارای جرم است، در حالی که انرژی فاقد جرم بوده، کمیت آن به‌صورت پیوسته تغییر می‌کند. به‌هر حال در ابعاد میکروسکوپی نمی‌توان دقیقاً یکی از دو خصلت را به ذره‌ها نسبت داد. در این مقاله نخست، ماهیت نور را مورد بررسی قرار می‌دهیم، سپس بر مبنای آن به ماهیت ذره‌های درون اتم می‌پردازیم.

شکل ۲

کوانتوم صحبت می‌شود منظور موج احتمال است که احتمال یافتن یک الکترون را در گستره خاصی از فضا بیان می‌کند.

اما سرانجام چه باید کرد؟ الکترون را باید موج دانست یا ذره؟ آزمایش ساده‌ای وجود دارد که نقش تعیین کننده‌ای در پیدایش نظریه عدم قطعیت هایزنبرگ داشته است. فرض کنید بخواهیم جریان باریکی از الکترون داشته باشیم. به این منظور یک منبع الکترون را پشت صفحه‌ای که سوراخی به اندازه یک سکه دارد قرار می‌دهیم. جریان الکترون وقتی از این سوراخ می‌گذرد، در پشت پرده نواری دایره‌ای از اثر الکترون، به قطر سوراخ موجود در صفحه به وجود خواهد آورد. یعنی الکترون‌ها به صورت خطی صاف از سوراخ صفحه گذشته و به پرده رسیده‌اند. این حرکت مستقیم به دلیل رفتار ذره‌ای الکترون است. حال اگر این سوراخ را در حد اندازه‌های اتمی بسیار بسیار تنگ کنیم، مشاهده خواهیم کرد که برعکس آنچه انتظار داریم، با تنگ‌تر شدن سوراخ، نوار الکترونی پهن‌تر می‌شود. این پراکندگی خلاف انتظار، به دلیل رفتار موجی الکترون است. این آزمایش در مورد هر ذره دیگر مانند نور، نوترون، پروتون و... نیز صدق می‌کند. هایزنبرگ بر مبنای همین مشاهده - که هر قدر دریچه را تنگ‌تر کنیم تا موقعیت یا مکان الکترون مشخص‌تر شود، جهت حرکت الکترون مبهم‌تر و نامشخص‌تر می‌شود (زیرا دیگر حرکت مستقیم وجود ندارد) - اصل عدم قطعیت را ارائه کرد: هرچه اطلاعات ما در مورد مکان یک ذره بیشتر شود، در مورد اندازه حرکت آن کمتر خواهیم دانست. بدیهی است که اصل عدم قطعیت در مورد اجسام با ابعاد ماکروسکوپی بسیار بسیار ناچیز، صادق است. در اصل، این ثابت پلانک است که اندازه همه پیامدهای کوانتومی را نشان می‌دهد.

اساس خصلت دوگانه موجی - ذره‌ای

نخستین و ساده‌ترین نتیجه‌گیری از بحث‌های یادشده این بود که فیزیکدان‌ها احساس کردند فیزیک در هرج و مرجی کامل است. بنابراین در اکتبر ۱۹۲۷، کنفرانس سولوای با حضور بیش از سی تن از فیزیکدانان مشهور آن زمان برای تصمیم‌گیری نهایی تشکیل شد. «ظاهراً به نظر می‌رسد که هیچ چاره‌ای نیست مگر آنکه الکترون را هم موج و هم ذره بدانیم. یعنی الکترون هم می‌تواند رفتار ذره‌گونه و هم موج‌گونه از خود نشان دهد.» این جمله‌ای بود که بور در کنفرانس بیان کرد و آن را نظریه مکمل نامید، بدین معنی که یک الکترون هم ذره است و هم موج و یکی بدون دیگری بی‌معنی است. این درست مانند فرایند تنفس است که وقتی معنی می‌یابد که هم دم و هم بازدم را در نظر بگیریم.

