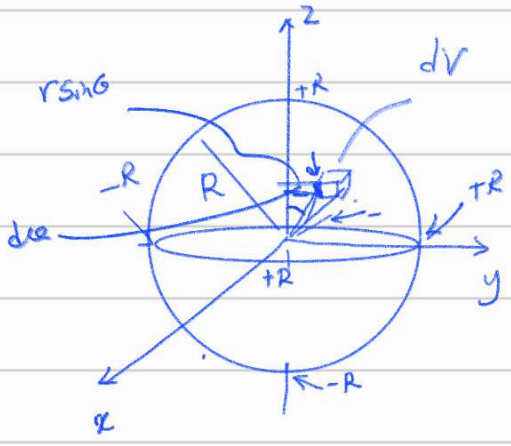
بسم الله الرحمن الرحيم

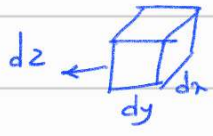
حلب ٢٠/١٢/١٤٠٢

$$\int d^d r = \underbrace{\int dx \int dy \int dz \int}_{*d}$$

$$\int \vec{V} = \int d^3 r = \int dx \int dy \int dz$$

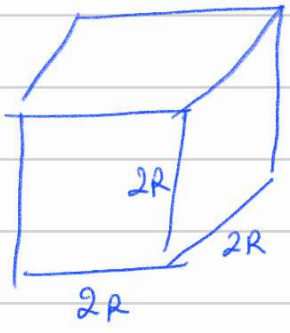


$$\frac{4}{3}\pi R^3 = V_R = \int_{V_R} dV = \int_{V_R} dx\,dy\,dz$$

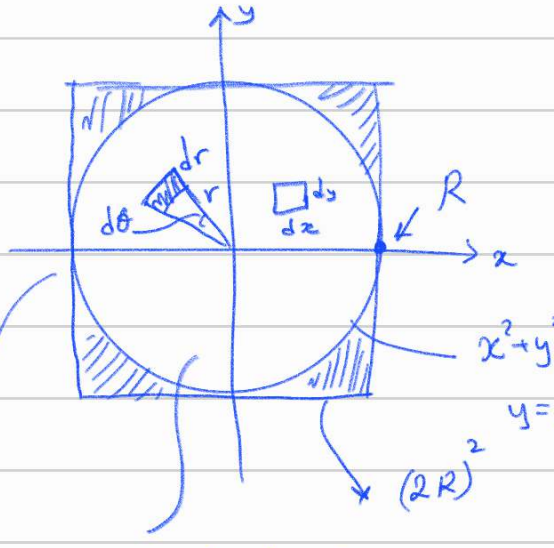


$$4\pi R^2 = A_R = \int_{A_R} dA$$

$$V_R = \int_{-R}^{+R} dx \int_{-R}^{+R} dy \int_{-R}^{+R} dz = 8R^3$$



$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2$$



$$\int_{-R}^{+R} dx \int_{-R}^{+R} dy$$

$$= \int_{-R}^{+R} dx \int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{+\sqrt{R^2-x^2}} dy =$$

$$\pi R^2 \neq 4R^2$$

3.14

$$dA = dx\,dy\Big|_{\text{Condition}} = r\,dr\,d\theta$$

$$A = \int dx \int dy = \int_0^R dr\, r \int_0^{2\pi} d\theta = 2\pi \left. \frac{r^2}{2} \right|_0^R = \pi R^2$$

Spherical Coordinate

$$dV = dx\,dy\,dz = dr \cdot r\,d\theta \cdot r\sin\theta\, d\varphi$$

(dr: شعاعی، rdθ: طول، r sinθ dφ: عرضی)

$$= dr\,d\theta\,d\varphi\, r^2 \sin\theta$$

$$dx\,dy\,dz = dr\,d\theta\,d\varphi\, r^2 \sin\theta$$

(dr: شعاعی، rdθ: طول، r sinθ dφ: عرضی)

$$\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} d\theta \sin\theta \int_0^R dr\, r^2$$

$$2\pi \times \left. -\cos\theta \right|_0^{\pi} \times \left. \frac{r^3}{3} \right|_0^R$$

