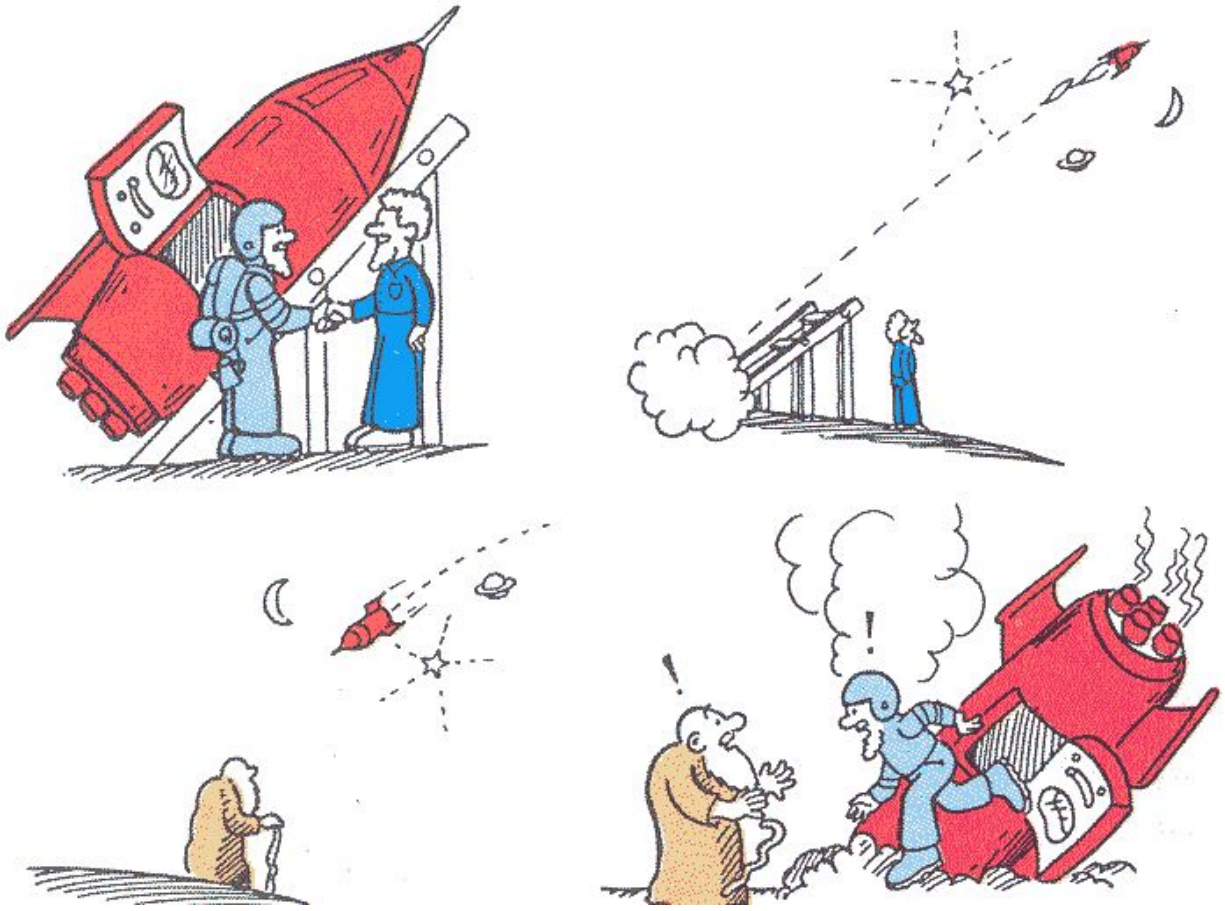
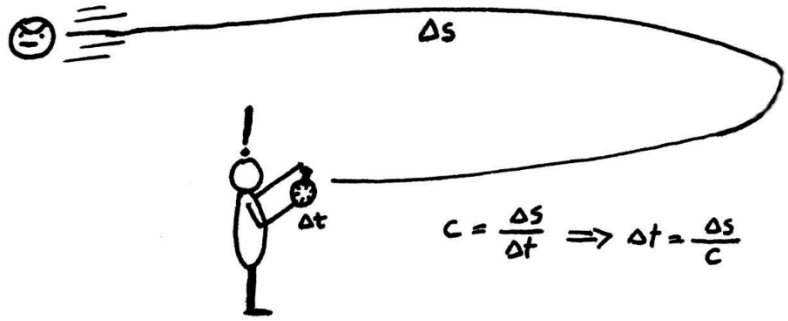
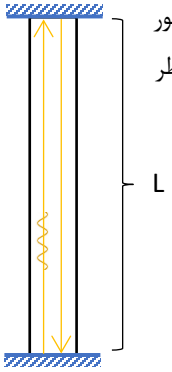
**ادّعا: «طبق نسبیت اینشتین، زمان برای کسی که سرعتش زیادتر است کندتر می‌گذرد. یعنی مثلاً اگر به سرعت نور برسیم زمان برایمان متوقف می‌شود!»**



