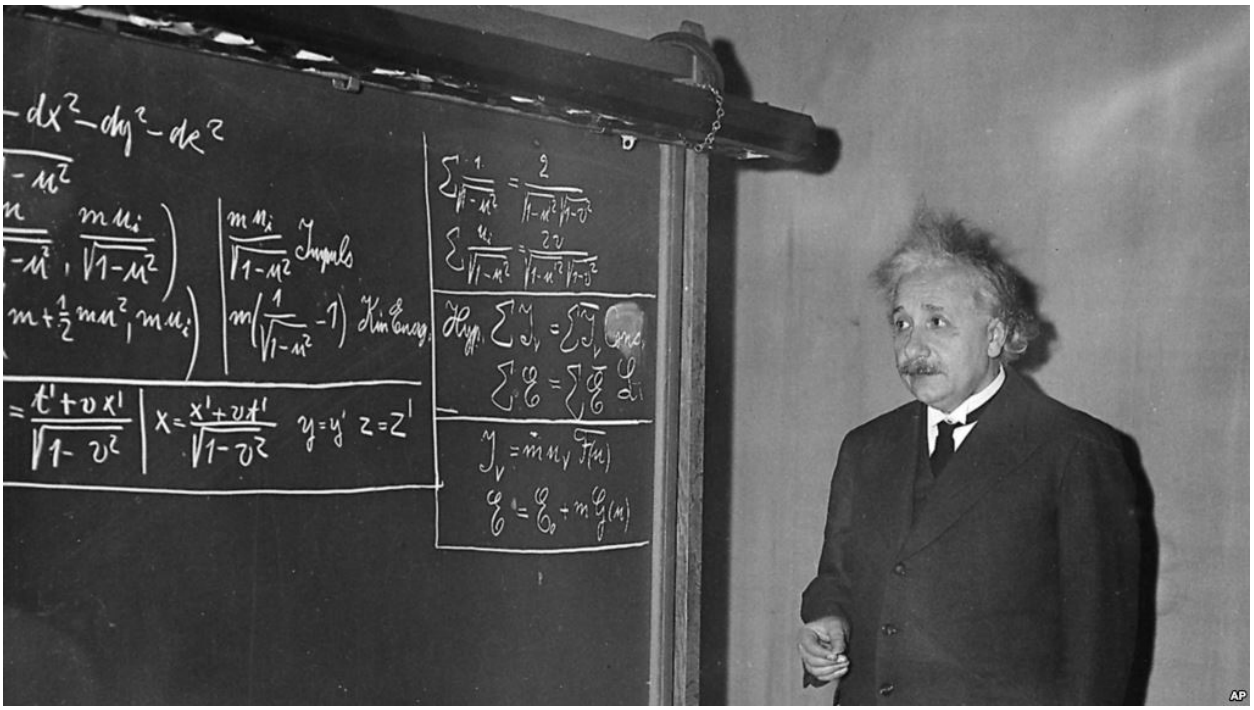
ادعا: «طبق نظریهٔ نسبیت اینشتین وقتی جسمی به سرعت نور می‌رسد، به نور تبدیل می‌شود»



بحث درست و حسابی دربارهٔ نسبیت خودش نیاز به کتابی نسبتاً قطور دارد. برای همین در اینجا خیلی از ریشه به نظریهٔ نسبیت خاص نمی‌پردازیم.

