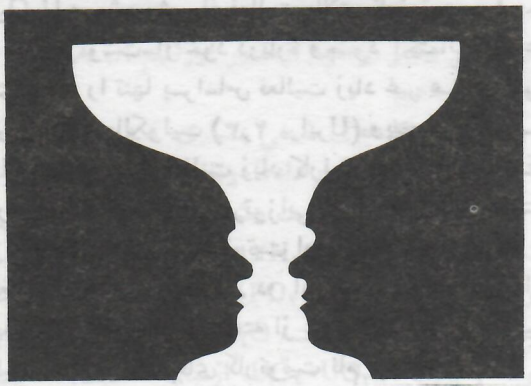
دوگانگی موج- ذره

آموزش از طریق یك استعارهٔ دیداری

ج. برنشتاین، س. س. شایك

جهان میکروسکوپی اتم مکانیك کوانتومی، در چشم دانشجویان تازه‌کار شیمی، بیگانه و درك‌ناپذیر می‌نماید. تدریس مفاهیمی نظیر اصل عدم‌قطعیت هایزنبرگ و دوگانگی موج-ذره، یك‌چالش واقعی است. یکی ازشیوه‌های رویارویی با این چالش، جستجوی استعاره‌های ماکروسکوپی است که رفتار میکروسکوپی جهان الکترونها و فوتونها را نمایش دهند. اخیراً، نمونه‌ای که با استفاده از یك پروژکتور ساده، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ را نشان می‌دهد، منتشر شده است. پس ازسالها تدریس شیمی‌عمومی به دانشجویان رشته‌های شیمی، مهندسی و علوم، استعاره‌ای دیداری (چشمی) یافته‌ایم که مفهوم دوگانگی موج-ذره را روشن می‌کند. این نوشتار به‌توصیف کاربرد این استعاره می‌پردازد.

تصویر ۱. زن جوان و عجوزهٔ پیر. بینی و چشم چپ عجوزهٔ پیر، به ترتیب، چانه و گوش چپ زن جوان است. گردنبند زن جوان دهان عجوزهٔ پیر را پدید آورده است. این کارتون به وسیلهٔ م. ا. هیل آفریده شده و نخستین بار در نشریهٔ *Puck* در سال ۱۹۱۵ با زیرنویس "همسر و مادرزن من" به چاپ رسیده است.

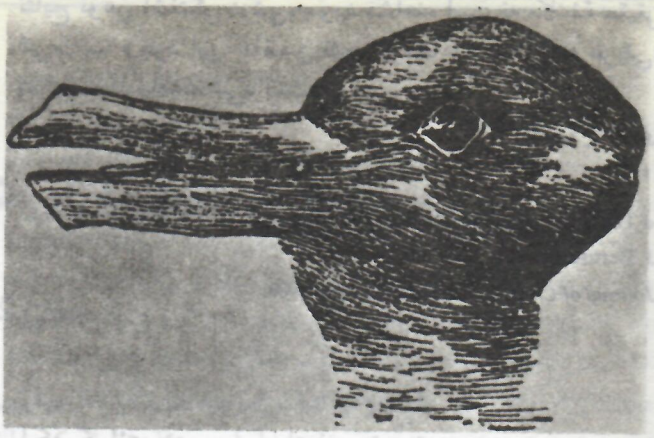


تصویر ۲. تصویر گیلاس‌پایه‌دار از طرح چهره‌های روبروی همدیگر پدید آمده‌است.

دشواری مفهوم دوگانگی آن است که یك الکترون، برای نمونه، رفتارهای شبه ذره و شبه موج، هر دو را نشان می‌دهد. این دو «چهره» الکترون ناسازگار (ناپیوستنی یا مانعة‌الجمع) است و در هیچ آزمایش یگانه‌ای نمی‌توان هردو رفتار شبه‌ذره و شبه‌موج را مشاهده کرد. الکترون، خصلت جکیل-هید* بروز می‌دهد، گاهی مانند یکی و گاهی مانند دیگری رفتار می‌کند، اما هیچ‌گاه دریك زمان مانند هردو نیست. با وجود این دو «چهره»، الکترون را نمی‌توان صراحتاً به صورت نیمی شبه موج و نیمی شبه ذره تعریف کرد. الکترون دارای «یکتایی» یا «واحدیت» (Oneness) است، درحالی‌که «چهره‌های» موج یا ذره آن نتیجهٔ آزمایشهای ما برای مشاهدهٔ این «یکتایی» است. بنابراین، ما با مشاهدهٔ الکترون، با آن برهم‌کنش کرده و «یکتایی» آن را به‌دو تجربهٔ متفاوت تقسیم می‌کنیم، که هیچ‌کدام ازآنها ماهیت حقیقی الکترون‌را بیان نمی‌کنند. بنابراین ما ضمن مشاهده، اختلال پدید می‌آوریم و نتیجهٔ دخالت ما در طبیعت اشیا، دوگانگی موج-ذره است.