خب، پس تا اینجای کار با دو اصل نسبیت خاص آشنا شدیم. حالا بیایید یک نگاه دیگر به اصل «سرعت نور» بیاندازیم. سرعت نور (در خلأ) از دید همه یکسان است. بنابراین برای همه مسافتی که نور در زمانی طی می‌کند یک عدد ثابت است. فرض کنید ناظری دکمهٔ زمانسنج (کرونومتر) خود را فشار می‌دهد و نور مسافتی را طی می‌کند تا ناظر دوباره دکمهٔ زمانسنج خود را بفشارد. اگر بدانیم که زمانسنج چه مدّت زمانی را ثبت کرده، فوراً می‌فهمیم که نور چه مسافتی را پیموده است[1]. و برعکس، اگر بدانیم که نور چه مسافتی را پیموده است، دیگر اصلاً نیازی نداریم که به زمانسنج نگاه کنیم، چون مدّت زمانی که گذشته است، مسافت طی شده توسط نور تقسیم بر سرعت نور است. (سرعت نور را با c نشان می‌دهیم.)




پس کافی است در صحنه‌ای ببینیم که نور بین دو رویداد مسافتی را طی کرده است. زمانی که بین آن دو رویداد گذشته *حتماً مسافت نور تقسیم بر سرعت نور است*. از طرفی چون سرعت نور برای همه یکسان است، این روش هم برای همه یکسان است. در شکل بالا، دو رویدادی که زمان را بینشان سنجیدیم، دو بار فشرده شدن دکمهٔ زمانسنج بود. امّا حالا می‌توان هر دو رویداد دیگری را نیز در نظر گرفت. مثلاً فرض کنید که مانند شکل، دو آینه را با فاصلهٔ L مقابل یکدیگر قرار داده‌ایم. از آینهٔ پایینی یک نور به آینهٔ بالایی می‌تابانیم. نور می‌رود و بازتاب می‌شود و برمی‌گردد به آینهٔ اوّل و در آنجا جذب می‌شود. اینبار دو رویدادمان را تابش و جذب نور در نظر می‌گیریم. در این شکل مسیر نور بین دو رویداد را با پیکان زرد مشخّص کرده‌ایم. بنابراین ناظری که چنین صحنه‌ای را می‌بیند مسافت طی شده توسط نور را 2L و درنتیجه زمان بین دو رویداد را 2L/c می‌سنجد. *برای این ناظر:*



