תנועה מעגלית:

$$\boxed{\vec a_{rot} = \vec a_I - \underbrace{\vec\omega\times\left(\vec\omega\times\vec r_{rot}\right)}_{\text{centrifugal acceleration}} - \underbrace{2\vec\omega\times\vec v_{rot}}_{\text{coriolis acceleration}}}$$

$\vec v_{rot}$ - מהירות הגוף ביחס למערכת המסתובבת.

$\vec r_{rot}$ - מיקום הגוף ביחס למערכת המסתובבת.

$\vec a_{rot}$ - תאוצת הגוף ביחס למערכת המסתובבת.

$\vec a_I$ - תאוצת הגוף ביחס למערכת האינרציאלית (מתקיים $\sum \vec F_{real} = m\vec a_I$)

$\boxed{|\vec v| = |\vec\omega r|}$ כוח צנטריפטלי: $\boxed{F_{cl} = m\omega^2 r = m\frac{v^2}{r}}$

גוף קשיח / תנועה סיבובית:

משפט שטיינר (צירים מקבילים): $\boxed{I' = I_o + ml^2}$ (I_o מומנט אינרציה ביחס למרכז המסה, l - המרחק בין מרכז המסה לבין הנקודה שיחסית אליה רוצים לחשב). משפט הצירים המאונכים: $\boxed{I_z = I_x + I_y}$. נכון רק לגוף שטוח כאשר y, x במישור שלו ו- z מאונך.

אנרגיה קינטית של גוף מסתובב:

סביב ציר סיבוב: $\boxed{E_k = \frac{1}{2}I'\omega^2 = \frac{1}{2}\left(I_o + ml^2\right)\omega^2 = \frac{1}{2}I_0 + mv_{cm}^2}$ סביב מרכז המסה: $\boxed{E_k = \frac{1}{2}I_o\omega^2 + mv_{cm}^2}$

הגדרת התנע הזויתי: $\boxed{\vec J = \vec r\times\vec P}$ ($\vec r$ וקטור שמצביע מנק' הייחוס למיקום הגוף). חוק שימור התנע הזויתי: $\boxed{\sum\vec\tau = \frac{d\vec J}{dt} = I\frac{d\vec\omega}{dt} = I\vec\alpha}$

מומנט הכוח: $\boxed{\vec\tau = \vec r\times\vec F}$ מומנט אינרציה: $\boxed{I = \sum m_i r_i^2}$ מהירות זויתית: $\boxed{\vec\omega = \frac{d\vec\theta}{dt}}$ תאוצה זויתית: $\boxed{\vec\alpha = \frac{d\vec\omega}{dt}}$

אנרגיה קינטית של סיבוב של גוף קשיח: $\boxed{E_k = \frac{1}{2}I\omega^2}$

תנ"ז כולל: $\boxed{\vec J_{tot} = \vec J_o + \vec J_{cm}}$

$\vec J_o$ - תנ"ז שנובע מסיבוב הגוף סביב מרכז המסה.

$\vec J_{cm}$ - התנ"ז של מרכז המסה יחסית לנקודה כלשהי. $\boxed{\vec J_{cm} = \vec r_{cm}\times\vec P_{cm}}$.

	תנועה קווית	תנועה זוויתית
גורם לתנועה	כוח $\vec F$	מומנט כוח $\vec\tau = \vec r\times\vec F$
אנרגיה קינטית	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}I\omega^2$
תנע	$\vec P = m\vec v$	$\vec J = m\vec r\times\vec v = I\vec\omega$
תנאי לשימור תנע	$\sum\vec F = 0$	$\sum\vec\tau = 0$
משוואת תנועה	$\sum\vec F = m\vec a$	$\sum\vec\tau = I\vec\alpha$

קורדינטות פולריות:

וקטור המקום: במערכת קרטזית: $\boxed{\vec r = x\hat x + y\hat y + z\hat z}$

במערכת צירים פולרית: $\boxed{\vec r = r\hat r}$

מעברי קורדינטות: קרטזי לפולרי: $\boxed{\begin{matrix} r_x = x = r\cos\theta \\ r_y = y = r\sin\theta \end{matrix}}$

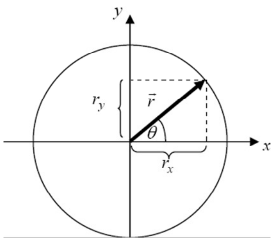
פולרי לקרטזי: $\boxed{r = \sqrt{x^2+y^2} \quad \tan\theta = \frac{y}{x}}$

וקטורי יחידה פולריים:

$\hat r = \left(\cos\theta, \sin\theta\right)$

$\hat\theta = \left(-\sin\theta, \cos\theta\right)$

$\dot{\hat r} = \dot\theta\hat\theta \quad \dot{\hat\theta} = -\dot\theta\hat r$



מומנט אינרציה:

מומנט אינרציה הוא אדיטיבי. בגלגול ללא החלקה כוח החיכוך לא מבצע עבודה. תנאי לגלגול ללא החלקה: $\boxed{v_0 = \omega R}$ (כאשר v_0 מהירות מרכז המסה).

מומנטים (ביחס לציר הסימטריה):

טבעת דקה/מעטפת גלילית: $\boxed{MR^2}$ מוט דק - ביחס לאמצע: $\boxed{\frac{1}{12}ML^2}$ כדור מלא: $\boxed{\frac{2}{5}MR^2}$ מעטפת כדורית: $\boxed{\frac{2}{3}MR^2}$

דיסקה מלאה/גליל מלא: $\boxed{\frac{1}{2}MR^2}$ - ביחס לקצה: $\boxed{\frac{1}{3}ML^2}$ לוח מלבני/תיבה שבסיסה מלבן: $\boxed{M\frac{a^2+b^2}{12}}$

עבודה ואנרגיה:

הגדרת העבודה: $\boxed{W = \int_{start}^{end}\vec F\cdot d\vec l}$. $\boxed{W = |F|\cdot|d|\cdot\cos\theta}$ אינטגרציה לאורך מסלול: $\boxed{y = f(x) \Rightarrow \frac{dy}{dx} = f'(x) \Rightarrow dy = f'(x)dx}$

$\boxed{dW = \vec F\cdot d\vec r = \left(F_x\hat x + F_y\hat y\right)\cdot\left(dx\cdot\hat x + dy\cdot\hat y\right) = F_x dx + F_y dy}$. (S - המסלול) $\boxed{W = \int_S F_x dx + \int_S F_y dy}$.

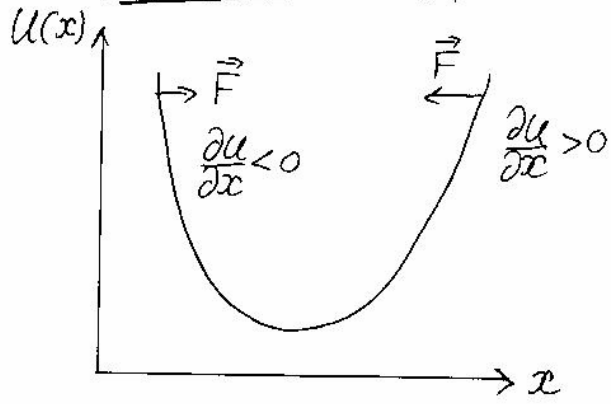
(מבטאים את dy על ידי dx ואת y על ידי x, ואז עושים את האינטגרל).

כוח שהאינטגרל המסלולי שלו לא תלוי במסלול אלא רק בנקודת ההתחלה והסיום נקרא כוח משמר.

