

Кинематика материальной точки

Сферическая система



$$\vec{a} = \begin{bmatrix} r \\ \lambda \\ \varphi \end{bmatrix}$$

$$\vec{r} = \begin{bmatrix} r \cos \varphi \cos \lambda \\ r \cos \varphi \sin \lambda \\ r \sin \varphi \end{bmatrix}$$

$$\langle \vec{e}_i \cdot \vec{e}_j \rangle = \delta_{ij} - \text{OKB}$$

$$\vec{v} = \dot{\vec{q}}^i \cdot \vec{q}_i = \sum K_i \cdot \dot{q}^i \vec{e}_i$$

$$K_a = |\vec{r}_a|$$

$$\vec{r}_a = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \lambda \\ \cos \varphi \sin \lambda \\ \sin \varphi \end{bmatrix} \Rightarrow K_r = 1 \quad K_\lambda = r \cos \varphi \quad K_\varphi = r$$

Кинематика по радиусу

$$dq^a \Rightarrow d\vec{r}_a \approx \vec{r}_{a,a} dq^a$$

$$|\vec{d}\vec{r}_a| \approx \underbrace{|\vec{r}_{a,a}|}_{K_a} \cdot dq^a$$



$$(2) \frac{v^2}{2} = \frac{1}{2} [r^2 + r^2 \cos^2 \varphi \dot{\lambda}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2]$$

$$w_a = \vec{w} \cdot \vec{e}_a$$

$$(v^2/2)_r = \dot{r}; \quad \frac{d}{dt} (v^2/2)_r = \ddot{r}$$

$$(v^2/2)_{,r} = r (\dot{\lambda}^2 \cos^2 \varphi + \dot{\varphi}^2) \stackrel{(4)}{=} w_r = \ddot{r} - r(\dot{\lambda}^2 \cos^2 \varphi + \dot{\varphi}^2)$$

2-й закон Ньютона & количественное значение

$$m\vec{w} = \vec{F} \cdot \vec{l} \cdot \vec{g}_a$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{mv^2}{2} \right)_{,a} - \left(\frac{mv^2}{2} \right)_{,a} = \vec{F} \cdot \vec{g}_a = Q_a$$

$$\frac{d}{dt} T_{,a} - T_{,a} = Q_a - \text{бесц. сущ. неизвестн!}$$

$$\frac{1}{K_a} \left[\frac{d}{dt} T_{,a} - T_{,a} \right] = \vec{F} \cdot \vec{e}_a$$

Drehmenne no binebenow rymen



$$\begin{cases} x^1 = a \cos \omega t \\ x^2 = a \sin \omega t \\ x^3 = b t \end{cases}$$

$$v = \sqrt{a^2 \omega^2 + b^2}$$

$$\vec{w} = v \hat{t} + \frac{v^2}{\rho} \hat{n}$$

$$\vec{w}_e = 0$$

$$\hat{\omega}_n = \omega \hat{w}$$

$$\rho = \frac{v}{\omega} = \frac{a^2 \omega^2 + b^2}{\omega^2}$$

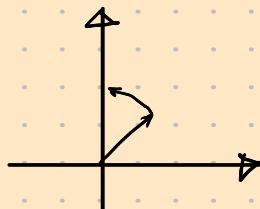
Zagora

$$V_r = \frac{a}{r^2}, \quad V_\varphi = \frac{b}{r} \quad a, b = \text{const}$$

$$r(\varphi) - ? \quad w_r(r), \quad w_\varphi(r)$$

$$r(0) = r_0$$

$$\varphi(0) = \varphi_0$$



$$V_r = \dot{r}$$

$$V_\varphi = r \dot{\varphi}$$

$$\frac{1}{r} \frac{dr}{d\varphi} = \frac{a}{b r}$$

$$r - r_0 = \frac{a}{b} (\varphi - \varphi_0)$$

$$w_r = \ddot{r} - r \dot{\varphi}^2 \quad \leftarrow \quad \ddot{r} = -2a\dot{r}/r^3 = -2a^2/r^3$$

$$w_\varphi = \frac{1}{r} \frac{d}{dt} \left(\underbrace{r^2 \dot{\varphi}}_B \right) = 0 \quad \rightarrow \quad \dot{\varphi} = b/r^2$$

