

תנע זוויתי:  $\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p}$   
מומנט פיתול (מומנט כוח):  $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$   
תנע זוויתי של מערכת:

$$\vec{L} = \sum_i \vec{r}_i \times \vec{p}_i = \vec{L}_{cm} + \vec{L}_{int}$$

$$\vec{L}_{cm} = M \vec{R}_{cm} \times \vec{V}_{cm}$$

$$\vec{L}_{int} = \sum_i m_i (\vec{r}_i - \vec{R}_{cm}) \times (\vec{v}_i - \vec{V}_{cm})$$

החוק השני של ניוטון לתנועה סיבובית:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \sum_i \vec{r}_i \times \vec{F}_{i,ext}$$

$$\frac{d\vec{L}_{cm}}{dt} = \vec{R}_{cm} \times \left( \sum_i \vec{F}_{i,ext} \right)$$

$$\frac{d\vec{L}_{int}}{dt} = \sum_i (\vec{r}_i - \vec{R}_{cm}) \times \vec{F}_{i,ext}$$

רכיב תנע זוויתי בכיוון ציר הסיבוב של גוף קשיח:

$$L = I\omega$$

החוק השני של ניוטון לתנועה סיבובית של גוף קשיח סביב ציר מקובע:

$$\sum \tau = \frac{dL}{dt} = I\alpha$$

מומנט התמד:  $I = \sum_i m_i R_i^2$   
משפט שטיינר:  $I_O = I_{cm} + m d_{O,cm}^2$   
אנרגיה קינטית של גוף קשיח:

$$K = \frac{mv_{cm}^2}{2} + \frac{I_{cm}\omega^2}{2}$$

אלמנט אורך במרחב-זמן:

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2$$

טרנספורמציות לורנץ עבור  $v = v_x$ :

$$x' = \gamma(x - vt), \quad y' = y, \quad z' = z$$

$$t' = \gamma \left( t - \frac{xv}{c^2} \right), \quad \gamma^{-1} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

חיבור מהירויות עבור  $v = v_x$ :

$$V'_x = \frac{V_x - v}{1 - \frac{V_x v}{c^2}}, \quad V'_y = \frac{V_y}{\gamma \left( 1 - \frac{V_x v}{c^2} \right)},$$

$$V'_z = \frac{V_z}{\gamma \left( 1 - \frac{V_x v}{c^2} \right)}$$

ווקטור תנע-אנרגיה יחסותי:

$$P^\mu = (P^0, \vec{P}) = \left( \frac{E}{c}, \vec{P} \right) = (\gamma mc, \gamma m \vec{V})$$

$$P^2 = -P^{02} + \vec{P}^2 = -\frac{E^2}{c^2} + \vec{P}^2 = -m^2 c^2$$

תנע המערכת:

$$\vec{P} = \sum_i \vec{p}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i$$

מסת המערכת:  $M = \sum_i m_i$   
מהירות מרכז המסה:

$$\vec{V}_{cm} = \frac{\vec{P}}{M} = \frac{\sum_i m_i \vec{v}_i}{\sum_i m_i}$$

מיקום מרכז המסה:

$$\vec{R}_{cm} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$$

החוק השני של ניוטון למערכות:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \sum \vec{F}_{ext}$$

$$M \frac{d\vec{V}_{cm}}{dt} = \sum \vec{F}_{ext}$$

$$M \vec{a}_{cm} = \sum \vec{F}_{ext}$$

אנרגיה קינטית של מערכת:

$$K = \sum_i \frac{m_i v_i^2}{2} = K_{cm} + K_{int}$$

$$K_{cm} = \frac{M V_{cm}^2}{2}$$

$$K_{int} = \sum_i \frac{m_i (\vec{v}_i - \vec{V}_{cm})^2}{2}$$

אנרגיה פוטנציאלית של כבידה למערכת:

$$U_g = -M \vec{g} \cdot \vec{R}_{cm}$$

זווית הסיבוב, מהירות זוויתית, תאוצה זוויתית:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\omega(t) = \omega_0 + \int_{t_0}^t \alpha(t') dt'$$

קשר בין ערכים קווים לבין ערכים זוויתיים

$$v = |\omega| r, \quad a_t = \alpha r, \quad a_r = \omega^2 r$$

תנועה הרמונית פשוטה:

$$x = A \cos(\omega t + \phi)$$

צורת משוואת התנועה:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx, \quad \omega^2 = \frac{k}{m}$$

צורת האנרגיה המכנית:

$$E = \frac{m}{2} \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{k}{2} x^2$$

$$\omega^2 = \frac{k}{m}, \quad k = \left( \frac{d^2 U}{dx^2} \right)_{x=x_c}$$

מהירות רגעית ותאוצה רגעית:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

מהירות כפונקציה של זמן:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \int_{t_0}^t \vec{a}(t') dt'$$

וקטור המקום כפונקציה של זמן:

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \int_{t_0}^t \vec{v}(t') dt'$$

כוח הכבידה:

$$\vec{F}_g = m\vec{g}$$

כוח הקפיץ:

$$F = -k\Delta l$$

כוח חיכוך סטטי:

$$|\vec{f}_s| \leq \mu_s N$$

כוח חיכוך קינטי:

$$|\vec{f}_k| = \mu_k N$$

החוק השני של ניוטון לגוף נקודתי:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}$$

מתקף ותנע:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$$\Delta \vec{p} = \int \vec{F} dt$$

אנרגיה קינטית:

$$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$$

הספק:

$$\frac{dK}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

עבודה:

$$W_{12} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \cdot \vec{v} dt$$

$$W_{12} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

משפט עבודה-אנרגיה:

$$\Delta K = K_2 - K_1 = W_{12}$$

אנרגיה מכנית:

$$E = K + U$$

משפט עבודה-אנרגיה:

$$\Delta E = W_{12}, \quad \text{לא משמרים}$$

אנרגיה פוטנציאלית של כבידה:

$$U_g = -m\vec{g} \cdot \vec{r} = mgh$$

אנרגיה פוטנציאלית של קפיץ:

$$U_k = \frac{k(\Delta l)^2}{2}$$