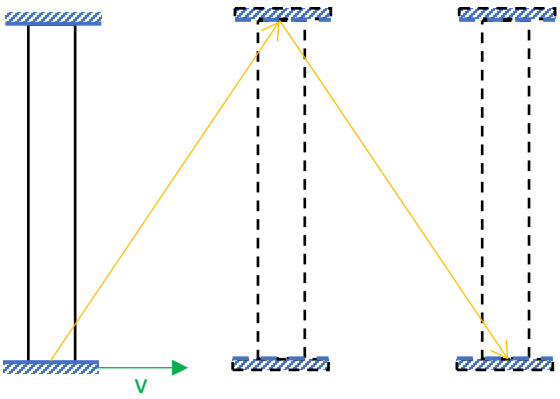

$$\Delta t = \frac{2L}{c}$$

خب، حالا فرض کنید ناظر دیگری با سرعت افقی v در حال رد شدن از کنار ناظر قبلی باشد. بد نیست برای ناظرها اسم بگذاریم که راحتتر صدایشان کنیم. ناظر اوّل: ناصر؛ ناظر دوم: نادره. پس معادلهٔ بالا را به شکل بهتر زیر می‌نویسیم:

$$\Delta t_{\text{ناصر}} = \frac{2L}{c}$$

[1] چون سرعت یعنی مقدار جابجایی تقسیم بر زمانی که طول کشیده است تا این جابجایی صورت پذیرد. یا $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$.

نادره نسبت به ناصر با سرعت افقی v در حال حرکت است. یعنی ناصر می‌بیند که خودش ساکن است و نادره به سمت چپ می‌رود و نادره می‌بیند که خودش ساکن است و ناصر به سمت راست می‌رود. از دید ناصر است که آینه‌ها حرکت نمی‌کنند؛ امّا از دید نادره که ناصر را در حرکت می‌بیند، کل دستگاه هم همراه با ناصر در حرکت است. پس تصویر (و دو رویداد) از دید نادره چنین است:



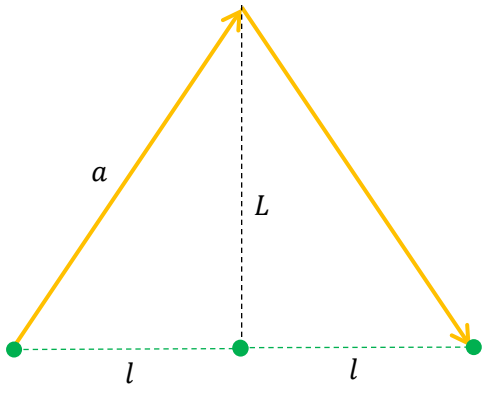




در شکل بالا می‌بینیم که دستگاه با سرعت v به سمت راست در حال حرکت است. لحظهٔ اوّل دستگاه با خطوطِ کامل ترسیم و در لحظات بعد با خط چین نشان داده شده است. مسیر نور را همچنان پیکانهای زرد مشخص می‌کنند. حالا سؤالی که فوراً می‌پرسیم این است که زمان بین دو رویداد چقدر است؟ جواب همانطور که می‌دانیم مسافت نور بین دو رویداد تقسیم بر سرعت نور است.

$$\Delta t_{\text{نادره}} = \frac{\text{مسافت}}{c}$$

مسافت چقدر است؟ کمی هندسه بازی کنیم:




طبق قاعدهٔ فیثاغورس:

$$a^2 = l^2 + L^2$$

امّا a فقط طول یک پیکان و درنتیجه نصف مسافت طی شده توسط نور است. پس باید a را دوبرابر کنیم تا کل مسافت بدست بیاید. اگر وتر مثلث قائم‌الزاویه را دوبرابر کنیم، هر دو ضلع دیگرش هم دوبرابر می‌شوند (تا مثلث راستگوشه بماند). پس

$$(2a)^2 = (2l)^2 + (2L)^2$$

حالا 2l، کل جابجای افقی دستگاه بین دو رویداد است. چون دستگاه با سرعت افقی v حرکت می‌کند، این جابجایی برابر می‌شود با v ضربدر مدّت زمان بین دو رویداد:

$$2l = v \times \Delta t_{\text{نادره}}$$

از طرف دیگر 2a هم کل مسافت طی شده توسط نور است بنابراین

$$2a = c \times \Delta t_{\text{نادره}}$$

با ترکیب همهٔ اینها داریم:

$$\left(c \times \Delta t_{\text{نادره}}\right)^2 = \left(v \times \Delta t_{\text{نادره}}\right)^2 + (2L)^2$$