Nº 1.40

$$q^1 = \text{const}$$

$$V = \text{const}$$



$$\vec{k} = \frac{\vec{n}}{g} \quad (\text{berühr. kugelbogen})$$

\vec{r}_{11} - normal

$\vec{r}_{12}, \vec{r}_{13}$ - kartenweise

$$\begin{cases} \vec{w} \cdot \vec{r}_{12} = 0 \\ \vec{w} \cdot \vec{r}_{13} = 0 \end{cases} \Rightarrow$$

zusätzl. glemenne no regezurückn

Кинематика твёрдого тела



$$\vec{r} = \vec{R} + \vec{g}$$

$$\vec{g} = A(t) \vec{g}_0$$

$\vec{R}(t)$, $A(t)$ - зал. \Rightarrow глоб. Т. заланс.

$$A^T A = E$$

$\det A = 1$ оптим. настройка адп-105. гироскоп

Пред-ум $A(t)$: $A(0) = E$

$$\frac{d}{dt} | A^T A = E \Rightarrow \dot{A}^T(0) A(0) + A(0) \dot{A} = 0$$

$$\dot{A}(0) = \hat{\omega} : \quad \hat{\omega}^T = -\hat{\omega}$$

$$\text{дл } t \ll 1 \Rightarrow A(dt) \approx E + \hat{\omega} dt$$

$$\vec{v} = \dot{\vec{r}} = \dot{\vec{R}} + \dot{\vec{g}}, \quad \vec{g} = A \vec{g}_0$$

$$\vec{g}(dt) = (E + \hat{\omega} dt) \vec{g}_0 \quad \Rightarrow \quad \dot{\vec{g}}|_{t=0} = \hat{\omega} \vec{g}|_{t=0}$$

$$\dot{\vec{g}} = \hat{\omega} \vec{g}$$

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \hat{\omega} \vec{g}$$

$$\text{В } \mathbb{R}^3: \quad \hat{\omega} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega^3 & \omega^2 \\ \omega^3 & 0 & -\omega^1 \\ -\omega^2 & \omega^1 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \hat{\omega} \vec{g} = \vec{\omega} \times \vec{g}, \text{ где } \vec{\omega} = \begin{bmatrix} \omega^1 \\ \omega^2 \\ \omega^3 \end{bmatrix} - \text{гирок. вектор}$$

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{\omega} \times \vec{g} - \text{qp-ое движение}$$



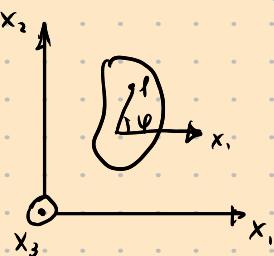
$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{e} \Delta \varphi}{\Delta t}$$

$$\vec{e} \Delta \varphi = \Delta \varphi - \text{базисное движение}$$

$$\vec{\omega} = \dot{\vec{V}} = \vec{V}_0 + \vec{\epsilon} \times \vec{g} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{g})$$

Дополн. формула, $\vec{\epsilon} = \dot{\vec{\omega}} - \text{им. ускорение}$

Простое глобусное



$$\vec{\omega} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \end{bmatrix}, \quad \vec{\epsilon} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$\omega = \dot{\varphi}$$

$$\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{g}) = \vec{\omega} (\vec{\omega} / \vec{g}) - \omega^2 \vec{g}$$

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \vec{\epsilon} \times \vec{g} - \omega^2 \vec{g} - \text{2D Рубанов}$$