مقالهٔ نسبیت خاص اینشتین در ۹تیر۱۲۸۴ انتشار پیدا کرد؛ یعنی ۱۱۳سال قبل. در ایرانِ آن سال مظفرالدّین شاه حاکم و مشروطه هنوز محقق نشده بود. نام این مقالهٔ اینشتین «در باب الکترودینامیک اجسام متحرک» است که در آن عملاً نسبیت خاص به جهان معرفی می‌شود. امّا نسبیت چه ربطی به الکترودینامیک دارد؟

چهل سال قبل از این، نیمهٔ اوّل حکومت ناصرالدّین شاه، *ماکسول* مقالهٔ خود تحت عنوان «نظریه‌ای دینامیک برای میدان الکترومغناطیس» به چاپ می‌رساند. در این مقاله ماکسول استنباط می‌کند که نور، یک موج الکترومغناطیس است و با معادلهٔ موج الکترومغناطیس که همینجا بدست آورده بود توصیف می‌شود. از آنجا که نور موج است، پس طبیعتاً باید با سرعت خاصی انتشار یابد، که به آن سرعت نور می‌گویند. ماکسول نشان می‌دهد سرعتی که از معادلات او بیرون می‌آیند، با سرعتی که اندازه‌گیری‌ها به دست داده‌اند، تطبیق بسیار خوبی دارد.

or

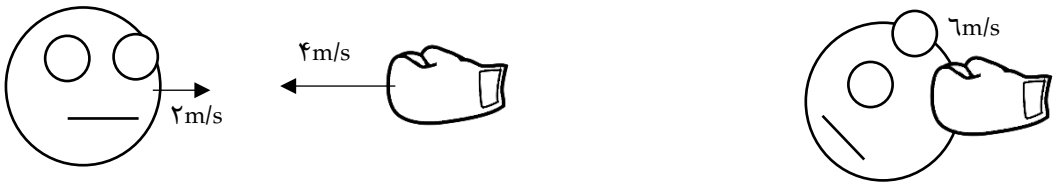
$$V=\pm\sqrt{\frac{k}{4\pi\mu}}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (71)$$

The other equations give the same value for V, so that the wave is propagated in either direction with a velocity V.

همانطور که در «مورد ۳۷» نشان دادیم، سرعت انتشار موج به خواص و شرایط محیطِ انتشار مربوط است، مثلاً سرعت موج در سیم گیتار، با کشش سیم رابطهٔ مستقیم و با چگالی سیم رابطهٔ معکوس داشت. امّا موج الکترومغناطیس در خلأ انتشار پیدا می‌کند؛ «خواص و شرایط محیط» در رابطه با خلأ چه معنایی می‌تواند داشته باشد؟

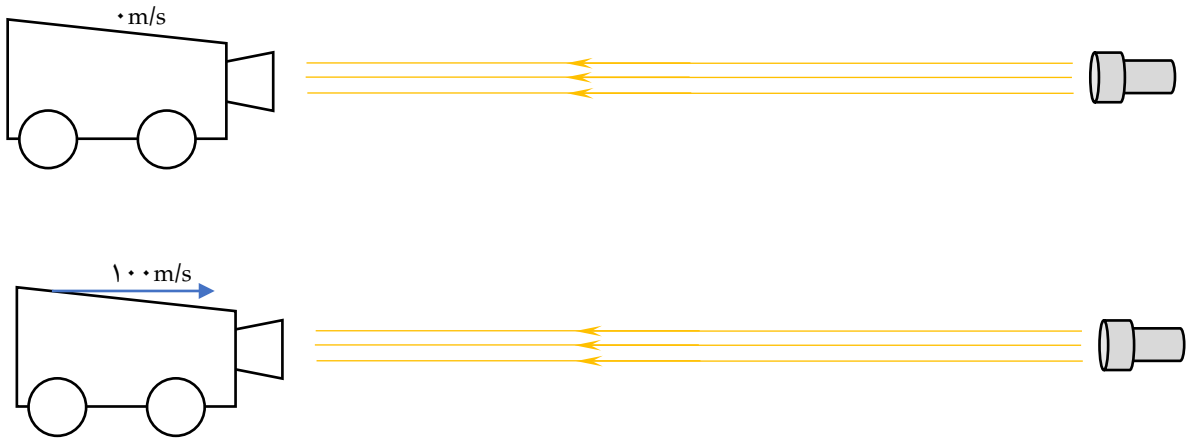
(در بحث زیر متربرثانیه با حروف m/s نشان داده شده است.)