در نتیجه:

$$(c^2 - v^2)\left(\Delta t_{\text{نادره}}\right)^2 = (2L)^2 \Rightarrow \Delta t_{\text{نادره}} = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

الان وقتش است که یادمان بیاید زمان بین دو رویداد برای ناصر چه بود! العجب! زمانی که برای نادره و ناصر گذشته است یکسان نیست! از معادلهٔ بالا مشخص است که هرچه $v$ بیشتر باشد، مخرج کوچکتر و مدّت زمان بلندتر می‌شود. پس زمان بین دو رویداد برای نادره طولانی‌تر است. یعنی همان دو رویداد را وقتی ناصر می‌بیند در فاصلهٔ زمانی کمتری رخ می‌دهند! فرض کنید دو رویداد ما تیک خوردن ثانیه شمار یک ساعت از علامتی به علامتی دیگر می‌بود. آنوقت ناصر این تیک خوردن را عادّی می‌دید، یعنی یک تیک در ثانیه. امّا برای نادره این چنین نیست. نادره فاصلهٔ بین تیکها را طولانی‌تر می‌بیند. *ساعتی که حرکت است، کندتر تیک‌تیک می‌کند.*

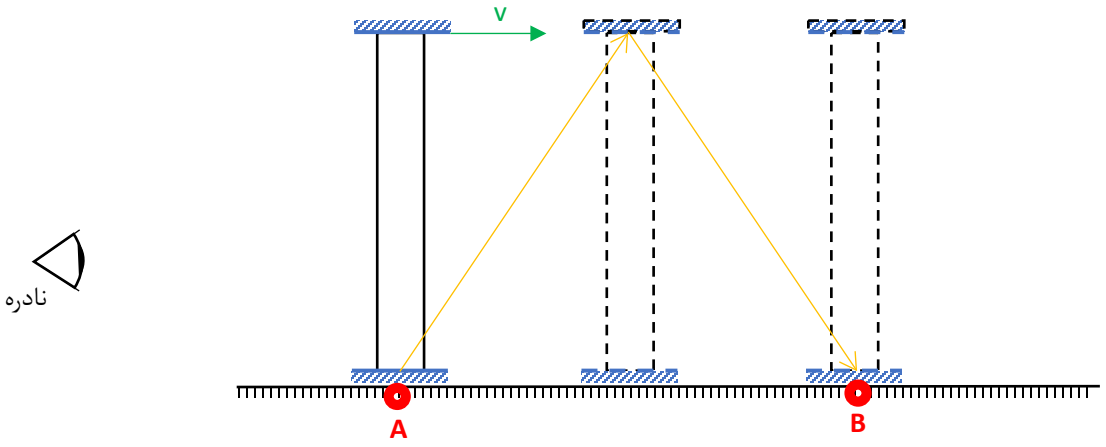
بگذارید با کمی عملیات جبری، این دو زمان را با هم قیاس کنیم:

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

از این رویداد تا آن رویداد، زمانی که برای نادره و ناصر گذشته متفاوت است؛ این دو زمان با معادلهٔ بالا به هم مربوط می‌گردند.

قضیه به اینجا ختم نمی‌شود. کمی استراحت کنید تا بقیه‌اش را ادامه دهیم. نتیجه‌گیری دربارهٔ درستی یا غلطی ادّعا را هم در ادامه خواهیم دید.