برای توصیف موارد میکروسکوپی همچون الکترون‌ها، نمی‌توان مفاهیمی را به کار گرفت که از تجربه در دنیای ماکروسکوپی توسعه می‌یابند

بور وارد کرد این پرسش بود که چگونه الکترون می‌تواند از مداری به مدار دیگر جهش کند در حالی که هیچ‌گاه نمی‌تواند انرژی بین انرژی‌های آن دو مدار داشته باشد؟ همچنین بعدها با کشف اوربیتال‌های اتمی، نقاطی یافته شد که مجذور تابع موجی الکترون در آن نقاط برابر صفر می‌شود، یعنی احتمال حضور الکترون در آن نقاط که به گره موسوم هستند برابر صفر است. برای نمونه، الکترون در اوربیتال p می‌تواند از یک لوپ به لوپ دیگر حرکت کند ولی هیچگاه نمی‌تواند از صفحه مرزی دو لوپ بگذرد درست مانند حشره‌ای که می‌تواند از یک سوی اتاق به سوی دیگر رود با این تفاوت که از صفحه‌ای که در وسط اتاق بین زمین و سقف قرار گرفته است نمی‌تواند گذر کند و این مسئله، مشکلی اساسی به شمار می‌رفت.

در اوایل سال ۱۹۲۰ یک دانشجوی فیزیک فرانسوی به نام لوئی دوبروی - که هم از مدل اتمی بور اطلاع کامل داشت و هم از نظریه موجی یانگ، و از نظریه ذره‌ای اینشتین نیز باخبر بود و به نظرش جالب می‌آمد که ذره نور، موج نیز باشد - ناگهان به ذهنش خطور کرد که چرا نباید ذره‌های دیگر هم، یک مشخصه موجی داشته باشند؟ پس از مدت‌ها محاسبه و مطالعه او توانست طول موجی را به الکترون نسبت دهد. موفقیتی که نظریه دوبروی در پی داشت این بود که به خوبی با مسئله وجود گره سازگار بود. به این صورت که الکترون می‌تواند گاهی رفتار موجی از خود نشان دهد و بدون گذر از گره، حرکت کند؛ مانند ارتعاش‌های یک سیم گیتار هنگامی که انگشت خود را در جای ویژه‌ای از سیم قرار داده‌ایم.

در اینجا لازم به نظر می‌رسد، قدری در مورد خصلت موجی الکترون توضیح داده شود. مقصود از خاصیت موجی الکترون این نیست که می‌توان در گستره‌ای از فضا به دنبال آن بود. در واقع، موج کوانتوم، موج مادی و فیزیکی نیست؛ بلکه عبارت است از موج اطلاعات و آگاهی. به عبارت دیگر وقتی در مورد موج



از دیدگاه فیزیک کوانتومی، تا زمانی که بیننده‌ای وجود نداشته باشد واقعیتی هم وجود ندارد

در اینجا بود که اینشتین جمله معروف خود را بر زبان راند: «من به نظم کامل جهان اعتقاد دارم و شما به خدایی که تاس بازی می‌کند!»

پیش از ادامه بحث به این نمونه توجه کنید:

خوب می‌دانیم که وضع یک کلاس در غیاب معلم چگونه است؛ در یک گوشه دو دانش‌آموز با هم شوخی می‌کنند، در گوشه دیگر کسی نقاشی می‌کشد، یکی آواز می‌خواند، چند نفر مشغول مطالعه‌اند و... این نمونه‌ای از رویدادهای واقعی کلاس در غیاب معلم است. حال اگر معلمی بخواهد این واقعیت را مشاهده کند، آیا همان چیزی را خواهد دید که واقعاً روی می‌دهد؟ بدیهی است که به محض ورود معلم به کلاس، همه دانش‌آموزان ساکت خواهند شد. از نظر معلم دنیای کلاس، یک دنیای ساکت است و حال آنکه چنین نیست.