فرض کنید روی دریا در کشتی سواریم و موجی با سرعت ٦m/s به سمت ما می‌آید. اگر ما به سمت موج حرکت کنیم، مثلاً با سرعت ۵m/s، آنوقت سرعت نسبی ما و موج ۱۱m/s خواهد بود. این یعنی از دید ما، خودمان سرعتی نداریم ولی موج با سرعت ۱۱m/s در حال نزدیک شدن به ماست. تصوّرِ این نسبی بودنِ سرعت، با صورت و مشت راحتتر است. طبیعتاً اگر مشتی با سرعت ۴m/s دارد به ما نزدیک می‌شود، ما صورت خود را با سرعت ۲m/s به سمت آن حرکت نخواهیم داد، چونکه آنوقت مشت و صورت با سرعت ٦m/s به هم می‌رسند!



اکنون یا خلأ در واقع خالی نیست و از مادّه‌ای بسیار رقیق تشکیل شده که عموماً به **اِتر** مشهور است؛ یا اینکه نه، خلأ واقعاً خلأ است. در حالت اوّل، موج الکترومغناطیس در حال انتشار در مادّه‌ای است، هر چند که این مادّه رقیق باشد. بنابراین مثل موجی که در طناب تشکیل می‌شود، اگر به سمت موج الکترومغناطیس در حرکت باشیم، باید سرعت موج را بیشتر از حالتی ببینیم که ساکن بودیم؛ یعنی این موج باید با

سرعت بیشتری به ما بخورد. حالا کافی است این موضوع را آزمایش کنیم. به یک منبع نور، و یک دستگاه سرعت‌نورسنج احتیاج داریم. در یک حالت دستگاه را ساکن و در حالت دیگر نسبت به منبع نور متحرک در نظر می‌گیریم.



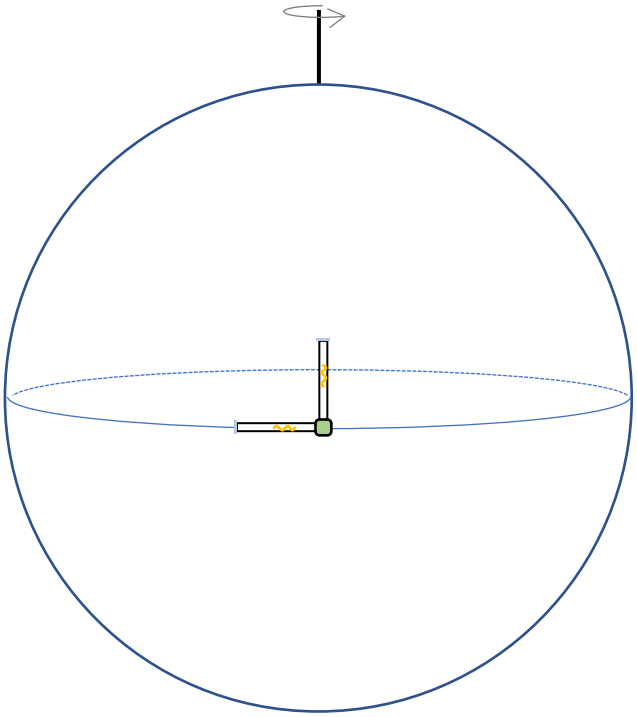
با انجام دادن این آزمایش درخواهیم‌یافت که دستگاهِ سرعت‌نورسنج در هر دو حالت عدد یکسانی را نمایش می‌دهد. این نتیجه‌ای عجیب است! یعنی اگر با سرعت به سمت نور حرکت کنید، نور با همان سرعت قبلی به شما برخورد خواهد کرد! چنین نتیجه‌ای، این ادّعا که خلأ از مادّه‌ای هرچند رقیق تشکیل شده باشد را رد می‌کند. ۲۲ سال بعد از مقالهٔ *ماکسول*، دو فیزیکدان به نامهای *آلبرت مایکلسون* و *ادوارد مورلی* یک چنین آزمایشی ترتیب دادند. البته آنها می‌خواستند ثابت کنند که **اِثر** وجود دارد و امواج الکترومغناطیس مثل امواج دریا در مادّه انتشار پیدا می‌کنند. نتیجهٔ آزمایششان برعکس درآمد و عملاً وجود **اِثر** با این آزمایش رد شد!