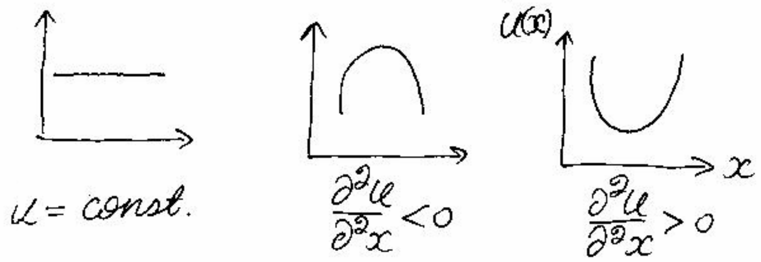
פונקצית פוטנציאל: $\boxed{W_{A\to B} = U\left(B\right) - U\left(A\right)}$

כיוון של כוח הפועל על גוף: $\boxed{\vec{F} = -\nabla U = \left(\frac{\partial U}{\partial x}\hat{x} + \frac{\partial U}{\partial y}\hat{y}\right)}$

כיוון של כוח הפועל על גוף:



שווי משקל:



התחום שבו מותר לגוף להמצא: $\boxed{E_k = E_{tot} - E_p \geq 0}$ $\boxed{E_{tot} = E_p + E_k}$

גוף לא יכול להמצא במקום שבו האנרגיה הפוטנציאלית שלו גדולה מהאנרגיה הכוללת שלו.

כוח מרכזי: כוח שפועל בכל נקודה בכוון ראשית הצירים. כוח גריטוציוני: $\boxed{\vec{F}_G = -\frac{Gm_1m_2}{r^2}}$

פוטנציאל אפקטיבי: $\boxed{E_{tot} = \underbrace{\frac{1}{2}mv_r^2}_{E_k} + \underbrace{\underbrace{\frac{J^2}{2mr^2}}_{U_{cf}} - \underbrace{\frac{GMm}{r}}_{U_G}}_{U_{effective}}}$

תנע קווי:

שימור תנע: $\boxed{\sum \vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \frac{d\vec{P}}{dt}}$ הגדרת תנע: $\boxed{\vec{P} = m\vec{v}}$

התנע הכולל במערכת סגורה נשמר.

מערכת מרכז המסה: הגדרה – זוהי מערכת שבה $\vec{P}_{tot} = 0$.

מהירות מרכז המסה: $\boxed{\vec{v}_{cm} = \frac{\sum m_i v_i}{\sum m_i} = \frac{\vec{P}_{tot}}{M_{tot}}}$ מיקום מרכז המסה: $\boxed{\vec{R}_{cm} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i}}$

תנועה הרמונית: $\boxed{\ddot{x} = -\omega^2 x}$

דרכים לכתיבת הפיתרון: $\boxed{\begin{cases} x(t) = A\cos(\omega t) + B\sin(\omega t) \\ x(t) = A\sin(\omega t + \varphi) \\ x(t) = A\cos(\omega t + \varphi) \end{cases}}$ כאשר B, A, φ הם קבועים שניתן למצוא על ידי תנאי ההתחלה.

קפיצים, תנועה הרמונית פשוטה:

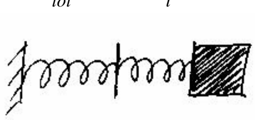
כוח של קפיץ: $\boxed{F = -kx}$ אנרגיה אלסטית של קפיץ: $\boxed{E = \frac{1}{2}kx^2}$.

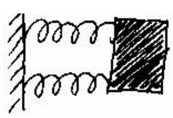
חיבור קפיצים במקביל:

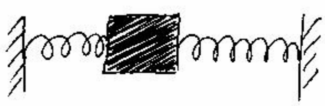
$$k_{tot} = \sum k_i$$

חיבור קפיצים בטור:

$$\frac{1}{k_{tot}} = \sum \frac{1}{k_i}$$







אנרגיה קינטית: $\boxed{E_k = \frac{1}{2} m\omega^2 \left(A^2 - x^2\right)}$. אנרגיה כללית נשמרת: $\boxed{E_{tot} = E_p + E_k = \frac{kA^2}{2}}$