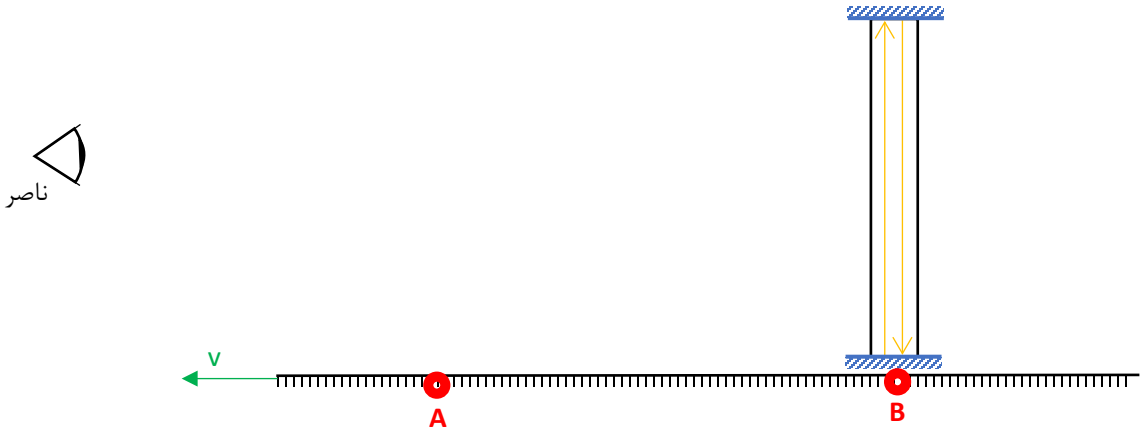
اکنون فرض کنید نادره خطکش بلندی را زیر دستگاه قرار دهد، تا اینگونه بتواند مشخص کند که هر رویداد در چه مکانی رخ می‌دهد. یعنی لحظه‌ای که رویداد (در اینجا تابش و جذب) اتفاق می‌افتد، خطکش کجا است؛ همانجا علامت می‌خورَد.




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

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

امّا 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، امّا خطکش با سرعت $v$ به سمت چپ در حال حرکت است. وقتی نور از آینهٔ پایین تابش می‌شود، روی خطکش علامت $A$ می‌خورد، سپس خطکش به چپ رفته و وقتی نور دوباره برمی‌گردد و در نقطهٔ اولیه جذب می‌شود، علامت $B$ هم روی خطکش ثبت می‌گردد.




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

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

با ترکیب دو معادلهٔ بالا داریم:

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

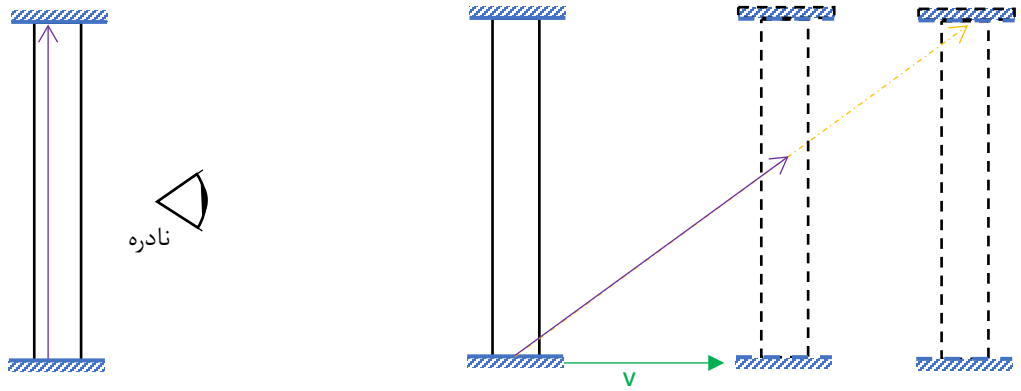
یا

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

چون $v$ کوچکتر از $c$ است، بنابراین فاصلهٔ بین دو علامت برای ناصر کمتر از فاصلهٔ همان دو علامت برای نادره است! خطکش از دید نادره ساکن و از دید ناصر متحرکت است. نتیجه می‌گیریم اجسامی که حرکت می‌کنند طولشان کوچکتر از وقتی می‌شود که ساکن هستند! دقّت کنید که این پدیده یک خطای دید و از این قبیل نیست. ما واقعاً فاصلهٔ بین دو چیز واقعی را از دید ناظرهای مختلف بررسی کردیم؛ و دیدیم که برای ناظرها، فاصلهٔ 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 زمانِ جسمی که حرکت می‌کند به اصطلاح «اتّساع زمان»[2] و به فشرده شدن طولش «انقباض طول»[3] می‌گویند.