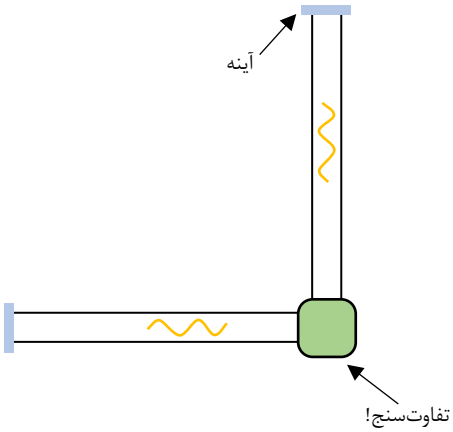
آزمایش *مایکلسون-مورلی*:

یک روز کامل طول می‌کشد تا کرهٔ زمین یک دور به دور خودش بچرخد. امّا چون زمین شعاع بزرگی دارد (۶۴۰۰کیلومتر)، اندازهٔ سرعت نقاط روی سطح زمین در این چرخش، خیلی هم کوچک نیستند:

$$\frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}} = \frac{\text{محیط زمین}}{\text{یک روز}} = \frac{۲\pi \times ۶۴۰۰km}{۲۴h} = ۱۶۷۵\frac{km}{h} = ۴۶۵\frac{m}{s}$$

پس در استوا سطح زمین با سرعت ۴۶۵متربرثانیه می‌چرخد. اگر خلأ را **اِثر** پر کرده باشد، پس باید دور زمین را هم **اِثر**گرفته باشد. حالا که زمین با این سرعت داخل **اِثر** می‌چرخد، نقاط روی سطح زمین باید ببینند که یکجور «بادِ اِثری» از شرق به غرب همواره در حال وزیدن است. اساس دستگاه *مایکلسون-مورلی* روی این نکته سوار بود. کلّیت آزمایش چنین است: یک نور را در راستای شمال-جنوب و نور دیگری را در راستای شرق-غرب می‌فرستند. نورها پس طی فاصلهٔ مساوی بازتاب می‌شوند و به نقطهٔ اوّل برمی‌گردند. آنجا تفاوت بین دو نور را می‌سنجند. اگر نورها تفاوتی داشتند، یعنی بین دو راستا فرقی وجود دارد که طبیعتاً باید ناشی از «بادِ اِثری» باشد. ولی تفاوتی وجود نداشت.





در همان آغاز مقالهٔ خود، اینشتین از این مفاهیم استفاده کرده و دو اصل برای نظریهٔ تازهٔ خود در نظر می‌گیرد. در بیانی کمی متفاوت از آنچه در مقالهٔ او هست، آن دو اصل به صورت زیرند:

- سرعت نور (در خلأ) همیشه برابر یک مقدار ثابت است، مستقل از نحوهٔ حرکت جسمی که نور را تابش کرده است.
- ناظرهای مختلف قوانین فیزیک را یکسان ارزیابی می‌کنند. یعنی قوانین فیزیک من و شما نمی‌شناسد. هر کسی هر کجایی و با هر سرعتی در حال حرکت باشد، باید قوانین فیزیک را مثل بقیه بدست بیاورد.