درك این شیوهٔ جدید تفکر در بارهٔ رفتار و خواص ماده برای دانشجویان بسیار دشوار است. ازاین‌رو، برای تجسم این مفهوم

*شخصیتهای داستان ماجرای شگفت دکتر جکیل و آقای هید، نوشتهٔ استیونسن که‌دارای حالتهای متناوب شادی و ناشادی شبه شیزوفرنی هستند ـ م.



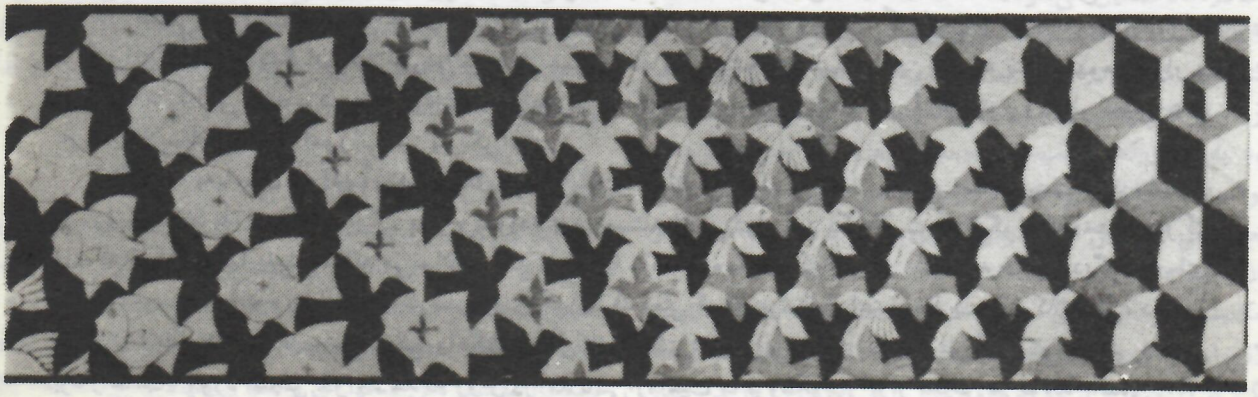
تصویر ۳. اردکی رو به چپ؛ خرگوشی رو به راست. این تصویر، نخستین بار در سال ۱۹۰۰ برای نمایش ابهام نموداری دوسویه (rival-schematic ambiguity) به وسیلهٔ روان‌شناسی به نام جوزف جسترو (Joseph Jastrow) به کار برده شد.

دوگانگی در جستجوی نوعی وسایل استعاری برآمدیم که الگوی ماکروسکوپی و بازتابی از واقعیت میکروسکوپی داشته باشد. روش انتخابی ما شامل استفاده ازیک‌سری تصویر براساس‌خطاهای بصری مشهور است (تصویرهای ۱ تا ۵ را ببینید). این مجموعه تصاویر، پیشتر، توسط فرد آتناوی روان‌شناس، در بحثی دربارهٔ پایداری‌چندگانهٔ ادراک حسی انسان به‌کاربرده شدند. ما، متوجه شدیم که این اثر ادراک حسی پایداری چندگانه، به صورتی شگفت‌آور، مفهوم دوگانگی کوانتوم را به‌دانشجویان می‌رساند. تصویرها پس از تدریس دوگانگی ذره-موج، به دانشجویان نشان داده می‌شوند. افزون براین، برای نمایش دیداری، با استفاده از اسلاید می‌توان دانشجویان را درچالش ذهنی این ایده‌های جدید، یاری کرد.

