תנועה מעגלית $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

וקטור המקום הוא $R(\cos(\omega t)\vec{x} + \sin(\omega t)\vec{y})$

טרנס' גלילי

$$x = x' + v \cdot t$$

דלאמבר

$$\text{accel.} \quad \vec{F}_{real} + \vec{F}_{fic} = m \cdot \vec{a} \qquad \text{inertial}: \ \Sigma\vec{F}_{real} = m \cdot \vec{a}$$

תנע:

$$\vec{P}_{tot} \equiv \sum_{j=1}^{n} m_i \cdot \vec{V} = \text{const} \Leftrightarrow \Sigma\vec{F}_{ex} = 0$$

$$\vec{R}_{cm} \equiv \frac{\Sigma m_i \cdot \vec{r}_i}{\Sigma m_i} \qquad \vec{V}_{cm} = \frac{d\vec{R}_{cm}}{dt} = \dot{R}_{cm}$$

$$= \frac{\Sigma m_i \cdot \dot{r}_i}{\Sigma m_i} = \frac{\vec{P}}{M} \quad M = \text{system mass}$$

שדות:

מגנטי אחיד $\vec{a} = \frac{q}{mc}\vec{V} \times \vec{B}$

חשמלי אחיד $\vec{a} = \frac{e}{m}\vec{E}$

$$\omega = \frac{q\vec{B}}{mc}(\text{cgs})$$

$$F = q \cdot E \qquad a_x = \frac{qE\hat{x}}{m}$$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-8} \frac{dyn \cdot cm^2}{gr^2} = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

$$[k] = \frac{[force] \cdot [length]^2}{[charge]^2} \qquad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8.988 \cdot 10^9$$

קפיץ $\vec{F}_{spring} = -k \cdot \vec{X}$

$$E_{spring} = \frac{1}{2} k \cdot \vec{X}^2$$

$$m\ddot{x} = -kx$$

מסה עם קפיץ:

$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{kX^2}{2} = \text{const.}$$

כח מגנטי

$$\vec{F}_{mag}(cgs) = \frac{q}{c} \cdot \vec{V} \times \vec{B}$$

$$\begin{pmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{d}{dx} & \frac{d}{dy} & \frac{d}{dz} \\ \text{value} & \text{value} & \text{value} \end{pmatrix} .$$

לכח משמר – דטרמיננטה=0.

וקטורים:

$\phi$ בין ציר Z לוקטור.

$\theta$ בין ציר Y לוקטור.

X רגיל, Y למעלה, Z עומק.

$$\vec{A} = \hat{x}A_x + \hat{y}A_y + \hat{z}A_z$$

$$A_x = A \sin\theta \cos\phi$$

$$A_y = A \sin\theta \sin\phi$$

$$A_z = A \cos\theta$$

$$P = \frac{dW}{dt}\left[\frac{erg}{sec}, \frac{joul}{sec}; \ \text{Watt}\right]$$

$$dW = \vec{F} \bullet d\vec{r} \Rightarrow P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \bullet \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{V} \bullet \vec{F}$$

$$1\text{Watt} = 10^7 \frac{erg}{sec}$$

תנע זוויתי $\vec{J} = \vec{r} \times \vec{P}$

תנע זוויתי למערכת חלקיקים: $\vec{J} = \vec{R}_{cm} \times \vec{P} + \vec{J}_{cm}$

מומנט התמדה: $\vec{I}_{cm} = \sum_i m_i r_{ci}^2$

מומנט כוח $\vec{N} = \vec{r} \times \vec{F}$ יחידות של עבודה אבל זה וקטור!

תנע של מערכת זה תנע של מ.מ ביחס לראשית + תנע חלקיקים יחס למ.מ.

מקדם תקומה - $-(U1 - U2)/(V1 - V2)$

בתה"פ: $f = \frac{w}{2\pi} = \frac{1}{T}$

משיכת כדוה"א $m \cdot \vec{a} = \vec{F} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{r}$ באנרגיה מחלקים ב-r

מסה משתנה: $\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d(m\vec{V})}{dt} = \frac{dm(t)}{dt} \cdot \vec{V} + m \cdot \frac{d\vec{V}}{dt}$

תנועה הרמונית:

משוואת התנועה: $x(t) = A\sin(w_0 t + \theta)$

תנאי התחלה קובעים את A ו-θ.