هرچقدر اصل یکم در نگاه اوّل عجیب است، در عوض اصل دوم بسیار بدیهی است. طبیعتاً همهٔ پدیده‌های طبیعی باید از دید ناظرهای مختلف یکسان باشند. اگر یک لیوان افتاد زمین و شکست، همهٔ ناظرها مستقل از اینکه کجا هستند و چه سرعتی دارند، خواهند دید که لیوان افتاد زمین و شکست و این پدیده را مثلاً اینطور نمی‌بینند که لیوان خورد به سقف و نشکست! بسیار بدیهی است. وقتی همهٔ پدیده‌ها (و به عبارتی همهٔ آزمایشها) برای تمام ناظرها یکسان رخ می‌دهد، آنوقت قوانینی هم که از آن پدیده‌ها استخراج می‌شود، طبیعتاً باید برای تمام ناظرها یکسان باشد. نامی که برای این اصل در مقالهٔ مورد بحث انتخاب شد، «اصل نسبیت» بود.

مقالهٔ اینشتین دو بخش دارد. در بخش اوّل با استفاده از دو اصل بالا مشخص می‌شود که واقعاً طول و مدّت زمان نسبی هستند و از دید ناظرهای مختلف می‌توانند متفاوت باشند. در بخش دوم به بیانی نشان می‌دهد که اگر زمان و فضا نسبی نباشند، معادلات الکترودینامیک *ماکسول* از «اصل نسبیت» تبعیت نخواهند کرد. پس به سؤالی که در آغاز پرسیدیم (اینکه «امّا نسبیت چه ربطی به الکترودینامیک دارد؟») پاسخ داده شد.

محض قیاس تاریخی، یادآور شویم که همهٔ اینها زمانی بود که ایران اواخر قاجاریه را می‌گذراند. دارالفنون در سال ۱۲۳۰ تأسیس شد. دارالفنون بود که پای «علوم جدید» را به ایران باز کرد. پس برای تشریح وضعیت علمی ایران در این دوران، احتمالاً بیراه نیست اگر بگوییم که مثلاً نجوم جدید تازه داشت در ایران رواج پیدا می‌کرد و پیش از آن نجوم بطلمیوسی، یعنی همان زمین مرکزی، رواج داشت.

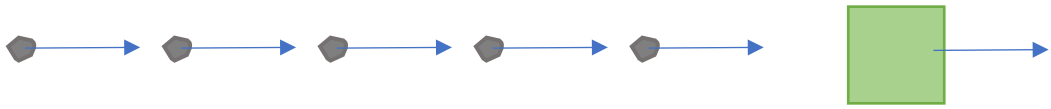


به فیزیک نسبیت برگردیم. مانند چیزی که در «مورد ۳۷» بحثش را کردیم، سرعت انتقال اطّلاعات در محیط انتشار، به عبارتی همان سرعت موج در محیط انتشار است. بنابراین این جمله که سرعت نور (موجی که در خلأ منتشر می‌شود) مقداری ثابت است، انگار همچنین بیان می‌کند که سرعت انتقال اطّلاعات نیز عددی ثابت است. این عدد را معمولاً با c نشان می‌دهند، ما هم همین کار را خواهیم کرد.

حالا بیایید سعی کنیم سرعت جسمی را به سرعت نور، c، برسانیم. یک روش پیشنهادی این است که پشت سر هم به سمت جسم سنگ‌ریزه پرت کنیم تا به جسم بخورد و آن را هُل دهد. در ابتدا جسم ساکن است، امّا اولین سنگ که به جسم برخورد کند شروع می‌کند با سرعتی به جلو حرکت کردن.



