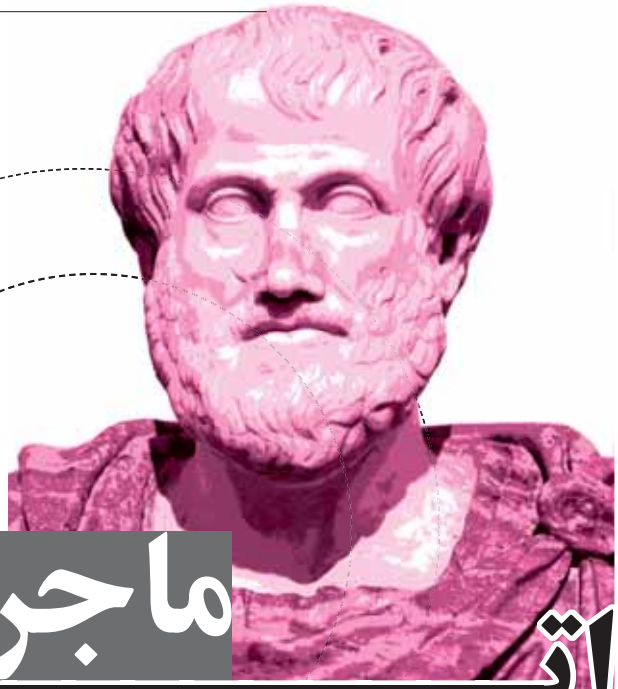


ماجرای اتر

آرش ظهوریان پردل

مقدمه

ارسطو می‌پنداشت که جهان از چهار لایه، متشکل از چهار عنصر ساخته شده است: خاک (گوی دج)، آب (اقیانوس)، هوا (جو)، آتش (یک لایهٔ بیرونی که دیده نمی‌شود و احیاناً با جهش آذرخش به چشم می‌خورد). وی بر این عقیده بود که جهان در آن‌سوی این لایه‌ها، از عنصر پنجمی کامل و غیرخاکی تشکیل شده است که وی آن را اثیر (اتر) نامید.

در طرح ارسطو، «هیچ» جایگاهی نداشت: «آنجا که خاک تمام می‌شد، آب آغاز می‌گردید؛ جایی که هر دو به‌پایان می‌رسید، هوا شروع می‌شد؛ پایان هوا آغاز آتش بود و بعد از آتش، نوبت اثیر می‌رسید و تا دنیا دنیا بود، ادامه می‌یافت. دانشمندان باستانی می‌گفتند «طبیعت از خلأ بیزار است»[1]

کلیدواژه‌ها: اتر، مکانیک نیوتون، الکترومغناطیس ماکسول، نسبیت.

فیزیک قرن نوزدهم؛ محتاج اتر

اما آنچه که از اتر مدنظر ماست، رویکرد فیزیک‌دانان نیمهٔ دوم سدهٔ نوزدهم است؛ یعنی وقتی جیمز کلارک ماکسول معادله‌های الکترومغناطیس خود را تنظیم کرد و نتایج این معادله‌ها، وی را مجبور و مصمم به استفاده از مفهوم ماده‌ای مرموز (و ساختگی) به‌نام اتر کرد. (بدیهی است که برداشت و استفادهٔ ماکسول از اتر، با ارسطو و پیشینیانش کاملاً متفاوت بود.)

از جمله نتایج معادله‌های ماکسول، این بود که نور مرئی، به همراه بسیاری از امواج دیگر (از جمله پرتوهای X، ریزموج‌ها، فروسرخ، فرابنفش، رادیویی و ...)، جزئی از امواج الکترومغناطیسی هستند،که همگی با سرعتی ثابت حرکت می‌کنند. این نتیجه، سرآغاز دردسر عظیمی شد:

اولین مشکلی که مطرح شد، این پرسش بود که «محیطی» که امواج الکترومغناطیسی در آن منتشر می‌شوند، چیست؟ (در آن زمان، تصور آنکه موج چیزی به جز آشفتگی و انتقال انرژی در یک محیط باشد، تقریباً غیرممکن بود) و از آنجایی که نور در فضای تهی میان‌ستاره‌ای منتشر می‌شود، یافتن محیط برای نور، تبدیل به معمایی آزارنده شده بود.

دومین مشکل، عبارت «سرعت ثابت انتشار امواج الکترومغناطیسی» بود: نسبت به چه؟ به‌عبارت دیگر، بیان سرعت بدون ذکر چارچوب مرجع، بی‌معنا تلقی می‌شود و به همین دلیل، ماکسول از این ابهام، آشفته شده بود.

ماکسول، راه‌حل این مشکل را در توسل به ماده‌ای فرضی (اتر) یافت که همه‌جا حضور دارد. در این صورت، هر دو مشکل (ظاهراً) حل می‌شد: اتر، محیطی بود که آشفتگی و انتقال انرژی در آن، امواج الکترومغناطیسی را تعریف می‌کند و از سوی دیگر، مرجعی را فراهم می‌کرد تا عبارت سرعت ثابت نور، نسبت به آن سنجیده و معنادار شود.

$$\oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = 4\pi kq \qquad \oint \vec{E}\cdot d\vec{r} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$
$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0 \qquad \oint \vec{B}\cdot d\vec{r} = \mu_0 I$$

اتر آزاردهنده

فرض وجود چنین ماده‌ای، مستلزم رویارویی با انواع و اقسام تضادها و کشمکش‌های منطقی بود. به چند مورد از این مشکلات اشاره می‌کنم:

۱. اتر، ماده‌ای به شدت عجیب بود چراکه از یک‌سو، می‌بایست بسیار محکم و مقاوم باشد تا توان تحمل آشفتگی