Многовимірна геометрія векторів та усередині

Числові вектори: $\rho: \vec{V}_p = 0 = \vec{V}_o + \vec{\omega} \times \vec{g}_p$

$$\vec{\omega} \times \vec{V}_o - \vec{\omega} \vec{g}_p = 0 \Rightarrow \vec{g}_p = \frac{\vec{\omega} \times \vec{V}_o}{\omega^2} - \text{безгравітація}$$

Но! ρ збирається як в р-бі, тає у б-рел - то юніверсальні



Кореневі дії нерівнозначності

(γ_1 є коренев. V та r є рівні)

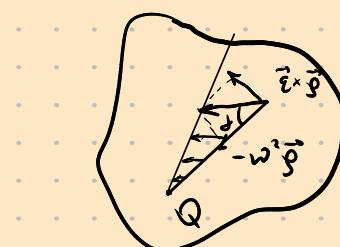
Числові вектори Q

$$\vec{W}_Q = 0 = \vec{\omega}_o + \vec{\varepsilon} \times \vec{g}_Q - \vec{\omega}^2 \vec{g}_Q$$

$$\vec{\varepsilon} \times \vec{\omega}_o - \vec{\varepsilon}^2 \vec{g}_Q - \vec{\omega}^2 \vec{\varepsilon} \times \vec{g}_Q = 0$$

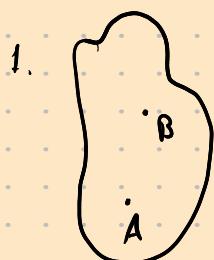
$$\vec{\varepsilon} \times \vec{\omega}_o - \vec{\varepsilon}^2 \vec{g}_Q - \vec{\omega}^2 \vec{g}_Q + \vec{\omega}^2 \vec{\omega}_o = 0$$

$$\vec{g}_Q = \frac{\vec{\varepsilon} \times \vec{\omega}_o + \vec{\omega}^2 \vec{\omega}_o}{\vec{\varepsilon}^2 + \vec{\omega}^2}$$



$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\varepsilon}{\omega^2}$$

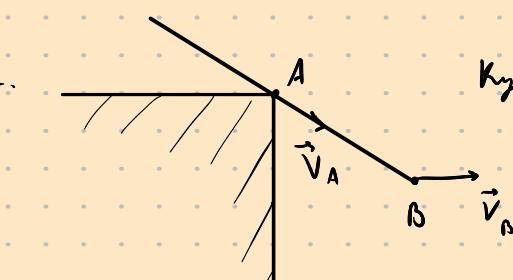
Поняття проїх (коюни в 3D та в 2D)



$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{\omega} \times \vec{AB} \quad | \vec{e}_{AB} \parallel \vec{AB}$$

$$\vec{V}_B \cdot \vec{e}_{AB} = \vec{V}_A \cdot \vec{e}_{AB}$$

2.



Куда направлено \vec{V}_A , щоб налаштувати юні?

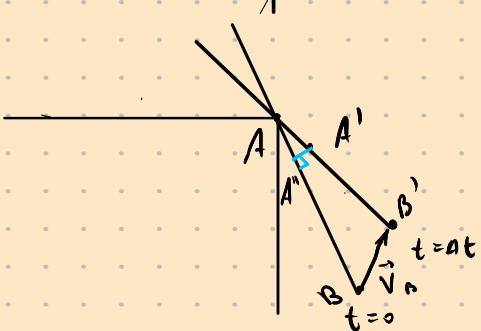
Оберні лінії AB :

$$\vec{AA}' = \vec{AA}'' + \vec{A}''A'$$

$$\vec{A}''A' \approx AA''04$$

$$\vec{V}_A = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{AA}'}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\vec{AA}''}{\Delta t} + \frac{\vec{AA}''04}{\Delta t} \right) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{AA}''}{\Delta t} = \vec{V}_1$$