تصویر سمت چپ قبل از برخورد سنگ و تصویر سمت راست پس از آن است. فرض کنید همهٔ سنگها را با سرعت یکسانی پرت می‌کنیم. نوبت به سنگ دوم که می‌رسد جسم دیگر ساکن نیست و کمی به جلو سرعت دارد. بنابراین برخورد سنگ دوم به جسم، برخوردی آرامتر خواهد بود. به همین خاطر سرعت جسم کمتر از دفعهٔ قبل افزایش پیدا می‌کند. این تا جایی ادامه خواهد داشت که سرعت جسم تقریباً با سرعت سنگ برابر شده باشد؛ مثلاً بعد از پرتاب ۱۰۰۰۰سنگ. چون سرعت سنگ و جسم تقریباً برابر است، عملاً دیگر سنگ به جسم برخورد نمی‌کند، چون سرعت سنگ از جسم بیشتر نیست و به آن نمی‌رسد. بنابراین سنگها دیگر توان افزایش سرعت جسم را ندارند. اگر هم پس از گذر زمان کافی، سنگ به جسم برخورد کند، این برخورد بسیار آرام خواهد بود و عملاً سرعت جسم تغییری نخواهد کرد. پس جسم در بیشترین حالت، سرعتش به اندازهٔ سرعت سنگها افزایش پیدا خواهد کرد.

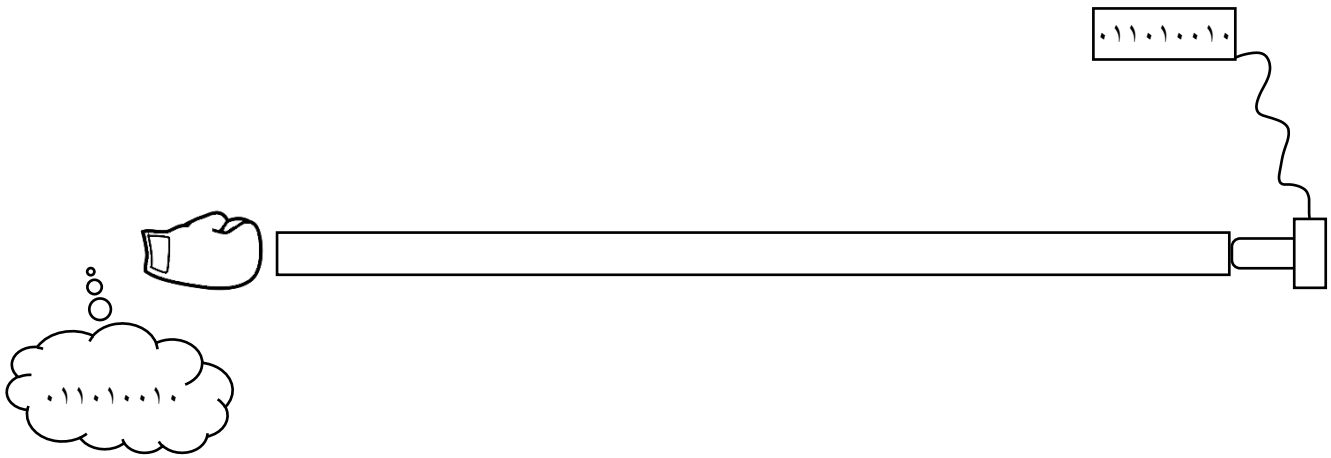


حالا اگر به جای سنگ به سمت جسم نور پرتاب می‌کردیم، می‌توانستیم بگوییم که با این روش سرعت جسم همیشه کمتر از سرعت نور باقی خواهد ماند. پس حتی ضربه‌هایی با سرعت نور هم نمی‌تواند سرعت جسم را از c بیشتر کند. بنابراین با اجسامی که سرعتشان از c کمتر است نمی‌توان جسمی را به سرعتی بیشتر از c رساند. پس یا اصلاً باید از اوّل چیزی در اختیار داشته باشیم که سرعتش از نور بیشتر باشد، یا اگر نداریم کلاً نمی‌شود جسمی را به سرعت نور یا بالاتر از آن برد. همینجا می‌توان تکلیف ادّعای مورد بررسی را مشخص کرد،

ادعا: «طبق نظریهٔ نسبیت اینشتین وقتی جسمی به سرعت نور می‌رسد، به نور تبدیل می‌شود.»

طبق نظریهٔ نسبیت اصلاً نمی‌توان جسمی را به سرعت نور رساند، که حالا بعد از آن بخواهد به نور تبدیل بشود یا نشود.

