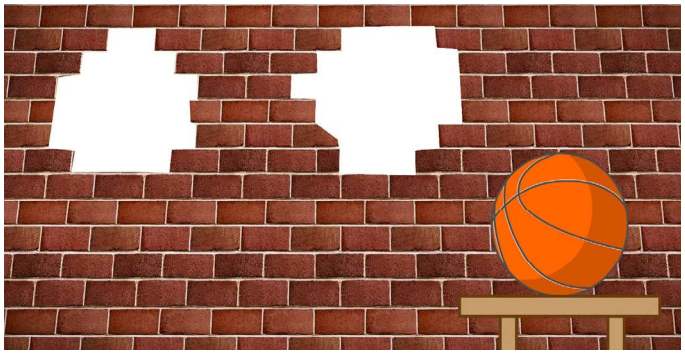

یک جستار روایی علمی در مورد تأثیر ثابت پلانک بر دنیای ماکروسکوپیِ اطراف‌مان:

ثابتی در تبعیدِ ابدی

امید ظریفی/ دانشجوی کارشناسی فیزیک شریف

حول‌وحوش یک سال پیش بود. سر کلاس فیزیک ۴ نشسته‌بودم و به‌جای گوش‌دادن به درس، کوچه‌های ذهن خودم را گز می‌کردم. از فلاسکِ چای‌ونباتی که همیشه همراهم است، لیوانم را پر کرده‌بودم و چشمانم به بخاری بود که از آن بلند می‌شد. در این احوال بودم که پرسشی در ذهنم به‌وجود آمد. این‌که چه می‌شد اگر ثوابت بنیادی که از مطالعه‌ی طبیعت می‌شناسیم، به‌جای مقدار فعلی‌شان، مقدار دیگری داشتند. مثلا چه می‌شد اگر ثابت جهانی گرانش یا سرعت نور دو برابر مقدار فعلی‌شان می‌شدند. پرسشی که قبلا هم بارها از ذهنم گذشته‌بود و من هم هربار سرسری ازش گذشته‌بودم و هیچ‌وقت در آن عمیق نشده‌بودم و جنبه‌های مختلف آن را بررسی نکرده‌بودم. صرفا با این پاسخ‌ها خودم را راضی کرده‌بودم که اگر مثلا ثابت جهانی گرانش و سرعت نور دو برابر شوند، خب بدیهتا خورشید محکم‌تر زمین را به‌سمت خودش می‌کشد و زمین هم من را محکم‌تر به‌سمت خودش می‌کشد و از آن‌طرف هم اگر سوار ماشین شوم می‌توانم بیش‌تر گاز بدهم، چون در این جهان جدید، بیشینه‌ی سرعت مجاز به‌جای ۲۹۹۷۹۲۴۵۸ m/s برابر ۵۹۹۵۸۴۹۱۶ m/s است و همین باعث می‌شود آدم کم‌تر نگران پلیس راهنمایی‌ورانندگیِ طبیعت باشد! این‌بار اما پای ثابت آقای پلانک هم به ذهنم باز شده‌بود. ذهنم درگیر دو پرسش شد. یک، این‌که چرا ثابت پلانک

$$h = ۶٫۶۲۶۰۷۰۰۴ \times ۱۰^{-۳۴} \frac{kg\ m^۲}{s}$$

نسبت به بقیه‌ی ثوابت طبیعت- این‌قدر کوچک است؟ و دو، همین پرسش که اگر ثابت پلانک را چندین‌برابر بزرگ کنیم، دنیای ماکروسکوپی اطراف‌مان چه تغییری می‌کند؟ خلاصه، همان‌طور که روی صندلی نشسته‌بودم، یک گوشه‌ی ذهنم درگیر این پرسش‌ها بود و گوشه‌ی دیگر مواظب این‌که کِی استاد به‌سمت تخته برمی‌گردد تا بتوانم چای داخل لیوانم را که در حالِ سردشدن بود بنوشم.