מהירות זויתית: $\boxed{\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m}}}$ תדירות: $\boxed{f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}}$ זמן מחזור: $\boxed{T = \frac{1}{f} = \underbrace{2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}_{\text{spring}} = \underbrace{2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}_{\text{pendulum}}}$

מהירות: $\boxed{v = \frac{dx}{dt} = -\omega\sqrt{A^2 - x^2}}$ תאוצה: $\boxed{a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 x}$

משוואות שונות ונוסחאות כלליות:

בתנועה בתאוצה קבועה:

$$\boxed{x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}}$$

$$\boxed{v = v_0 + at}$$

$$\boxed{v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x}$$

משוואת מסלול בליסטי: $\boxed{y(x) = x\tan\alpha - \frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x^2}$ כאשר α זוית הזריקה.

מהירות האור: 299,792,458 מטר בשנייה. (בדיוק! עניין של הגדרה) מהירות זוויתית של כדה"א: $\omega_E = 7.27\cdot 10^{-5}\left[\sec^{-1}\right]$

זמן מחזור של כדור הארץ: $T_E = 86400[\sec]$

נוסחאות מתרגילים / פתרונות מקוצרים:

1) 

מה ימדדו המאזניים? $\boxed{N = mg\left(1 - \sin^2\alpha\right)}$

2) עגלה נגררת על ידי כוח F, חול נשפך אליה כך שמסתהעגלה מקיימת $m_c = m_0 + \alpha t$, מהירות התחלתית v_{c_0}.

מהירות העגלה כפונקציה של הזמן: $\boxed{V_{c(t)} = \frac{m_0 v_{c_0} + Ft}{m_0 + \alpha t}}$.

אם במקום זה חול מחלחל מהעגלה בהלה אותו קצב אז $\boxed{V_{c(t)} = v_{c_0} + \frac{F}{\alpha}\ln\left(\frac{m_0}{m_0 - \alpha t}\right)}$

3) כדור נזרק על משטח במהירות v_0 - באיזו מהירות יעבור לגלגול טהור? $\boxed{v = v_0\left(\frac{mR^2}{I + mR^2}\right)}$ (נזכור שהתנאי לגלגול טהור: $v_{cm} = \omega R$).

4) גוף תלוי על מסמר – מהי תדירות התנודות? $\boxed{f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{mgL}{I_{cm} + mL^2}}}$

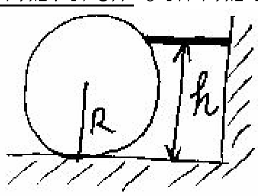
כאשר I_{cm} - מומנט האינרציה יחסית למרכז המסה. L - מרחק המסמר ממרכז המסה.

5) חללית נעה במהירות v, כל זמן τ נדלק פנס בחרטום או בזנב לסרוגין.

הפרש הזמנים בהם רואה את הנצנוצים צופה במעבדה: $\boxed{t_B - t_A = \tau\gamma - \frac{\gamma v L}{c^2}}$ (L - אורך עצמי של החללית).

6) חייזר וחללית נעים במאונך, החייזר שולח פולס אור לחללית כדי להזהיר מהתנגשות. באיזה כיוון הפולס? בכוון שממנו באה החללית כפי שמודד החייזר – מסיקים את הזוית לפי מהירות החללית בציר x ובציר y על פי החייזר.

7) שני חלקיקים מתנגשים ונוצרים חלקיקים חדשים. מה האנרגיה המינימלית שדרושה לחלקיק התחלתי? אנרגיה שתיצור את החלקיק החדש עם מהירות 0 יחסית למהירות מרכז המסה!