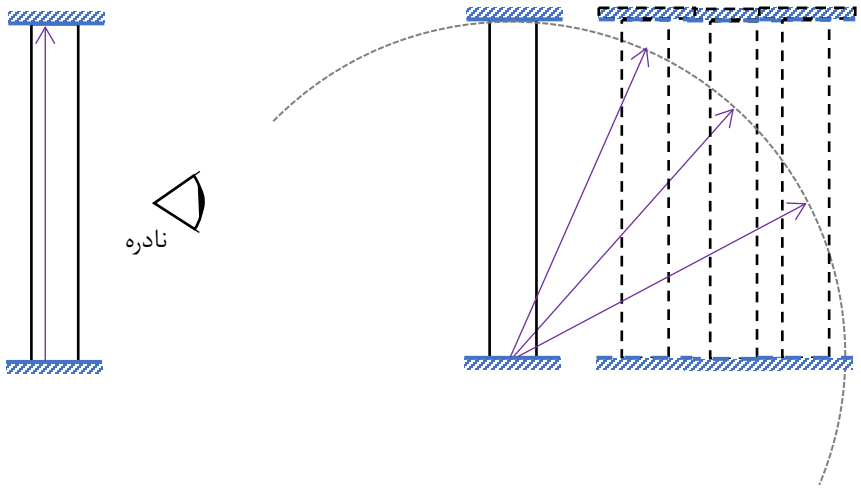
خب حالا بیایید به همان اتساع زمان برگردیم. اینبار تصور کنید که پیش نادره، اینشتین هم نشسته و در حال پیپ کشیدن خودش است. ضمناً حالا که دارید تصوّر می‌کنید، بگذارید یک کُپی از دستگاه خودمان بگیریم و این کُپی را پیش نادره ساکن بگذارایم بماند. فرض کنید که دستگاه با سرعت بسیار زیادی در حرکت است. هر چه سرعتش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



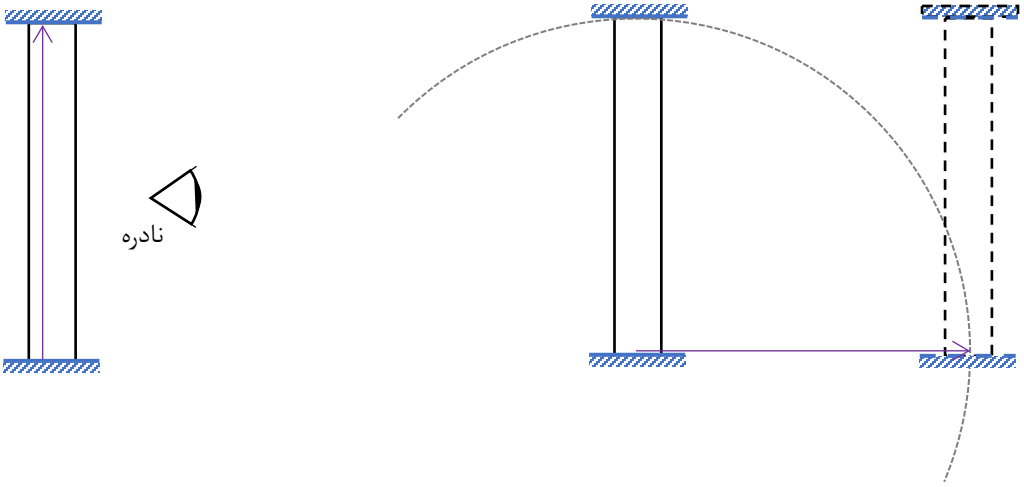

پیکان بنفش مربوط به دستگاهی است که پیش نادره ساکن است. فرض کنید هر وقت نور دستگاه ساکن به آینهٔ بالایی رسید، نادره بپرسد نور در دستگاه متحرک کجاست؟ چون سرعت نور کلاً ثابت است، مسافتی که نور دستگاه ساکن طی می‌کند با مسافتی که نور دستگاه متحرک طی می‌کند یکسان است. در شکل بالا پیکان بنفشِ سمت راست را هم‌اندازه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