коюнічно
чиєтво $-\vec{V}_1$



УКА



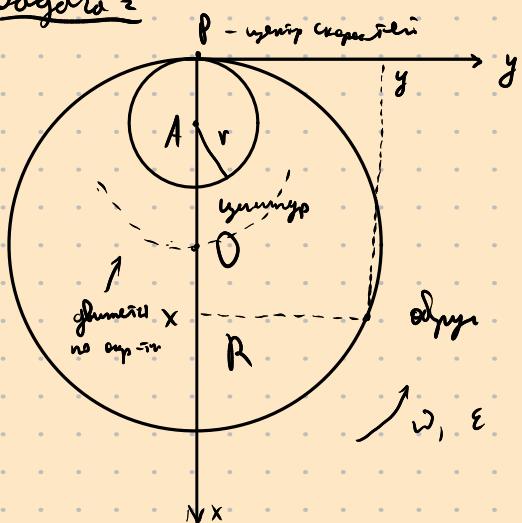
$$V_0 = \frac{V_0^2}{R} = 4\omega^2 L$$



$$MN = L = 2R \sin 30^\circ = R$$

$$PD = 2L \quad V_0 = 2\omega L$$

Zagora 2



Без пренебрежений

ω, ϵ заданы

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{\omega} \times \vec{p}$$

$$\vec{W} = \vec{W}_0 + \vec{\epsilon} \times \vec{p} - \omega^2 \vec{p}$$

$$\vec{V}_0 = \vec{\omega} \times \vec{p}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega R \\ 0 \end{bmatrix}$$

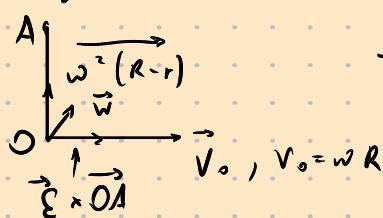
$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{\omega} \times \vec{p}$$

Приближенный О - эксп-тиво ср. А

$$\vec{p} = \begin{bmatrix} x \\ y - R \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} & \left[\begin{array}{c|c} -a^1 & -b_1 \\ a^2 & b_2 \\ a^3 & b_3 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} a^2 b^3 - a^3 b^2 \\ a^3 b^1 - a^1 b^3 \\ a^1 b^2 - a^2 b^1 \end{array} \right] \\ & \left[\begin{array}{c|c} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{array} \right] \\ & \left[\begin{array}{c|c} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{array} \right] \end{aligned}$$

Полезная мысль:
(бесконечное
уничтожение)



Ω - угл. скр. АО

$$V_0 = \omega R = \Omega (R-r)$$

$$\Omega = \frac{R}{R-r} \omega$$

$$\epsilon = \frac{R}{R-r} \epsilon$$

Zadacha 2 (3.24 ~)



$$V_c - ?$$

$$V_c - ?$$

$$\vec{V}_B \cdot \vec{BC} = 0 = \vec{V}_c \cdot \vec{BC} \Rightarrow V_c = 0$$

$$\omega = \text{const}$$

(надо показать, что в м-ре имеется иной угол)

No xrestitomaniyam



$r, \omega = \text{const}$, обусловлено тем, что происходит вращение

$$\vec{V}_m, \vec{W}_m, g_m, \vec{\omega}, \vec{\varepsilon} - ?$$

$\vec{V} = \vec{V}_o + \vec{\omega} \times \vec{g} = \vec{\omega} \times \vec{g}$ — т.к. образующая конуса, вращающегося наб-ми, имеет 2 концы, т.к. $\vec{V} = 0$, то

$\vec{\omega} \parallel$ касательная к орб-ции

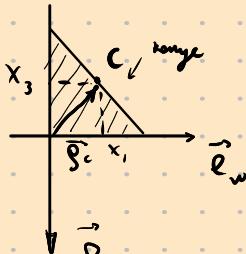
$$\vec{\omega} = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \\ 0 \end{bmatrix}, \vec{V}_m = \vec{\omega} \times \vec{g}_m = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \sqrt{2}r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega^2 r \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\vec{\omega} = \omega \vec{e}_\omega, \vec{e}_\omega = \frac{\vec{\omega}}{\omega}$$

$$\vec{\varepsilon} = \dot{\omega} \vec{e}_\omega + \omega \vec{e}_\omega$$

Всегда одинаково Ω :