$$2 \times \frac{R^3}{3}$$

$$V = \frac{4R^3}{3}\pi$$

2.2 The Michelson-Morley Experiment

آزمایش مایکلسون-مورلی

① ناظر (observer) ← اندازه‌گیری یک رویداد

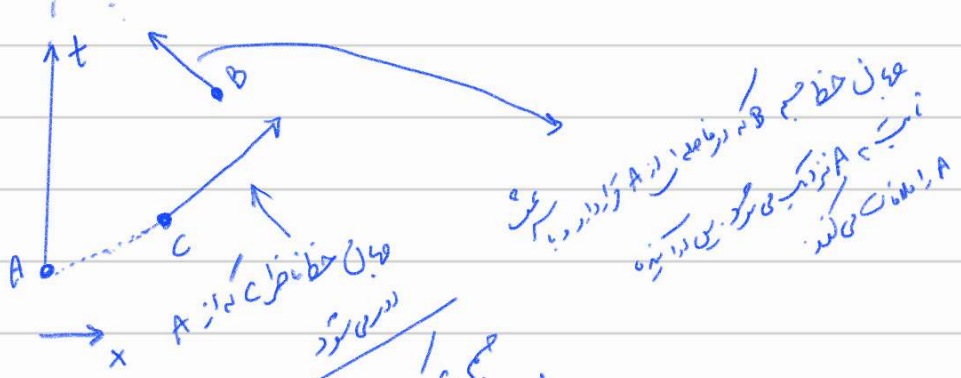
event — رویداد

measurement — اندازه‌گیری

Measurement → Location $(x, y, z) \equiv r$

Measurement → Time t

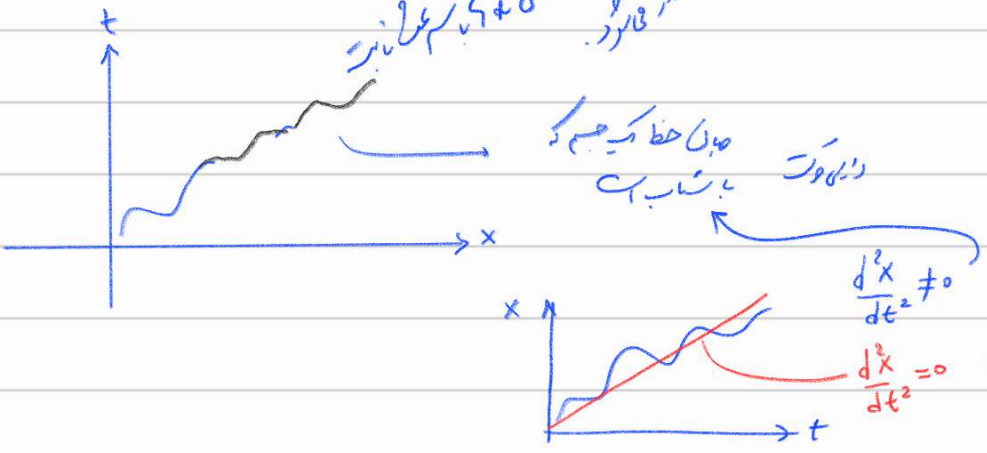
World-line $(r; t)$ — جهان خط یک رویداد



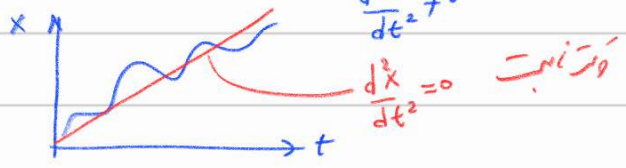
جهان خط جسم B نسبت به ناظری که در مبدأ A قرار دارد و با آن ساکن است