אם ב t=0 גם x=0 אזי $x_0 = A\sin(\theta)$

אם ב t=0 גם V=0 אז $x_0 = A$ ובמקום $\sin(\omega_0 + \theta)$ אפשר לרשום $\cos(\omega_0 t)$. כלומר:

$$x(t) = x_0 \cos(\omega_0 t), \dot{x} = -x_0\omega_0 \sin(\omega_0 t), \ddot{x} = -\omega_0^2 x$$

פתרונות של משוואות דיפרנציאליות:

$$\dot{U}_{(t)} + \beta U_{(t)} = 0 \to U_{(t)} = Ae^{-\beta t}$$

$$\dot{U}_{(t)} + \beta U_{(t)} = \alpha \to U_{(t)} = \frac{\alpha}{\beta} + Ae^{-\beta t}$$

$$\ddot{U}_{(t)} - \alpha^2 U_{(t)} = 0 \to Ae^{-\alpha t} + Be^{\alpha t}$$

$$\ddot{U}_{(t)} + \alpha^2 U_{(t)} = 0 \to U_{(t)} = A\cos(\alpha t) + B\sin(\alpha t)$$

$$\ddot{U}_{(t)} + \alpha^2 U_{(t)} = \beta \to U_{(t)} = A\cos(\alpha t) + B\sin(\alpha t) + \frac{\beta}{\alpha^2}$$

$$\dot{U}_{(t)} + \alpha U_{(t)} = \beta t \to U_{(t)} = Ae^{-\alpha t} + \frac{\beta}{a}t - \frac{\beta}{\alpha^2}$$

Aβ פרמטרים קבועים. A, B נקבעים מתנאי ההתחלה.

*באילוץ – אם מפעילים כוח על גוף, בהתחלה אין אמפליטודה קבועה, אלא משתנה.

אם המרחק בין תדירות רזוננס לעקום רזוננס קטן, מספיק לזוז קצת מהרזוננס כדי שהאמפליטודה תרד.

מטוטלת:

עבור θ קטנות מספיק, sin θ= θ. ולכן $\ddot{\theta} + \omega_0^2\theta = 0$

פתרון משוואת תה"פ: $\theta(t) = \theta_0 \sin(\omega_0 t + \phi)$

$\Phi$ זה מה שהיה θ בתיבה למעלה.

