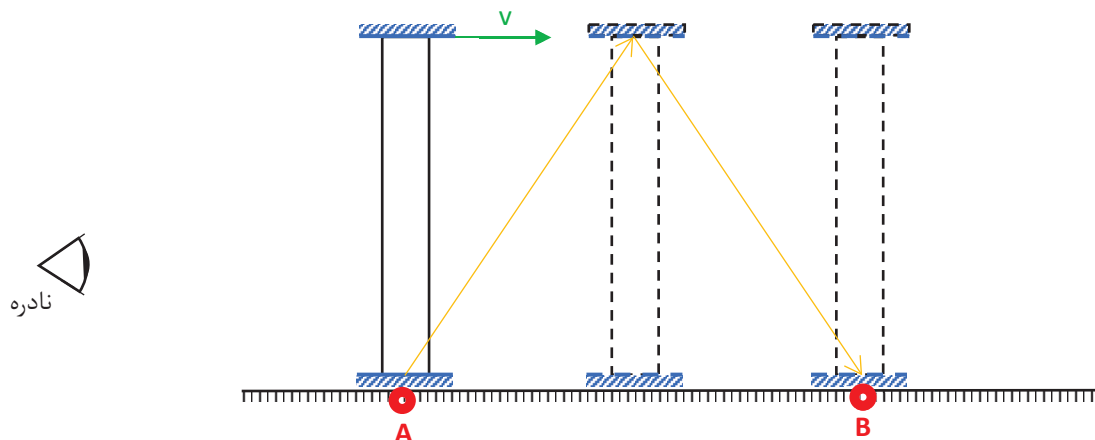


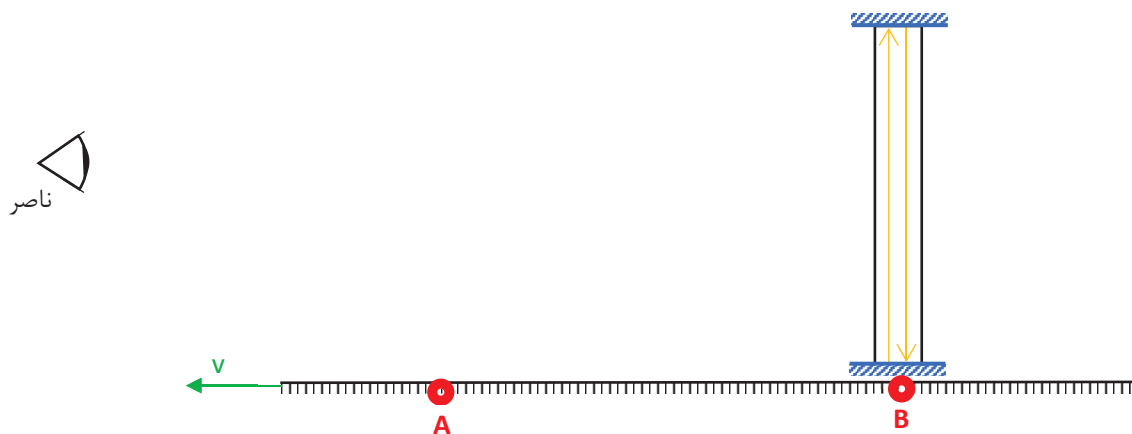
اکنون فرض کنید نادره خطکش بلندی را زیر دستگاه قرار دهد، تا اینگونه بتواند مشخص کند که هر رویداد در چه مکانی رخ می‌دهد. یعنی لحظه‌ای که رویداد (در اینجا تابش و جذب) اتفاق می‌افتد، خطکش کجا است؛ همانجا علامت می‌خورد.



این دو علامت با نقاط  $A$  و  $B$  در شکل بالا مشخص شده‌اند. اگر نادره از خود بپرسد که فاصله بین علامت‌های روی خطکش چقدر است جواب معادل است با همان جابجایی دستگاه که قبلاً هم حساب کرده بودیم:

$$\Delta x_{\text{نادره}} = v \times \Delta t_{\text{نادره}} = \frac{v \times \Delta t_{\text{ناصر}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

اما تصویر از دید ناصر چگونه است؟ خطکش را نادره زیر دستگاه گذاشته بود، یعنی خطکش نسبت به نادره ساکن است. بنابراین از دید ناصر دستگاه ساکن است، اما خطکش با سرعت  $v$  به سمت چپ در حال حرکت است. وقتی نور از آینه پایین تابش می‌شود، روی خطکش علامت  $A$  می‌خورد، سپس خطکش به چپ رفته و وقتی نور دوباره برمی‌گردد و در نقطه اولیه جذب می‌شود، علامت  $B$  هم روی خطکش ثبت می‌گردد.



