نسبیت در فیزیک کلاسیک در جلسات قبل مرور شده است. همچنین آزمایش مایکلسون - مورلی توضیح داده شده است. به نقطه ای رسیده ایم که لزوم تصحیح مکانیک نیوتنی و تصحیح نسبیت نیوتنی روشن شده است.

اصل موضوع های اینشتین در ارائه نسبیت خاص

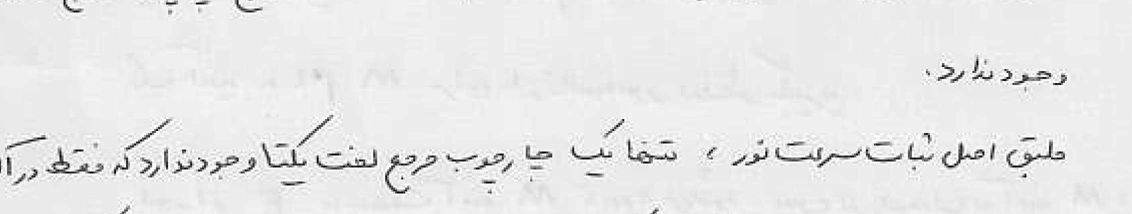
۱ - اصل نسبیت : قانون های فیزیک در همه چارچوب های مرجع لخت یکسان است.

۲ - اصل ثبات سرعت نور : سرعت نور در خلأ در همه چارچوب های مرجع لخت یکسان و برابر با $c = 3\times10^{8} \frac{m}{s}$ است.

نسبیت خاص براساس دو اصل موضوع فوق بنا شده است و در سال ۱۹۰۵ توسط اینشتین ارائه شده است.

طبق اصل نسبیت، همه چارچوب های لخت هم ارز هستند و هیچ چارچوب مرجع ممتازی وجود ندارد.

طبق اصل ثبات سرعت نور، تنها یک چارچوب مرجع لخت یکتا وجود ندارد که فقط در آن سرعت نور برابر با c باشد، بلکه سرعت نور در همه چارچوب های لخت یکسان است.



سرعت نور گسیلی از چشمه نسبت به ناظر ۱ و ۲ و ۳ یکسان و برابر با c است.

به طور آشکار می توان دریافت که این دو اصل هردو امکان کنار گذاشتن فرضیه اتر را فراهم می کنند.

پیامدهای اصل موضوع های اینشتین:

۱- نسبیت زمان (اتساع زمان)

۲- نسبیت طول (انقباض طول)

۳- جمع سرعت نسبتی

۴- اثر دوپلر نسبتی

نسبیت زمان یا اتساع زمان

یک دستگاه فرستنده نور به نام E درنظر بگیرید Emitter

یک دستگاه دریافت کننده نور به نام D درنظر بگیرید Detector

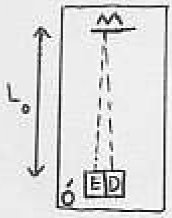
یک آئینه به نام M برای بازتاب نور درنظر بگیرید.

نور از E به سمت آئینه M تابیده می شود. پس از رسیدن به آئینه M، نور بازتاب می کند و به سمت آشکارساز D می رود.

این فرایند از دید ۲ ناظر O و O' قابل درک و مشاهده می باشد.

این فرایند را درون محفظه ای به طول L_0 درنظر بگیرید

O′ ناظر ساکن درون محفظه است



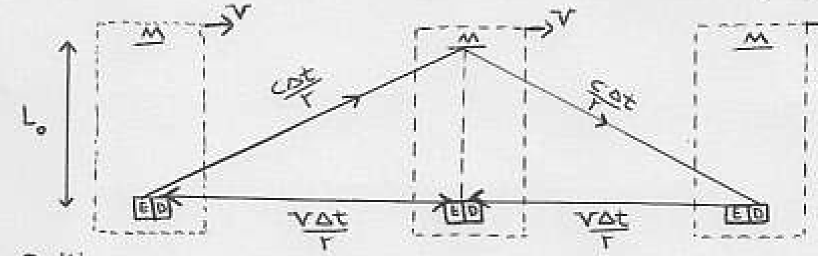
$$\Delta t_0 = \frac{L_0}{c} + \frac{L_0}{c} = \frac{2L_0}{c} \qquad (1)$$

ناظر O′ نسبت به فرآیند گسیل و دریافت نور ساکن است.

از دیدگاه O′ زمان رفت و برگشت نور برابر با Δt_0 است.

ناظر O روی زمین ساکن است. از دید ناظر O، محفظه آزمایش همراه با D و E و M

با سرعت v در حال حرکت است



ناظر O
ساکن روی زمین

از دید ناظر O، زمان رفت و برگشت نور از $E \to M \to D$ برابر

با Δt درنظر گرفته می‌شود. محفظه آزمایش نسبت به O با سرعت v در حال حرکت.

$$\left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2 = \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2 + L_0^2 \longrightarrow (c^2 - v^2)\frac{\Delta t^2}{4} = L_0^2$$

$$\Delta t = \frac{2L_0}{c\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \qquad (2)$$

$$(1), (2) \Longrightarrow \boxed{\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}$$

رابطه اتساع زمان

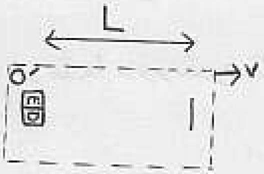
Δt_0 به ویژه زمان معروف است و از دید ناظر ساکن نسبت به رویداد اندازه‌گیری می‌شود

از آنجاکه $v<c$ است، می‌توان نتیجه گرفت:

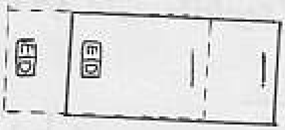
$$\boxed{\Delta t > \Delta t_0}$$

ص ۴

نسبیت طول (انقباض طول)



ناظر O
ساکن روی زمین



ناظر O' درون محفظه و ناظر O روی زمین ساکن هستند.