<table>
<tr>
<td colspan="2">טרנספורמציית לורנץ:<br>$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} , \beta = \frac{v}{c}$<br>$x' = \gamma(x - vt) = \gamma(x - \beta ct) , t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right) = \gamma\left(t - \frac{\beta x}{c}\right)$</td>
<td>לכיוון ההפוך:<br>$x = \gamma(x' + \beta ct') , t = \gamma\left(t' + \frac{\beta x'}{c}\right)$<br>התקצרות אורך: $l \equiv \frac{l_0}{\gamma}$   $l_o$ אורך עצמי</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">טרנספורמציית מהירויות:<br>$V_x' = \frac{V_x - \vec V}{1 - \left(\frac{\vec V \cdot V_x}{c^2}\right)} , V_y' = \frac{V_y}{\gamma\left(1 - \frac{\vec V \cdot V_x}{c^2}\right)} , V_z' = \frac{V_z}{\gamma\left(1 - \frac{\vec V \cdot V_x}{c^2}\right)}$</td>
<td>ולכיוון ההפוך:<br>$V_x = \frac{V_x' + \vec V}{1 + \left(\frac{\vec V \cdot V_x'}{c^2}\right)} , V_y = \frac{V_y'}{\gamma\left(1 + \frac{\vec V \cdot V_x'}{c^2}\right)} , V_z = \frac{V_z'}{\gamma\left(1 + \frac{\vec V \cdot V_x}{c^2}\right)}$</td>
</tr>
<tr>
<td>דינמיקה יחסותית: חלקיק נע במע' המעבדה במהירות V , נצמיד את מערכת S' לחלקיק, ובמעבדה נמדוד:<br>$\vec P = m(v) = \frac{m}{\sqrt{1-\beta^2}} \cdot \vec V$ , $\gamma m = m(v) = \frac{m}{\sqrt{1-\beta^2}}$<br>אז: $= m\frac{d\vec r}{d\tau} = \frac{d\vec r}{dt} \cdot \frac{dt}{d\tau} m$   τ זה proper time , $dt = \frac{d\tau}{\sqrt{1-\beta^2}}$</td>
<td>תנע יחסי:<br>$\vec P_{rel} = \frac{m\vec V}{\sqrt{1-\beta^2}}$<br>ביחסות יש שימור אנרגיה:<br>$\vec V = \frac{c^2\vec P}{E} = \frac{\vec P}{m}$</td>
<td>הגדרות:<br>$\vec P \equiv m_{(\vec v)}\vec V = \frac{m}{\sqrt{1-\beta^2}} = m\frac{d\vec r}{d\tau}$<br>$E \equiv m_{(\vec v)}c^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">, טרנס' לתנע ואנרגיה: (לא חייבים לחלק ב- $c^2$ )<br>$\frac{E'}{c^2} = \gamma\left(\frac{E}{c^2} - \frac{\beta c\vec P_x}{c^2}\right)$ , $\vec P'_x = \gamma\left(\vec P - \frac{\beta E}{c}\right)$</td>
<td>טרנס' מהירויות:<br>$u_\parallel' = \frac{u_\parallel - v}{1 - \frac{u_\parallel v}{c^2}}$ , $u_\perp' = \frac{u_\perp}{\gamma\left(1 - \frac{u_\parallel v}{c^2}\right)}$</td>
</tr>
<tr>
<td>ולכיוון ההפוך:<br>$E = \gamma(E' + \beta c\vec P_x)$ , $\vec P_x = \gamma\left(\vec P_x + \frac{\beta E'}{c}\right)$</td>
<td>התארכות זמן:<br>$\Delta t = \gamma\Delta t = \gamma(t_1' - t_2')$</td>
<td>אפקט דופלר : f זה תדירות,<br>$f = f_0\sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}$</td>
</tr>
</table>

*מומנטים שמקורם בכוחות פנימיים שווים אפס!

*כוח מדומה: פועל על גוף במע' לא אינרציאלית = כח שפועל על הגוף יחסית למע' הלא אינרציאלית+כוח שפועל על המערכת הלא אינרציאלית יחסית למע' האינרציאלית.

*על פני כדוה"א פועל mg לכיוון המרכז ו- mw^2r כלפי פנים. בקטבים התאוצה הרדיאלית מתאפסת.

*מעלית מאיצה כלפי מטה בתאוצה g/4. מהו הנורמל? $\sum\vec F = -mg\hat y - m(-g/4)\hat y + \vec N = m\cdot 0 = 0$

*כח מדומה תמיד הפוך לכיוון התאוצה של המערכת המאיצה.

*כח פרופורציוני למהירות: $-\gamma\vec V$ פועל נגד הכח המקורי F. משוואת התנועה: $m\dot V = \vec F - \gamma V$

*שאלה: אלקטרון נע בכיוון ציר x. שדה חשמלי ומגנטי בכיוון z. ידוע שאחרי n סיבובים הוא עבר מרחק של 50R בכיוון z. כש-R הוא רדיוס המעגל על צירי x,y. צ"ל כמה סיבובים הוא עשה.

חישוב: $R = \frac{V}{w}$ מציבים 50R. בנוסף בכיוון z יש תאוצת E: $a = -\frac{qE}{m}$ מחשבים. המרחק בציר z הוא

$$-\frac{qE}{2m}\cdot t^2 \quad \left(t = T\cdot n = \frac{2\pi}{w}\cdot n\right)$$