به‌همین ترتیب می‌توان گفت اینکه الکترون کدام یک از دو رفتار موجی یا ذره‌ای را از خود نشان دهد، بستگی به اندازه سوراخی دارد که در مقابل آن است؛ سوراخی در ابعاد ماکروسکوپی یا در ابعاد ماکروسکوپی. در واقع، رفتار الکترون بستگی به بیننده دارد و اینکه چه آزمایش یا مشاهده‌ای توسط وی انجام می‌گیرد. بیننده حالت شبح گونه ذره - موج الکترون را یا به حالت واقعی ذره تبدیل می‌کند مانند تجربه تامسون هنگام مشاهده پرتوی کاتدی، یا مانند عملکرد موج الکترون، آن را موج می‌داند. در پاسخ به اینکه واقعیت و ماهیت الکترون چیست، باید نخست توضیح دهیم که واقعیت کدام است. از دیدگاه فیزیک کوانتومی، تا زمانی که بیننده‌ای وجود نداشته باشد واقعیتی هم وجود ندارد. در واقع، برخلاف فیزیک کلاسیک که واقعیت‌ها را مستقل از ما می‌داند، فیزیک کوانتومی ارتباط تنگاتنگی را میان ما و واقعیت‌ها تعریف می‌کند. واقعیتی که ما تجربه می‌کنیم همان چیزی است که خودمان از مجموعه دوگانه مکمل انتخاب می‌کنیم. در مورد ماهیت الکترون به‌راستی نمی‌توان نظری داد زیرا هرچه بگوییم مانند معلمی

است که تنها از وضعیت کلاس در هنگام حضور خود آگاه است. تنها می‌توان گفت در برخی شرایط تجربی، الکترون مانند یک ذره رفتار می‌کند و در شرایطی دیگر، رفتاری مانند موج دارد. به‌رحال الکترون نه یک ذره است و نه یک موج؛ چیزی است که نمی‌تواند به‌طور کامل، برحسب مدلی قابل تجسم توصیف شود زیرا برای توصیف موارد میکروسکوپی همچون الکترون‌ها، نمی‌توان مفاهیمی را به‌کار گرفت که از تجربه در دنیای ماکروسکوپی توسعه می‌یابند. در واقع، زبان توصیفی ما دقیق نبوده، حوزه کاربردی آن به دنیای نیوتونی محدود می‌شود. به دیگر سخن، مرز مشخص میان ماده و انرژی، آن‌گونه که در فکر و تعریف‌های محدود ما وجود دارد، در ذات و فطرت طبیعت نمی‌گنجد.

شاید آنچه گفته شد از دیدگاه کسانی که به حضور اجسام با اندازه‌های ماکروسکوپی در اطرافشان عادت کرده‌اند، غیرقابل قبول به‌نظر برسد و مانند اینشتین لب به شکایت از هرج و مرج و بی‌قانونی در فیزیک کوانتوم باز کنند اما با وجود این رفتارهای دلخواهی ذره‌های بنیادی، فیزیک کوانتوم نشان می‌دهد که نظم بسیار خاصی بر جهان حاکم است، اما نه آن‌گونه که ما انتظار داریم و به آن عادت کرده‌ایم. نظریه کوانتوم، می‌تواند بیان شفافی باشد از سرشت متناقض نور و اتم‌ها و بسیاری چیزهای دیگر اما برای این شفافیت باید بهایی پرداخت. به‌رحال این انتظار بیهوده است که بتوانیم حرکت چیزهایی در اندازه‌های اتمی را همان‌گونه درک کنیم که اشیاء و پدیده‌ها را در زندگی روزمره درک می‌کنیم.

قدردانی

از زحمات بی‌دریغ و راهنمایی‌های گام‌به‌گام دکتر غلامرضا اسلامپور در تهیه و تنظیم مطالبی که از نظر گذشت، سپاس‌گزاری می‌شود.



1. The new quantum universe, T. Hey, P. Walters, 2003, 2th edition, pg: 23-73.
2. Quantum chemistry, I. Levine, prentice hall, 1991, 4th edition, pg: 1-5.
3. physical chemistry, I. Levine, McGraw-Hill, 2009, 6th edition, pg: 594-598.
4. The rise of scientific philosophy, H. Reichenbach, 1951, pg: 199-225.
5. Physics and beyond, encounters and conversation, W. Heisenberg, Tr. By A. J. Pomerans, Allen & Unwin, 1971, pg: 126-142.
6. principles of general chemistry, M. Silberberg, 2009, 5th edition, pg: 268-287.
7. understanding quantum physics, M.A. Morrison, 1990, pg: 20-34.