جهان خط ناظری که از A حرکت می‌کند و در لحظه‌ای از C می‌گذرد

جسم C به فاصله‌ی صفر از A در لحظه‌ی t صفر با سرعت ثابت حرکت می‌کند



جهان خط یک جسم که با شتاب حرکت می‌کند



وتر نابت

Postulate → کلیه قوانین فیزیک نسبت به ناظرهای لخت یکسان هستند

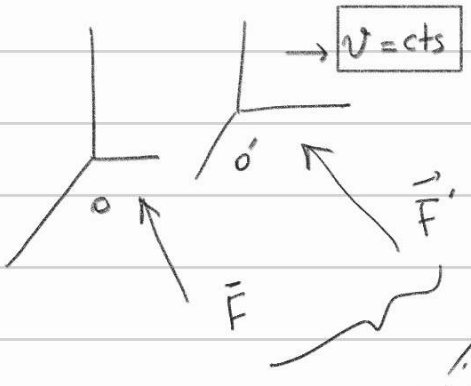
Inertial observers

$v = cts$

Invariant نامتغیر ← بدون تغییر هستند

تبدیلات گالیله روشی ساختارمند در پاسخ به تعیین قوانین فیزیک نسبت به ناظرهای لخت می‌دهد.

قوانین مکانیک نیوتنی تحت تبدیلات گالیله در ناظرهای لخت نامتغیر هستند



$\vec{F} \xrightarrow{\text{Galilean Transformation}} \vec{F}'$

نامتغیری قوانین مکانیک

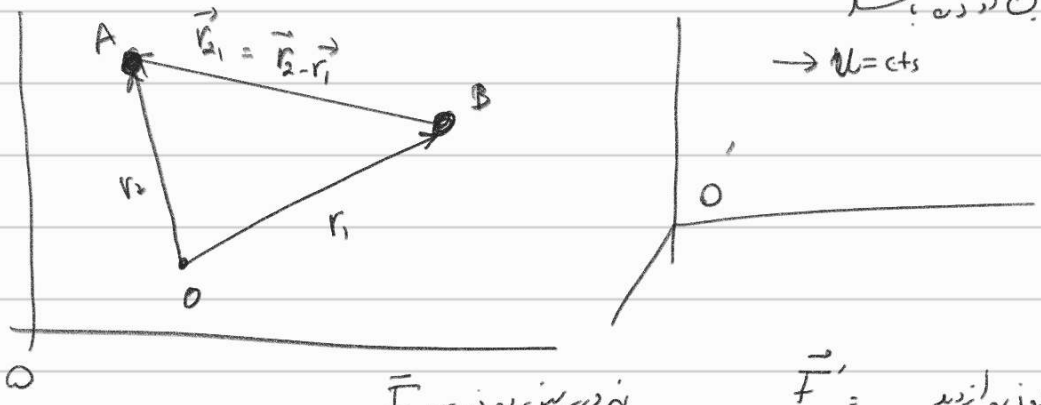
$$\vec{F} = \vec{F}'$$

Ex 1:

$\vec{F} = -\vec{\nabla}\phi$ ← انرژی پتانسیل

$* \quad \vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -\vec{\nabla}\phi(r) \quad *$

فرض: انرژی پتانسیل بین دو ذره باشد



$\vec{F}$: نیروی بین دو ذره، از دید ناظر ساکن O

$\vec{F}'$: نیروی بین دو ذره از دید ناظر که با سرعت ثابت u در حرکت است

$\vec{F}' \stackrel{?}{=} \vec{F}$

اثبات

$\vec{F}' = m\vec{a}' = -\vec{\nabla}'\phi'(r')$

$\phi'(r') = \phi(r)$

$\phi(r') = \phi(r)$

$|r_{12}| = |r_{12}| = r = \sqrt{(x_2-x_1)^2 + (y_2-y_1)^2 + (z_2-z_1)^2}$

$= |r_{21}|$

$r = r' = \sqrt{(x_2'-x_1')^2 + (y_2'-y_1')^2 + (z_2'-z_1')^2}$

$x' = x - ut$

$y' = y$

$z' = z$

$t' = t$

$x_2' = x_2 - ut$

$x_1' = x_1 - ut$

$(x_2'-x_1') = (x_2-x_1)$

$-\vec{\nabla}\phi(r) \stackrel{?}{=} -\vec{\nabla}'\phi'(r')$

$\vec{F} \stackrel{?}{=} \vec{F}'$

$\vec{\nabla}\phi(r) = \frac{\partial}{\partial x}\phi(r)\hat{i} + \frac{\partial}{\partial y}\phi(r)\hat{j} + \frac{\partial}{\partial z}\phi(r)\hat{k}$