هریك ازاین تصویرها به‌دو راه قابل تفسیر است. برای‌نمونه، تصویر ۱، ادراك حسی بین عجوزه و زن جوان تقسیم شده‌است. خصیصهٔ بارز این تصویر (وسایرتصویرها) درآن است که دونقش، دونیمهٔ گنجانیده شده دریك‌نقاشی‌نمی‌باشند. هریك ازنقشها به‌نوبهٔ خود تمامی نقاشی را دربرمی گیرد. بنابراین نقاشی نشان داده شده در تصویر ۱، یکتایی می‌باشد وبا برهم کنش‌دیدار و ادراك

تصویر ۴. بخشی از تابلوی نقاشی سالوادور دالی (Salvador Dali) به نام «بازار برده‌فروشی با مجسمهٔ نیم تنهٔ در حال ناپدید شدن ولتر»، رنگ و روغن روی پارچه، ۱۹۴۰. مجسمهٔ نیم تنهٔ ولتر را از فاصلهٔ دور بهتر می‌توان دید.

حسی‌است که ما ازاین یکتایی دونقش‌مشاهده می کنیم. دانشجویان کلاس با دیدن این‌تصویرها درگیر بحث می‌شوند وبنا به‌تجربه‌ای که ما داریم، معمولاً[۴]، بین دو تفسیر ممکن و مانعةالجمع تقسیم می‌شوند. هنگامی که یك گروه تلاش می کند تا تفسیر خود را به گروه دیگر بقبولاند، بحثهای زنده (گاهی، در واقع، داغ) درمی گیرد. اثرهای مشابهی(با درجه‌های متفاوت) با تصویرهای



تصویر ۵. با یك سری تغییرات نسبتاً جزئی در برخی شکلها ممکن است تصویر از شکلی به شکل دیگر تغییر کند.

۲تا۵ نیز پدید می‌آید. تکرار این اثر با تصویرهای بیشتر سبب می‌شود تا مفهوم«یکتایی» هریك ازتصویرها، درست مانند یگانگی موجودیت‌الکترون، جا بیفتد. با پذیرش این‌یگانگی، دانشجویان درك می‌کنندکه در فرایند مشاهده و تفسیر تصویرها ـ برهم‌کنش دیدار و ادراك حسی ـ این«یکتایی» به‌دونقش مختلف و ناسازگار (مانعةالجمع) تقسیم می‌شود. بدین‌ترتیب، ازاین تمثیل دوگانگی ذره‌ـموج و ماهیت‌الکترون به‌سهولت درك خواهد شد و یك‌مفهوم بنیادی‌علوم فیزیکی روشن می‌شود: بدین‌معنی که نتایج‌آزمایشها، نتایج نوعی آشفتگی درشیء مورد مشاهده است نه مکاشفهٔ حقیقی شیء. با وجود این، دانستن نتیجه برمشاهدهٔ ممکن، به طریقی، هم‌ارز درك ماهیت شیء است.

ترجمهٔ ع. یاوری

● The Wave- Particle Duality (Teaching via a Visual Metaphor)
J. Bernstein and S. S. Shaik
Journal of Chemical Education. April 1988

نه موج، نه ذره، بلکه کوانتون

دربحث پیرامون جدلی که برسربنیادهای نظریهٔ کوانتوم، و به ویژه ماهیت فیزیکی موجودات کوانتومی، درگرفته است، ژان‌مادوکس نظرخودرا در مخالفت با نظر بور که امروزه دیدگاه‌کپنهاگ نامیده می‌شود، وچنان موجودی را یك‌ذره یایك‌موج می‌پندارد، وهمچنین بادیدگاه دوبروی که می گوید موجودکوانتومی هم‌ذره‌است و هم‌موج، مطرح می‌سازد. می‌توان گفت که ایده‌های بور زیرکانه (وتاحدی مبهم) بودند، اما بدون تردید، توصیف مادوکس در مقابله با دو دیدگاه ـ وتنها این‌دو ـ بامصداقهای کوانتومی گسترده‌ای مطابقت دارد.

جای شگفتی نیست که کاشفان جسوری که بیش از ۶۰ سال پیش برقارهٔ کوانتوم گام نهادند، هنگام روبرو شدن با ساکنان عجیب‌آن تلاش کردند تاآنها راباهمزادهای‌آشنا توصیف کنند. فیزیکدانان کلاسیك وجدیدتنها بادونوع‌موجود فیزیکی، یعنی ذره‌ها وموجها، آشنا بودند. چون موجودات عجیب‌کوانتومی رفتاری نشان می‌دادندکه گاهی یادآور ذره‌ها وگاهی یادآور موجها بود، گفتگو از آنها با اصطلاح کلاسیك و تحت پوشش فلسفی «دوگانگی موج ـ ذره»، غیرطبیعی نبود.