[2] Time dilation
[3] Length contraction

است که مکان نورِ 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[4]. 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 لحظهٔ خاص از مکان اولیهٔ 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 آینهٔ بالایی برسد. پس دستگاه‌های متحرک نسبت به دستگاهی که نزد نادره ساکن است، کندتر تغییر می‌کنند.[5] 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 اندازهٔ شعاع دایره است، پس دایره روی خط افق قطع شده و نوک پیکان مجبور است روی خط افق باقی بماند.



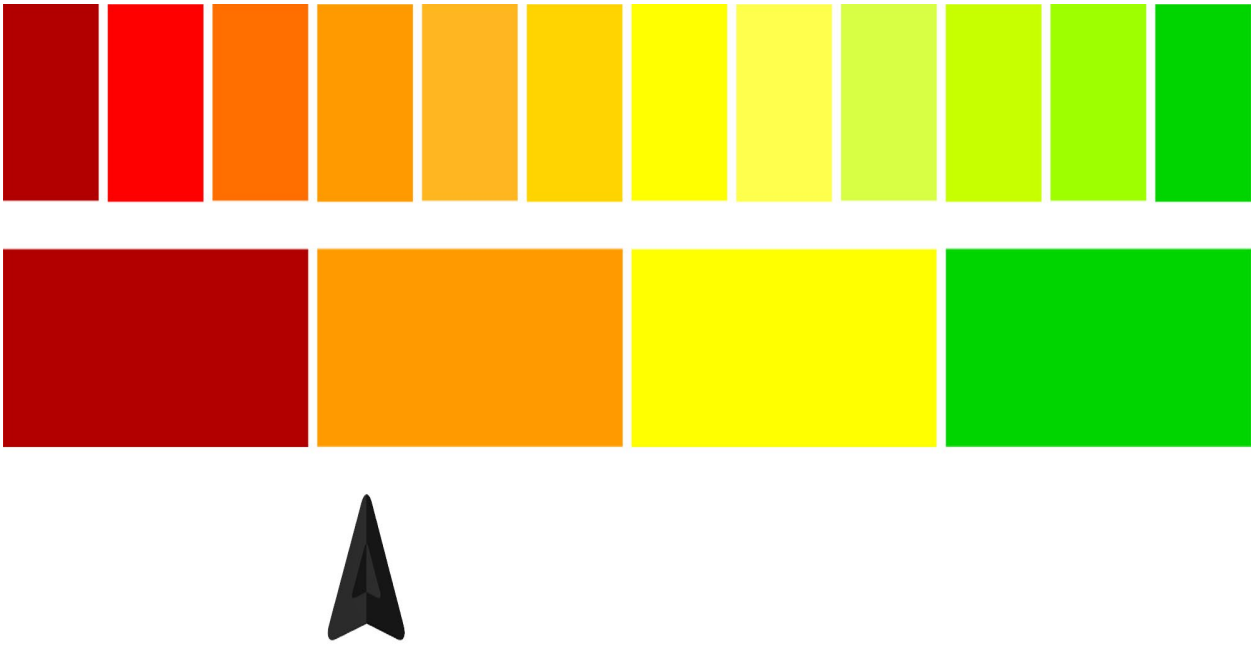

[4] شعاع دایره ثابت است. پس پیکان شعاع دایره‌ایست که مرکز آن روی آینهٔ پایینی است، یعنی همانجایی که نور حرکت خود را آغاز کرده است.

[5] 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[6]. امّا 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. امّا 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، امّا 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، امّا بخاطر ابهامی که توصیف شد، کمی امتیاز بالاتری نسبت به غلط کامل می‌گیرد.



امتیاز: ۳ از ۱۱ – نادرست مبهم

[6] این را البته به راحتی می‌توانیم از همان معادله‌ای که برای اتساع زمان بدست آوردیم ببینیم. امّا خواستم این تصویر را هم رسم کرده باشم.