8) כדור מתגלגל בלי החלקה, פוגע במסמר וחוזר בלי החלקה. $\boxed{h = \frac{3}{2}R}$

יחסות: S' מערכת עצמית

טרנספורמצית לורנץ: $\boxed{\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}}$ כאשר u זו המהירות שבה רואה צופה במערכת העצמית את המערכת S (האחרת).

$$\boxed{t'=\left(t-\frac{ux}{c^2}\right)\gamma} \quad \boxed{x'=\left(x-ut\right)\gamma} \quad \boxed{t=\left(t'+\frac{ux'}{c^2}\right)\gamma} \quad \boxed{x=\left(x'+ut'\right)\gamma}$$

התארכות הזמן: $\boxed{\Delta t=\Delta t'\cdot\gamma}$ התקצרות האורך: $\boxed{l=\frac{l'}{\gamma}}$

אפקט דופלר (לא יחסותי): $\boxed{T_R=\frac{(v-v_E)T_E}{v-v_R}}$ $\boxed{f_R=\frac{v-v_R}{v-v_E}\cdot f_E}$ - תדירות.

T_E - זמן מחזור של הפליטה. v_E - מהירות ההתקדמות של הפולט. v - מהירות היציאה מהפולט.

T_R - זמן מחזור של הקליטה. v_R - מהירות ההתקדמות של הקולט.

אפקט דופלר (יחסותי):

עבור מערכת שמתרחקת במהירות יחסית u ופולטת פולסי אור. (עבור התקרבות, u בסימן מינוס): $\boxed{f=f'\sqrt{\frac{1-\frac{u}{c}}{1+\frac{u}{c}}}}$ $\boxed{\Delta t=\Delta t'\sqrt{\frac{1+\frac{u}{c}}{1-\frac{u}{c}}}}$

עבור פולסים שנעים במהירות v: $\boxed{f=\frac{f'\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}{1-\frac{u}{v}}}$

בטיפול יחסותי יש משמעות רק למהירות יחסית ולא למהירות הפולט והקולט בנפרד.

חוק חיבור מהירויות: $\boxed{v'_x=\frac{v_x-u}{1-\frac{uv_x}{c^2}}}$ $\boxed{v_x=\frac{v'_x+u}{1+\frac{uv'_x}{c^2}}}$

v' - מהירות במערכת העצמית. v - מהירות במערכת האחרת. u - המהירות של המערכת האחרת מנקודת מבט של המערכת העצמית.

טרנספורמציה של הרכיב הניצב של המהירות: $\boxed{v'_y=\frac{v_y\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}{1-\frac{v_x u}{c^2}}}$ $\boxed{v_y=\frac{v'_y\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}{1+\frac{v'_x u}{c^2}}}$

תנע ואנרגיה יחסותיים:

תנע: $\boxed{P=mv\cdot\gamma}$ $\boxed{P'_x=\gamma\left(P_x-\frac{u}{c^2}E\right)}$ $\boxed{P_x=\gamma\left(P'_x+\frac{u}{c^2}E'\right)}$

אנרגיה: $\boxed{E=mc^2\gamma}$. אנרגית מנוחה של גוף ($v=0$): $\boxed{E_0=mc^2}$. $\boxed{E'=\gamma\left(E-uP_x\right)}$ $\boxed{E=\gamma\left(E'+uP'_x\right)}$

נוסחת איינשטיין: $\boxed{E^2=P^2c^2+m^2c^4}\Leftarrow\boxed{E_{cm}=mc^2\ (P_{cm}=0)}$

$$\boxed{E_{photon}=pc=hf\ \left(m_{photon}=0\right)}$$

עבור חלקיק יחיד: $\boxed{\vec{v}=\frac{\vec{P}}{E}\cdot c^2}$. עבור מערכת חלקיקים: $\boxed{\vec{v}_{cm}=\frac{\sum\vec{P}_i}{\sum E_i}c^2}$

גודל אינווריאנטי בתורת היחסות (זהה בכל המערכות): $\boxed{\mathrm{I}=\left(\frac{\mathrm{E}}{\mathrm{c}}\right)^2-\left(P_x^2+P_y^2+P_z^2\right)}$