امّا حالا بگذارید به نظریهٔ جالب نسبیت بیشتر بپردازیم و ببینیم تکلیف باقی گزاره‌ها چه می‌شود، در این حین شاید نتیجهٔ بالا هم روشنتر شد. این که سریعترین انتقال اطلاعات با سرعت نور انجام می‌شود حرف برجسته‌ایست. فاصلهٔ خورشید تا زمین ۱۵۰میلیون‌کیلومتر و سرعت نور هم که ۳۰۰هزارکیلومتربرثانیه است. پس نوری که سطح خورشید را ترک می‌کند، ۵۰۰ثانیه طول می‌کشد تا به زمین برسد. چون اطلاعات با نور منتقل می‌شوند، اگر همین الان خورشید منفجر شود تا ۵۰۰ثانیه هیچ کس ذرّه‌ای خبردار نخواهد شد! با اینکه خورشید ترکیده است، امّا همچنان در آسمان زمین خیلی عادّی می‌تابد؛ البته فقط به مدّت ۵۰۰ثانیه (۸دقیقه و ۲۰ثانیه). یعنی اگر خورشید همین الان غیب شود، زمین تا ۸دقیقه دور چیزی که نیست به چرخش ادامه می‌دهد! چون هنوز اطلاعات غیب شدن خورشید به زمین نرسیده است.



مسئلهٔ

- خب می‌توانیم برای انتقال اطّلاعات از اینجا تا یک جای خیلی دور، از یک میلهٔ خیلی بلند استفاده کنیم. اگر از اینطرف میله را هُل دهیم، آنطرف میله تکان می‌خورد. اینطوری می‌توانیم مثلاً با استفاده از **مورس** هر پیامی که می‌خواهیم را انقال دهیم. خب این انتقال اطّلاعات در یک لحظه شد. پس سرعتش بینهایت است و از c بیشتر.
  - این راه حل بر فرض صُلب بودن میله سوار شده است. یعنی اگر میله کاملاً صُلب و سفت باشد، آنوقت به محض اینکه سر میله را به جلو هُل دهیم، ته میله هم باید به جلو برود، چون اگر این اتفاق نیافتد میله فشرده می‌شود و این خلاف فرض ماست که میله کاملاً صُلب است. امّا خب شاید فرض اوّل که میله کاملاً صُلب است فرض درستی نباشد!

- اگر تصویر میله را بزرگنمایی کنیم تا آن را در ابعاد مولکولی و اتمی ببینیم، چه چیزی مشاهده خواهیم کرد؟ تعدادی اتم (الکترون و پروتون) که بینشان مثلاً فضای خالی (خلأ) است. وقتی سر میله را هُل می‌دهیم، درواقع داریم تعدادی از این *اتمها* را هُل می‌دهیم. خب وقتی اتمهای سر میله جلو آمدند بعدش چه می‌شود؟ مگر بین اینها و اتمهای بعدی فضای خالی نیست؟ پس چطور قرار است این حرکت به اتمهای بعدی منتقل شود؟
- اگر اتمهایی که بینشان فضای خالی است بخواهند روی همدیگر تأثیری بگذارند، باید از چیزی استفاده کنند که این فضای خالی را طی کند و به اتم بعدی برسد. یعنی چیزی که در فضای خالی منتشر می‌شود. یعنی همان نور (موج الکترومغناطیس).
- پس اگر اتمهای سر میله را هُل دهیم، اتمهای بعدی پس از گذشت مدّت زمانی تکان خواهند خورد. و این مدّت زمان همان مدّتی است که نور طول می‌کشد تا از یک اتم به اتم دیگری برسد. بنابراین در این روش هم انتقال اطّلاعات در سریعترین حالت با سرعت نور انجام می‌پذیرد.

- پس آیا این یعنی هیچ میلهٔ صُلبی وجود ندارد؟
  - بله، هیچ میلهٔ صُلبی وجود ندارد.