روزهای بعد، کمی به پرسش دوم فکر کردم. تنها چیزی که به ذهنم می‌رسید این بود که اگر ثابت پلانک را بزرگ و بزرگ‌تر کنیم، احتمالا دنیای اطراف‌مان بدون تغییر باقی می‌ماند و صرفا می‌توانیم اثرات کوانتومی را در مقیاس بزرگ‌تری ببینیم. همه می‌دانیم که طبق رابطه‌ی دوبروی می‌توانیم به هر ذره‌ی دارای تکانه، طول موج زیر را نسبت دهیم:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

به‌عنوان مثال، یکی از آزمایش‌های معروف دنیای کوانتوم، آزمایش دوشکاف یانگ است. همان‌طور که می‌دانید، در این آزمایش باریکه‌ای از الکترون‌ها را به صفحه‌ای که دو سوراخ روی آن قرار دارد می‌تابانیم و در کمال شگفتی طرحی تداخلی را بر روی دیواری که پشت صفحه است می‌بینیم. نکته‌ای که در آزمایش یانگ است، این است که فاصله‌ی دو سوراخ از هم باید از مرتبه‌ی طول موجی باشد که طبق رابطه‌ی دوبروی به الکترون‌ها نسبت می‌دهیم، تا بتوانیم طرح تداخلی را ببینیم. طبیعی است که اگر یکی از سوراخ‌ها این‌سمت اتاق آزمایش باشد و سوراخ دیگر آن‌سمت اتاق آزمایش، انتظار نتیجه‌ی بالا را نداریم. تنها دلیلی هم که اگر این آزمایش را با تعدادی توپ بسکتبال انجام دهیم دیگر طرح تداخلی‌ای نمی‌بینیم، این است که طول موجی که رابطه‌ی دوبروی به یک توپ بسکتبال در حال حرکت نسبت می‌دهد، بسیاربسیار کوچک‌تر از فاصله‌ی بین دو سوراخی است که بر روی دیواری ایجاد کرده‌ایم تا توپ‌ها از آن‌ها بگذرند. حال اگر از منوی تنظیمات کیهان، مقدار ثابت پلانک را تا حدی زیاد کنیم که نسبت آن به تکانه‌ی توپ‌های بسکتبال از مرتبه‌ی فاصله‌ی دو سوراخ روی دیوار باشد، می‌توانیم در دنیای اطراف‌مان نیز تداخل توپ‌های بسکتبال را ببینیم. اما اگر به واسطه‌ی تغییر ثابت پلانک، چنین اتفاقی در دنیای ماکروسکوپی بیفتد، خیلی ساده‌لوحانه است که فرض کنیم کلیت دنیای اطراف‌مان بدون تغییر باقی می‌ماند. در آن روزها، همه‌ی این فکرها از ذهن من می‌گذشت و نتیجه‌شان این شد که تغییر ثابت پلانک احتمالا دنیای ماکروسکوپی‌مان را دچار تغییرات عجیب‌وغریبی می‌کند. بیایید با هم ثابت پلانک را کمی دستکاری کنیم و تأثیر این کار را بر کیهان‌مان ببینیم. فکر می‌کنم برای شروع نیاز نباشد که آن را چند ده برابر کنیم؛ احتمالا دو برابر برایمان کافی است. پس از منوی تنظیمات کیهان، ثابت پلانک را از $۶.۶۲۶۰۷۰۰۴\times۱۰^{-۳۴}\ kg.m^2/s$ به $۱۳.۲۵۲۱۴۰۰۸\times۱۰^{-۳۴}\ kg.m^2/s$ تغییر می‌دهیم و بررسی می‌کنیم که چه بلایی بر سر دنیای اطراف‌مان می‌آید.

نخستین چیزی که به ذهن من می‌رسد، بررسی ساده‌ترین موجود اتمی، یعنی اتم هیدروژن است. از مدل اتمی بور می‌دانیم که شعاع مدار پایه‌ی الکترون به‌صورت زیر با $h^۲$ متناسب است

$$r = \frac{h^۲\ \varepsilon_۰}{\pi\ m_e\ e^۲}$$

که به شعاع بور معروف است. وقتی اتم هیدروژن در حالت پایه‌ی خود قرار دارد، بیش‌ترین احتمال این است که