$$\frac{\partial \phi(r)}{\partial x_1} = \frac{\partial \phi}{\partial r_{12}} \left(\frac{\partial r_{12}}{\partial x_1}\right) = \frac{\partial \phi}{\partial r_{12}} \frac{(x_2 - x_1)}{r_{12}}$$

$$\frac{\partial \phi'}{\partial x_1'} = \frac{\partial \phi'}{\partial r_{12}'} \frac{\partial r_{12}'}{\partial x_1'} = \frac{\partial \phi'}{\partial r_{12}'} \frac{(x_2' - x_1')}{r_{12}'}$$

$$r_{12}' = r_{12}$$

اهم نتایج مربوط به تبدیلات گالیله و نادرستی قوانین نیوتن

☆ هیچ آزمایش مکانیکی که در چارچوب های لخت انجام شده باشد نمی تواند اطلاعاتی در خصوص حرکت چارچوب نسبت به سایر چارچوب های لخت به ما بدهد.

☆ یعنی هیچ روشی برای تعیین سرعت مطلق یک چارچوب لخت توسط آزمایش های مکانیکی وجود ندارد

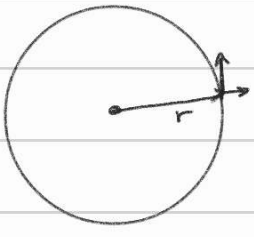
☆ از زاویه دید قوانین مکانیک چارچوب های لخت هیچ ارجحیتی بر هم ندارند.

☆ هیچ دستگاه مطلق ساکن تا این لحظه ثبت ـــــ ناظر لخت مرجع وجود ندارد.

{ Preferred observer / Inertial }

گزاره های بالا تحت عنوان نسبیت نیوتنی شناخته می شوند

$$\vec{r} = r\hat{r}$$



$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dr}{dt}\hat{r} + r\frac{d\hat{r}}{dt}\hat{\theta} = v\hat{r} + r\omega\hat{\theta}$$

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{d^2r}{dt^2}\hat{r} + \frac{dr}{dt}\frac{d\hat{r}}{dt} + \frac{dr}{dt}\frac{d\hat{r}}{dt} + r\frac{d^2\hat{r}}{dt^2}$$

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -r\alpha\hat{r} = -r\omega^2\hat{r} = a \neq 0 \qquad v \neq cts$$

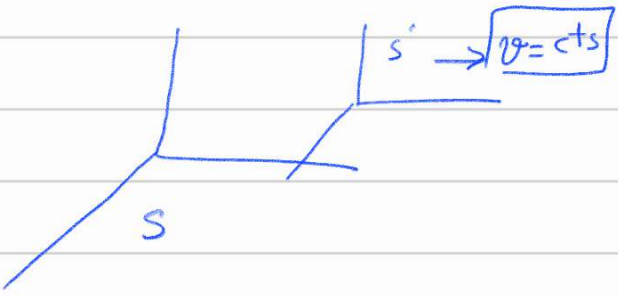
الکترومغناطیس و جای قوانین مکانیک

می‌خواهیم ببینیم که علاوه بر قوانین مکانیک سایر قوانین فیزیک مثل الکترومغناطیس نیز در برابر گزاره‌های نسبیت نیوتنی رفتار متقارنی دارند؟

سرعت c به طور صریح وجود دارد.

سرعت انتشار امواج الکترومغناطیسی $C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2.997925 \times 10^8 \ m/s$

نسبت به: Ether (اواخر قرن ۲۰)



Galilean Transformation

سرعت نور در دستگاه‌های لخت تغییر می‌کند

$$\begin{cases} C \longrightarrow C' = C + v \\ C' = C - v \end{cases}$$

اگر بپذیریم که نسبت نیوتنی + تبدیلات گالیله و الکترومغناطیس صحیح است

① مرجعی وجود دارد که فقط در آن سرعت نور c است

② آزمایش الکترومغناطیسی وجود دارد که می‌توان در مورد سرعت دستگاه لخت اظهار نظر کند

③ قوانین الکترومغناطیس نسبت به دستگاه‌های لخت ناوردا نیستند