دوباره از همین بحث می‌توان ادّعا را رد کرد. فرض کنید می‌خواهید میله را اینقدر هُل بدهید تا به سرعت نور برسد. اگر به یک نحوی سر میله را به سرعت نور برسانید، قبل از اینکه ته میله خبردار شود که باید با سرعت نور حرکت کند، سر و تهش به یکدیگر خواهند رسید! چرا؟

امّا خب این مسئله که فقط محدود به میله نمی‌شود، همین حرفها را راجع به بقیهٔ چیزها هم می‌شود زد. پس هیچ شیئی صُلب (کاملاً سفت) نیست. درواقع هر جسمی در بهترین حالت آنقدر سفت است که اگر یک طرفش را هُل بدهیم، طرف دیگرش با سرعت نور خبردار می‌شود که کی باید تکان بخورد. یعنی سفت‌ترین جسم عالم هم نهایتاً همینقدر سفت است. هیچ جسمی نیست که از این سفتتر باشد. با این استدلال، *برای سفتیِ اجسام نهایتی وجود دارد.*

حالا اینکه حدّی از سفتی وجود دارد خودش پیامدهای عجیبی می‌تواند داشته باشد. فرض کنید یک نفر زور بسیار زیادی داشته باشد، مثلاً رستم، آنقدر که زورش از این حدّ بیشتر باشد. در این صورت هر جسمی که به رستم بدهید، هرچقدر هم که سفت باشد، رستم می‌تواند آن را فشار دهد و مقداری فشرده کند. امّا بعد از این که جسم مقداری فشرده شد، آیا سفتتر شده است؟ شاید سفتتر شده باشد امّا هرچقدر هم که سفت شده باشد از **حدّ سفتی** که سفت‌تر نیست. در نتیجه، رستم باز هم می‌تواند جسم را فشرده‌تر کند. بنابراین هیچ چیز جلودار رستم نیست تا آن جسم را آنقدر فشرده کند که در نهایت تبدیل به یک نقطه شود! چه عجیب! یادآوری می‌کنم که اینها قصّه نیست و واقعیت است!

درست است که شاید فعلاً رستمی دم دست نباشد، امّا زوری که نیاز داشتیم را می‌توانیم در جاذبه جستجو کنیم. الان شما روی کرهٔ زمین وزنی دارید و به اندازهٔ وزنتان به سمت زمین فشار داده می‌شوید. اگر جرم کرهٔ زمین بیشتر می‌شد، جاذبه‌اش هم بیشتر می‌شد و در نتیجه این فشار افزایش پیدا می‌کرد. مثلاً اگر شتاب جاذبه روی سطح زمین $۹٫۸ m/s^2$ است، روی سطح خورشید $۲۷۴ m/s^2$ است. با افزایش جرم سیاره (یا ستاره) می‌توان جاذبهٔ آن را آنقدر افزایش داد تا زوری که می‌خواستیم تأمین شود. در این لحظه، یک *سیاه‌چاله* خواهیم داشت.

سیاه‌چاله آن محدوده‌ایست که زور جاذبه از حدّ سفتی بیشتر شده است. به همین دلیل هرچیزی که درون سیاه چاله بیاندازید، هر چیزی، به سمت مرکز سیاه‌چاله خواهد رفت و در آن نقطه لِه خواهد شد. مهم نیست چه چیزی بیاندازید، سرنوشت همهٔ اجسام همین خواهد بود. اصلاً

یک جعبهٔ فرضی داخل سیاه‌چاله بیاندازید، این جعبه مستقل از اینکه چیزی داخلش است، محکوم است به مرکز سیاه‌چاله برود. در این جعبه می‌تواند یک موشک فضایی بسیار پرقدرت باشد که با بیشترین توان موتورش سعی در فرار دارد، یا می‌تواند داخل جمعه تعدادی ذرّات نور باشد؛ هیچ کدام از سیاه‌چاله راه فراری ندارند.