الکترون در این شعاع پیدا شود. طبق رابطه‌ی بالا، اگر ثابت پلانک ۲ برابر شود، شعاع اتم هیدروژن ۴ برابر می‌شود. با تقریب خوبی، منطقی است اگر این نتیجه را به بقیه‌ی اتم‌ها و کل مواد سازنده‌ی اطراف‌مان نیز تعمیم دهیم. پس اندازه‌ی خطی هرچیزی که در اطراف‌مان است، ۴ برابر می‌شود، یعنی حجم همه‌چیز، از جمله ما انسان‌ها، ۶۴ برابر می‌شود. اگر فرض کنیم جرم همه‌چیز ثابت می‌ماند، با توجه به این‌که شعاع زمین ۴ برابر شده، شتاب گرانش در سطح زمین ۱/۱۶ برابر خواهد شد. تأثیراتِ فانتزی این تغییر بسیارجالب خواهد بود. به دلیل اینکه نیروی اصطکاک نیز با همین نسبت کاهش پیدا خواهد کرد، ماشین‌های ۶۴ برابرشده، سوخت کم‌تری مصرف می‌کنند. این موضوع تأثیر بسیاری روی قیمت فرآورده‌های نفتی و خود نفت خواهد گذاشت. تأثیری که برای اقتصاد کشور ما که اقتصادی نفت‌محور است، چندان خوشایند نیست! به تبعِ این کاهش قیمت، بلیت اتوبوس تهران-یزد نیز کاهش چشم‌گیری پیدا خواهد کرد! ازطرفی، بدیهی است که رکورد پرش سه‌گام و پرش با نیزه و پرتاب وزنه در المپیک ۲۰۲۰ هم چندین‌برابر المپیک قبلی خواهد شد. البته به احتمال بسیار زیادی، آن‌موقع نیاز به بازتعریف واحد طول داریم؛ زیرا مترِ فعلی برای انسان‌های ۶۴ برابرشده بسیار کوچک است. همچنین، طبقِ پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای و با توجه به این‌که لختی دورانی زمین -طبق رابطه‌ی $I=\frac{2}{5}MR^2$- تقریبا ۱۶ برابر خواهد شد، سرعت زاویه‌ای چرخش زمین به دور خودش ۱/۱۶ می‌شود (دقیقا همانند فردی که روی دستگاه مس‌گری درحال چرخش است و ناگهان دست‌های خود را باز می‌کند). این یعنی هر روز به‌جای ۲۴ ساعت، ۳۸۴ ساعت خواهد بود (احتمالا باید بازنگری اساسی در بازه‌های زمانی کارکردن و استراحت‌مان انجام دهیم)! از طرف دیگر، دوره‌ی گردش زمین به‌دور خورشید (به‌دلیل ثابت‌ماندن جرم زمین و خورشید) تغییر نخواهد کرد؛ و این یعنی یک سال به‌جای ۳۶۵ روز حدودا ۲۳ روز خواهد بود. مطمئنا جو اطراف زمین هم از این موضوع تأثیر می‌پذیرد و دست‌خوش تغییرات زیادی می‌شود. لایه‌های هوای فعلی بالاتر خواهند رفت و همچنین به‌دلیل کاهش شتاب گرانش، هوای سطح دریاها نیز رقیق‌تر از مقدار فعلی می‌شود. چیزی که احتمالا نفس‌کشیدنِ ما انسان‌ها را دچار مشکل می‌کند. از آن‌جایی که انرژی تابشی خورشید متناسب با h^{-3} است (فعلا از من بپذیرید)، خورشید به‌میزان ۱/۸ مقدار فعلی انرژی تابش می‌کند. اما از طرفی، مساحت سطح مؤثر زمین ۱۶ برابر می‌شود. در نهایت، انرژی‌ای که زمین از خورشید دریافت می‌کند ۲ برابر خواهد شد. طبیعتا دمای سطح زمین بسیار بالا خواهد رفت و سطح آب اقیانوس‌ها نیز به‌دلیل آب‌شدن یخ‌های قطبی بالا خواهد آمد. مشخص است که شرایط آب‌وهوایی فعلی زمین در یک نقطه‌ی تعادل بسیار متزلزل قرار دارد. حتی تغییری بسیار کوچک در ثابت پلانک نیز همه‌چیز را به هم می‌ریزد، چه برسد به ۲ برابرکردنِ آن. اما اگر به همان دنیای زیراتمی برگردیم هم می‌توانیم نتایج جالبی را ببینیم. انرژی هر مدار اتم هیدروژن برابر مقدار زیر است