اگر از ناصر بپرسیم که فاصله بین علامتهای  $A$  و  $B$  چقدر است جواب می‌شود مقدار جابجایی خطکش در مدت زمان بین دو رویداد:

$$\Delta x_{\text{ناصر}} = v \times \Delta t_{\text{ناصر}}$$

با ترکیب دو معادله بالا داریم:

$$\Delta x_{\text{نادره}} = \frac{v \times \Delta t_{\text{ناصر}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\Delta x_{\text{ناصر}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

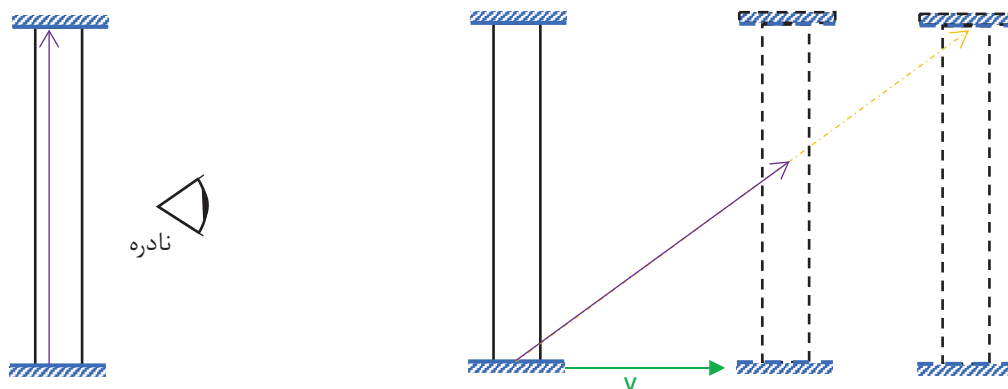
یا

$$\Delta x_{\text{ناصر}} = \Delta x_{\text{نادره}} \times \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

چون  $v$  کوچکتر از  $c$  است، بنابراین فاصله بین دو علامت برای ناصر کمتر از فاصله همان دو علامت برای نادره است! خطکش از دید نادره ساکن و از دید ناصر متحرک است. نتیجه می‌گیریم اجسامی که حرکت می‌کنند طولشان کوچکتر از وقتی می‌شود که ساکن هستند! دقت کنید که این پدیده یک خطای دید و از این قبیل نیست. ما واقعاً فاصله بین دو چیز واقعی را از دید ناظرهای مختلف بررسی کردیم؛ و دیدیم که برای ناظرها، فاصله مذکور متفاوت است. خطکش واقعاً برای ناصر فشرده شده است.

پس طول و زمان نسبی هستند، بدین معنا که از دید ناظرهای مختلف، مختلفند. به کش آمدن زمان جسمی که حرکت می‌کند به اصطلاح «اتساع زمان»<sup>2</sup> و به فشرده شدن طولش «انقباض طول»<sup>3</sup> می‌گویند.

خب حالا بیایید به همان اتساع زمان برگردیم. اینبار تصور کنید که پیش نادره، اینشتین هم نشسته و در حال پیپ کشیدن خودش است. ضمناً حالا که دارید تصوّر می‌کنید، بگذارید یک گپی از دستگاه خودمان بگیریم و این گپی را پیش نادره ساکن بگذاریم بماند. فرض کنید که دستگاه با سرعت بسیار زیادی در حرکت است. هر چه سرعتش بیشتر باشد مسیر نور تا مثلاً آینه بالایی، طولانی‌تر می‌شود. وقتی می‌بینیم که مسیر نور طولانی‌تر شده، می‌فهمیم که زمان بیشتری طول کشیده است.