این بار مسیر حرکت محفظه در راستای مسیر انتشار نور است.

$\Delta t_1 =$ زمان رفت نور از E به M از دید ناظر O و $c\Delta t_1 = L + v\Delta t_1 \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{L}{c-v}$

$\Delta t_2 =$ زمان برگشت نور از M به D از دید ناظر O و $c\Delta t_2 = L - v\Delta t_2 \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{L}{c+v}$

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 = \frac{L}{c-v} + \frac{L}{c+v} = \frac{2L}{c(1-\frac{v^2}{c^2})}$$

$$\Delta t \overset{\star}{=} \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$ و از قبل می‌دانیم $\Delta t_0 = \frac{2L_0}{c}$

با جایگذاری Δt_0 و Δt در رابطه ★ به دست می‌آید

$$\frac{2L}{c(1-\frac{v^2}{c^2})} = \frac{\frac{2L_0}{c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \boxed{L = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

انقباض طول

$\boxed{L < L_0}$

L_0 به ویژه طول معروف است. از آنجا که $v<c$ است، پس

L_0 توسط ناظر ساکن در محفظه آزمایش اندازه‌گیری می‌شود.

مثال) یک خط کش به طول ساکن یک متر با چه سرعتی در امتداد طولش از شما دور شود تا شما طول ۰٫۹۹ متر را برایش اندازه گیری کنید؟

$$L = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c}} \longrightarrow \left(\frac{L}{L_0}\right)^2 = 1-\frac{v^2}{c^2}$$

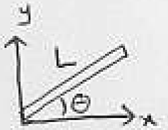
$$\left(\frac{0.99}{1}\right)^2 = 1-\frac{v^2}{c^2}$$

$$v = 0.141\,c$$

مثال) چه زمانی طول می کشد که یک خط کش واحد (یک متری) با سرعت ۰٫۶c در امتداد طولش از مقابل شما عبور کند؟

$$t = \frac{L}{v} = \frac{L_0\sqrt{1-v^2/c^2}}{v} = \frac{1\sqrt{1-(0.6)^2}}{0.6\,c} = 4.44\times10^{-9}\,s$$

مثال) یک خط کش به طول سکون L در صفحه xy در حال سکون است و با محور x زاویه θ می سازد. برای ناظری که با سرعت v در امتداد جهت مثبت محور x در حال حرکت است، طول میله و زاویه آن را بیابید.



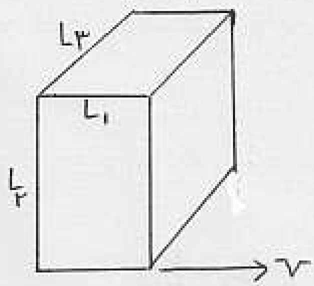
$$L_x = L\cos\theta \qquad L_y = L\sin\theta \Longrightarrow L'_x = L\cos\theta\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad L'_y = L\sin\theta$$

$$\longrightarrow L' = \sqrt{L'^2_x + L'^2_y} = \sqrt{L^2\cos^2\theta\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right) + L^2\sin^2\theta}$$

$$L' = L\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}\cos^2\theta}$$

$$\tan\theta' = \frac{L'_y}{L'_x} = \frac{L\sin\theta}{L\cos\theta\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\tan\theta}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

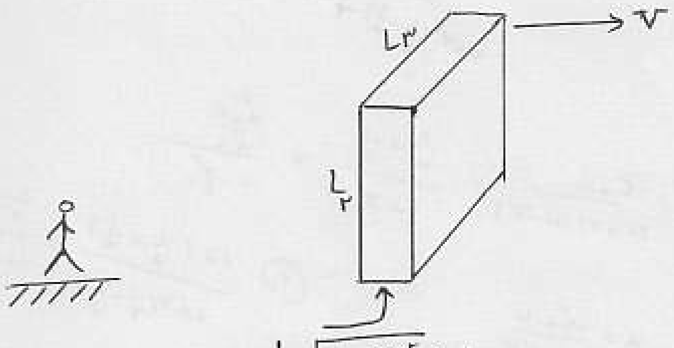
مکعب مستطیلی با اضلاع L_1 و L_2 و L_3 را در نظر بگیرید.



اگر مکعب مستطیل در امتداد طول L_1 نسبت به ناظر حرکت کند، L_1 انقباض یافته اندازه‌گیری می‌شود

ولی L_2 و L_3 به عنوان اضلاعی عمود بر راستای L_1 تغییر نمی‌کنند

در امتداد حرکت، طول انقباض یافته می‌شود.



$$L_1\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} < L_1$$

L_2 و L_3 اضلاعی هستند که عمود بر راستای حرکت نسبی هستند.

L_2 و L_3 تغییر نمی‌کنند. اما L_1 که در امتداد حرکت نسبی است انقباض می‌یابد و طول آن از دید ناظر نسبت به طول ویژه، کاهش یافته، اندازه‌گیری می‌شود.