$$E_n=-\frac{m_e\,e^4}{8\,\epsilon_0^2\,h^2\,n^2}$$

که در آن n شماره‌ی مدار است. اگر ثابت پلانک ۲ برابر شود، سطح انرژی مدارهای مجاز ۱/۴ برابر می‌شود. این بدین معنی است که برای جداکردن یک الکترون از اتمی خاص، به انرژی کم‌تری نیاز خواهیم داشت. البته که همین انتظار را هم داشتیم، زیرا در این جهان جدید، مدارها فاصله‌ی بیش‌تری تا هسته دارند. می‌دانیم که در مدل اتمی بور، الکترون‌ها می‌توانند از مدارهای بالاتر با تابش یک فوتون با فرکانس مشخص ν به مداری پایین‌تر بیایند؛ که این فرکانس باید در رابطه‌ی زیر صدق کند:

$$h\nu=\frac{m_e\,e^4}{8\,\epsilon_0^2\,h^2}\left(\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right)$$

که اگر آن را برحسب طول موج بازنویسی کنیم، داریم

$$\lambda=\frac{8\,\epsilon_0^2\,h^3\,c}{m_e\,e^4}\left(\frac{1}{\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}}\right)$$

این رابطه نشان‌دهنده‌ی این است که طول موج فوتون‌های تابیده‌شده از جابه‌جایی‌های یکسان، ۸ برابر می‌شود. به‌عنوان نمونه، خطوط طیفیِ سری بالمرِ یک اتم هیدروژن از ناحیه‌ی مرئی خارج و وارد ناحیه‌ی فروسرخ خواهند شد. احتمالا این خبر بدی برای کسانی است که آزمایشگاه فیزیک ۴ را بعد از ۲ برابرشدن ثابت پلانک می‌گذرانند؛ زیرا یکی از جذاب‌ترین آزمایش‌های آن دیدن خطوط طیفی اتم هیدروژن است!

فکر می‌کنم توانسته باشم شما و خودم را قانع کنم که با این‌که همه‌ی ما ناخودآگاه ثابت پلانک را مرتبط با مقیاس‌های خیلی ریز می‌پنداریم، اما اتفاقا دنیای اطراف‌مان به‌صورت نگران‌کننده‌ای به این عدد کوچک وابسته است. من که بعد از فکرکردن به موارد بالا، موقع نوشتن اعشارهای ثابت پلانک، سعی می‌کنم بسیار بیش‌تر از قبل دقت کنم. (شما را نمی‌دانم!). اما پرسش اولی که برایم ایجاد شده‌بود بی‌پاسخ ماند. این‌که چرا ثابت پلانک این‌قدر کوچک است؟ راستش را بخواهید، فعلا جوابی برای این پرسش ندارم. شاید اصلا پرسیدن این پرسش، بدین‌گونه چندان درست نباشد. به‌هرحال، طبیعت دوست داشته ثابت پلانک این‌قدر باشد! احتمالا پرسش درست‌تر این است که چرا دنیای ما انسان‌ها این‌قدر بزرگ است؟! حرف آخر این‌که، بعد از سال ۱۹۳۷، فیزیک‌دان‌های زیادی مانند دیراک، احتمال تغییر ثوابت بنیادی طبیعت را با گذشت زمان مطرح کردند. تا به حال، چنین تغییراتی مشاهده نشده؛ اما در صورت وجود هم احتمالا به‌قدری کوچک هستند که به‌سختی در بازه‌های زمانی ملموس برای ما انسان‌ها قابل رؤیت خواهند بود. جالب است بدانید که نظریه‌ی ابریسمان، که سعی در توصیف [تقریبا] کلیِ کیهانِ شناخته‌شده‌مان دارد، پیش‌بینی می‌کند که ثوابت بنیادیِ طبیعت می‌توانند در مقیاس‌های انرژی مختلف تغییر کنند. بگذریم... بروم چایم را بنوشم تا دوباره سرد نشده است.

آخرنوشت‌ها:

1. عنوان این نوشته از کتاب «مردی در تبعید ابدی» نوشته‌ی نادر ابراهیمی گرفته شده است.
2. ممنون از Pao-Keng Yang بابت مقاله‌ای که با عنوان «How does Planck's constant influence the macroscopic world?» در سال ۲۰۱۶ در European Journal of Physics به‌چاپ رساند.