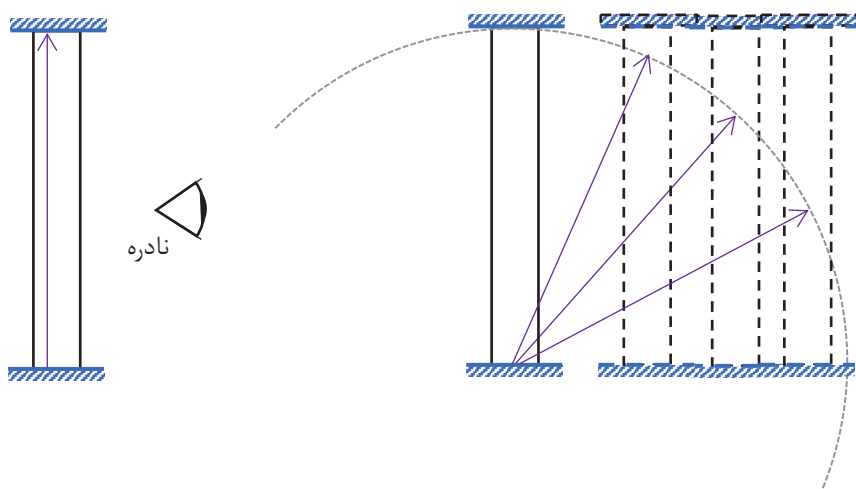


پیکان بنفش مربوط به دستگاهی است که پیش نادره ساکن است. فرض کنید هر وقت نور دستگاه ساکن به آینه بالایی رسید، نادره بپرسد نور در دستگاه متحرک کجاست؟ چون سرعت نور کلاً ثابت است، مسافتی که نور دستگاه ساکن طی می‌کند با مسافتی که نور دستگاه متحرک طی می‌کند یکسان است. در شکل بالا پیکان بنفش سمت راست را هم اندازه با پیکان بنفش سمت چپ گرفته‌ایم؛ بنابراین جواب نادره این

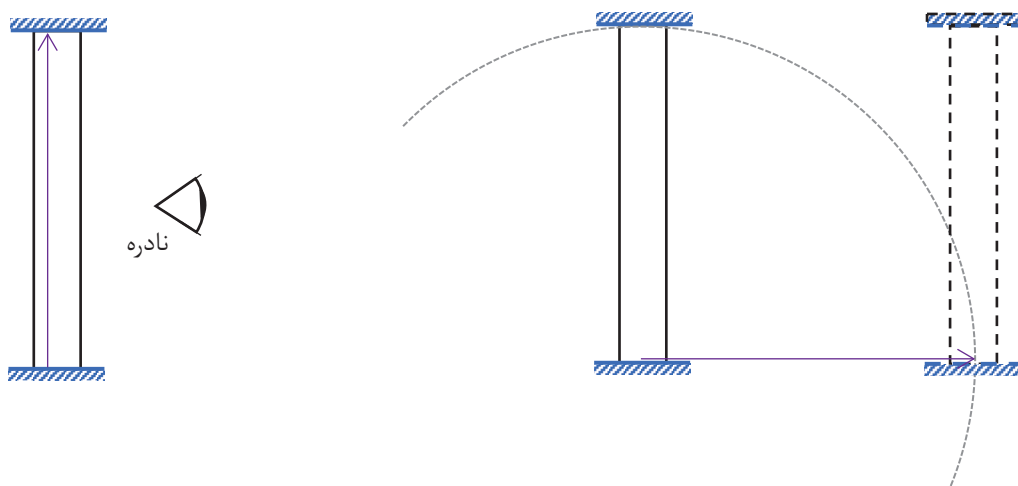
<sup>2</sup> Time dilation

<sup>3</sup> Length contraction

است که مکان نور دستگاه متحرک با نوک پیکان بنفش در شکل مشخص شده است. طور دیگری هم می‌توان به این سؤال پاسخ داد: چون طول پیکان بنفش (مسافتی که نور طی کرده) ثابت است، نوک پیکان باید روی یک دایره باشد<sup>4</sup>. از طرف دیگر نور همچنان باید داخل دستگاه قرار داشته باشد. پس اگر بدانیم دستگاه در این لحظه کجاست، آنوقت اشتراک بین دستگاه و دایره جایی است که نوک پیکان (یا نور) حضور دارد.