جهانگشایان اسپانیولی دربلندیهای آند درپرو باجانور پشمالو وپرطاقتی روبروشدندکه ازجهتی به‌گوسفند واز جهتی به‌شترشباهت داشت. آنان در دوگانگی شتر ـ گوسفند چندان درنگ نکردند و لغت محلی لاما را برای توصیف آن به‌کاربردند. همین‌طور، جویندگان طلا دراسترالیا نیزدوگانگی اردك ـ خرگوش‌را برای توصیف جانوری پشمالو، تخمگذار و نیمه‌آبزی با دم پهن و منقار اردك مانند، پلاتیپوس، به‌کار بردند. اما، علی‌رغم برخی شباهتها به‌زودی روشن شدکه اینها جانوران ویژه‌ای هستند.

اکنون به‌اندازهٔ کافی باموجودات‌کوانتومی آشنایی پیداکرده‌ایم. می‌دانیم که توصیفهای موج و ذره دیدگاههای جزئی به‌ما می‌دهند. زیرا، یك‌موج پیوسته و گسترده می‌باشد، و یك‌ذره گسسته و مستقر است، در حالی‌که موجودات کوانتومی گسسته‌و گسترده هستند. فقط درموارد بسیار ویژه‌ای، بیشتربرای‌نوع خاصی‌ازابزارتجربی، دوگانگی‌موج‌ـ ذره برای متقاعدکردن، کفایت می‌کند. برای درك اغلب آزمایشهای جدید، بایستی دستگاه تمام‌عیار نظریهٔ کوانتوم راکه بادوگانگی موج ـ ذره هیچ‌گونه ارتباطی ندارد به‌کارگیریم. حتی وضعیتهای تجربی نسبتاً ساده نیز بااستفاده از مفهوم موج ـ ذره، به صورت جایگزینی (هریك ... یا ...) یا به صورت جامع (هردو... و...)، به‌طور طبیعی قابل تبیین نیستند. زمان‌آن فرا رسیده‌است تا تشخیص دهیم که موجودات‌کوانتومی نه ذره هستند و نه‌موج.

نظیرسایرموضوعهای اساسی نظریهٔ غیرکلاسیکی، آنها نیزشایستگی نامی ویژه، جدید وغیرکلاسیکی دارند. یك راه حل طبیعی این است‌که تمام اجزای آنها ، ازقبیل فوتون، الکترون، باریون، گلوکون و غیره را، همان‌طورکه بونگ (Bunge) و دیگران اعلام‌کرده‌اند، بانام عمومی کوانتون مشخص کنیم. با این‌کار، نه تنها مفهوم دشوار و ناروشن «دوگانگی موج ـ ذره» کنارگذاشته خواهد شد، بلکه با تأکید برنو بودن نظریهٔ کوانتوم و خطر تصویرهای نارسای‌کلاسیك، ازلحاظ آموزشی نیز یاریگر است.

بالاخره، به‌یادمان خواهد آوردکه جدل درباره بنیادهای نظریهٔ کوانتوم تنها موضوع تفسیر نیست و پرسشهایی دربارهٔ خود نظریهٔ فیزیکی همچنان مطرح خواهد بود. مسئله اصلی درك این نکته است که چگونه قطعه‌های بزرگ ماده‌که ازکوانتونها پدیدآمده‌اند می‌توانند مانند موج، یا مانند ذره یا هیچ‌کدام رفتار کنند. به عبارت دیگر، به‌جای تفسیر نظریهٔ کوانتوم، نیاز به درك نظریه‌های کلاسیك یعنی تسلط برشرایط اعتبار نظریه‌های کلاسیکی، داریم. می‌توان انتظار داشت که چنین درکی راهگشای حل‌کامل بیشتردشواریهای آزار دهندهٔ نظریهٔ‌کوانتوم، یعنی «کاهش بردار حالت» مورد سنجش خواهد شدکه روش‌کارآمد ناشی‌ازماهیت ماکروسکوپی ابزار سنجش می‌تواند باشد.

ترجمهٔ افسانه صدری

● *Nature*, 7 July 1988.