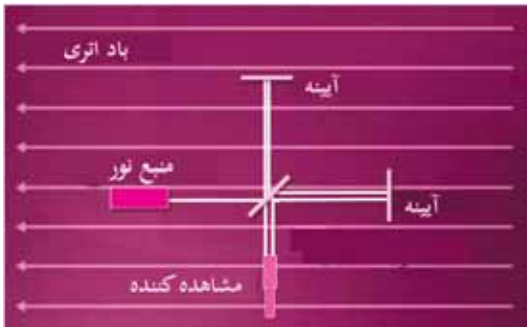
بســیار پرسرعتی چون نور را داشته باشــد، اما در عین‌حال، نباید به‌گونه‌ای باشــد که وجود و حضــور آن را حس کنیم و باز از ســوی دیگر، نمی‌تواند مایع یا گاز باشــد (زیرا امواج الکترومغناطیسی، امواجی عرضی‌اند). پس تنها حالت ممکن این است که احتمالاً ماده‌ای ژله ـ مانند باشد.

۲. چنانچه وجــود اتر را بپذیریم، در این صورت باید این را هم بپذیریم که امواج الکترومغناطیسی، فقط و فقط نسبت به اتر با ســرعت ثابت حرکت می‌کنند و این، یعنی «قانون‌های الکترومغناطیــس، تنها در یک چارچــوب مرجع خاص معنا دارند: چارچوبی که نســبت به اتر ســاکن باشد. و این، یعنی برتری یک چارچوب لخت ویژه.»

چنین ایده‌ای، در تضاد آشــکار با اصل نسبت گالیله است که طبق آن «بین چارچوب‌هــای مرجع لخت، هیچ تمایز و برتری‌ای در انجام آزمایش و اعتبار قانون‌های مکانیک وجود ندارد.»

در نتیجه، از دیدگاه اصل نســبیت، شــکافی عمیق میان مکانیک نیوتونی و الکترومغناطیس ماکسول ایجاد گردید.

۳. اگــر اتر وجود دارد، ما باید نســبت به آن حرکت کنیم (چنین نتیجه‌ای، با بررسی پدیده ابیراهی ستاره‌ای به دست آمد). در نتیجه، نســبت به ما (زمیــن)، باید یک «باد اتری» بوزد که حاصل آن، اختلاف فاز امواج نوری خواهد بود که در راســتاهای مختلفی در اتر حرکت می‌کنند. اما متأسفانه (یا خوشبختانه!) آزمایش دقیق و هوشمندانهٔ آلبرت مایکلسون و ادوارد مورلی (با دســتگاهی به‌نام تداخل‌سنج) هیچ نشانی از اختلاف فاز را آشکار نکرد!



اینشتین رهایی‌بخش می‌شود!

در حالی‌کــه فیزیک‌دانان حیران و مأیــوس نیمهٔ دوم قرن نوزدهم، تلاش می‌کردند با روش‌هایی ساختگی (و بعضاً عجیب)، راهــی برای نتایج منفی آزمایش مایکلســون ـ مورلی بیابند، اینشتین جوان وارد معرکه شد. وی با ذکاوت و اعتمادبه‌نفسی مثال زدنی، در یکی از مقاله‌هایی که در سال ۱۹۰۵ (که «سال معجزه‌آسا» لقب گرفته) منتشر کرد، ابراز داشت:

هیچ نیازی به اتر نداریم! امواج الکترومغناطیسی نسبت به «همهٔ» چارچوب‌های لخت با سرعت ثابت حرکت می‌کنند؛ چه چشــمهٔ نور حرکت بکند، چه نکند: چه نسبت به چشمه نور حرکت بکنیم، یا نکنیم اما چطور ممکن اســت؟! چگونه ممکن است نور، از قانون جمع سرعت‌های گالیله (که همگی در تجربه‌هــای روزمره، به‌خوبــی آن را درک کرده و به کار می‌گیریم!) پیروی نکند؟

پاســخ اینشتین این بود که راه چاره، این است که نگاهمان را به مفاهیمی چون فضا و زمان تغییر دهیم؛ چنین مفاهیمی (که از دیدگاه نیوتونی، کاملاً «مطلق» محسوب می‌شوند)، در شرایطی که با سرعت‌های زیاد (نزدیک به سرعت نور) سروکار داریــم، مطلق نخواهند بود: از دید مــن ناظر، فضای من، با فضای ناظری که با سرعت زیاد نسبت به من حرکت می‌کند، متفاوت است. به همین ترتیب، به نظر من، زمان در چارچوب ناظری که نســبت به من حرکت می‌کنــد، متفاوت (کندتر) می‌گذرد. چنین ایده‌ای، برق از سر فیزیک‌دانانی که به نگرش مکانیکی و فلسفهٔ نیوتونی عادت داشتند پراند؛ «برقی» که آن را جزء امواج الکترومغناطیسی محسوب می‌کنیم!

اینشتین بیست و شــش ساله، در نتیجهٔ این نگرش جدید (نسبیتی)، با طیب خاطر و آسودگی خیال، اصل نسبیت خود را ارائه کرد:

همه قانون‌های فیزیک (چه مکانیک، چه الکترومغناطیس)، در همهٔ چارچوب‌های مرجع لخت، برقرارند.

اینشتین بیست و شش ساله، در نتیجهٔ این نگرش جدید (نسبیتی)، با طیب خاطر و آسودگی خیال، اصل نسبیت خود را ارائه کرد: همه قانون‌های فیزیک (چه مکانیک، چه الکترومغناطیس)، در همهٔ چارچوب‌های مرجع لخت، برقرارند

پی‌نوشت

بخش اول (مقدمه)، برگفته از این کتاب است:
رهبر علم، «آیزاک آسیموف، ترجمــهٔ احمد بیرشــک، انتشارات خوارزمی»