در شکل بالا دستگاه‌هایی که با خط‌چین رسم شده‌اند، سرعت‌های مختلف دارند. هر چه دستگاه سریعتر حرکت کند در این لحظه خاص از مکان اولیه خود دورتر شده است، و همانطور که در شکل پیداست نوک پیکان در دستگاه‌های دورتر مجبور است پایین‌تر باشد. پس انگار در دستگاه‌هایی که سریعتر حرکت می‌کنند نور بیشتر جا مانده است و مهلت بیشتری نیاز دارد تا بالاخره به آینه بالایی برسد. پس دستگاه‌های متحرک نسبت به دستگاهی که نزد نادره ساکن است، کندتر تغییر می‌کنند.<sup>5</sup> حالا چه می‌شود اگر سرعت دستگاه متحرک به سرعت نور برسد؟! آنوقت دستگاه باید به اندازه‌ای که نور حرکت کرده است، جابجا شده باشد. این یعنی جابجایی افقی دستگاه به اندازه شعاع دایره است، پس دایره روی خط افق قطع شده و نوک پیکان مجبور است روی خط افق باقی بماند.



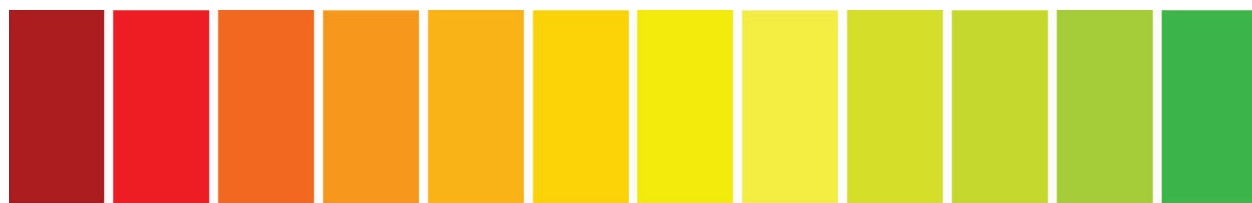
<sup>4</sup> شعاع دایره ثابت است. پس پیکان شعاع دایره‌ایست که مرکز آن روی آینه پایینی است، یعنی همانجایی که نور حرکت خود را آغاز کرده است.

<sup>5</sup> همینجا توجه کنید که برای دیدن تأثیر سرعت در گذر زمان، دستگاه باید به کسر خوبی از سرعت نور رسیده باشد. پس این اثر در سرعت‌های بسیار بالا قابل توجه است.

پس انگار دستگاهی که با سرعت نور حرکت می‌کند هیچ تغییری نکرده و زمان برایش ثابت است.<sup>۶</sup> اما آیا پیپ کشیدن اینشتین که پیش نادره نشسته بود متوقف شده است؟ البته که نه! حرکت آن دستگاه چه ربطی به پدیده‌های دیگر دارد؟ دستگاهی که پیش نادره ساکن است کاملاً عادّی به تغییرات خود ادامه می‌دهد و اصلاً زمان برایش کند نشده است. این درحالی است که از دید ناصر (ناصر را که یادتان هست؟) نادره درحال حرکت با سرعت بسیار زیاد است. اما زمان نادره برای خودش که متوقف نشده است! اصلاً نادره خودش را ساکن می‌بیند، پس چرا باید زمان برایش تغییری بکند؟

بنابراین گرچه زمان و طول نسبی هستند، اما این ادّعای مبهم که: «زمان برای کسی که سرعتش زیادتر است کندتر می‌گذرد. یعنی مثلاً اگر به سرعت نور برسیم زمان برایمان متوقف می‌شود» درست نیست. چون اصلاً عبارت «کسی که سرعتش زیادتر است» در نسبیت معنا ندارد. چراکه سرعت نسبی است و خود ناظر نسبت به خودش سرعت ندارد!

پس این گزاره درست نیست، اما بخاطر ابهامی که توصیف شد، کمی امتیاز بالاتری نسبت به غلط کامل می‌گیرد.



امتیاز: ۳ از ۱۱ - نادرست مبهم

<sup>۶</sup> این را البته به راحتی می‌توانیم از همان معادله‌ای که برای اتساع زمان بدست آوردیم ببینیم. اما خواستیم از تصویر را هم رسم کرده باشیم.