Но разные, это



\vec{e}_ω направлено вправо, $\vec{\omega}$ влево

$$\vec{\varepsilon} = \omega \vec{\Omega} \times \vec{e}_\omega \quad (\text{здесь } \vec{e}_\omega \text{ это как } \vec{g}, \vec{\Omega} \text{ это } \vec{\omega})$$

$$\vec{V}_c = \vec{\omega} \times \vec{g}_c = \vec{\Omega} \times \vec{g}_c$$

$$x_1: \omega \frac{r}{\sqrt{2}} = \Omega \frac{r}{\sqrt{2}} \Rightarrow \Omega = \omega$$

$$\vec{\Omega} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\omega \end{bmatrix} \Rightarrow \vec{\varepsilon} = \omega^2 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega^2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\vec{W}_m = \underbrace{\vec{\varepsilon} \times \vec{g}_m}_{\perp \vec{e}} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{g}_m) \quad \vec{V}_m \text{ (как правило), } \perp \vec{e}$$

$$\vec{W}_m = \vec{W}_m^\top \vec{e} + \frac{V_m^2}{g_m} \vec{n}$$

$$\vec{V}_m \parallel \vec{x}_1 \Rightarrow \vec{e} = \vec{x}_1$$

$$\text{Таким образом } \vec{W}_m = \frac{V_m^2}{g_m} \vec{n} \Leftrightarrow g_m = \frac{V_m^2}{w_m}$$

! При вращении дж. мом. нул., векторы в. компон. т. миним. величина = 0,

$$\vec{\varepsilon} = \vec{\omega}_w + \vec{\omega}_e$$

Ориг. векторов

$$A \vec{r}_1 = \vec{r}_1 \Rightarrow \vec{r}_1$$

$$\hat{e} = \begin{bmatrix} 0 & -e^3 & e^1 \\ e^3 & 0 & -e^2 \\ -e^2 & e^1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$e_1 = \frac{1}{2\sin\varphi} (a_2^3 - a_3^2)$$

$$e_2 = \frac{1}{2\sin\varphi} (a_3^1 - a_1^3)$$

$$e_3 = \frac{1}{2\sin\varphi} (a_1^2 - a_2^1)$$

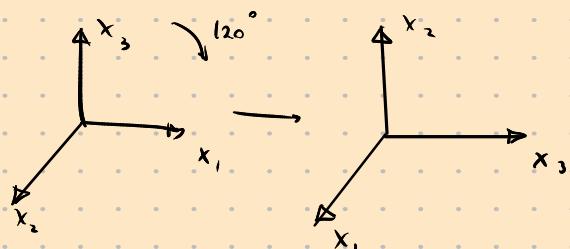
$$A = E \cos\varphi + \hat{e} \sin\varphi + (1 - \cos\varphi) \hat{e}^\top \hat{e}$$

$$\operatorname{tr} A = 3 \cos\varphi + 0 + 1 - \cos\varphi$$

$$\cos\varphi = \frac{\operatorname{tr} A - 1}{2}$$

Пример

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \hat{e}, \quad \varphi - ?$$



$$\cos\varphi = \frac{\operatorname{tr} A - 1}{2} = -\frac{1}{2} \Rightarrow \varphi = \frac{2\pi}{3}$$

$$\sin\varphi = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$e^1 = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad e^2 = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad e^3 = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Круговые штукан

Группа поворотов $SO(3)$ связана с циклами:



Многосторонне - множества дж. разрывов и (однако) связные

Линейные изоморфии

Повероты

центрическое — вращаются нр-бо и сдвигают центр греч. $\sigma_{\text{цент}}$

нацентрическое — вращаются дальше, а не-ц. греч.

Аксионометрия: $\vec{r}' = A \vec{r}$

Плоскостное: $\vec{r}_{ii} = d_i^i \vec{e}_i$

$$\vec{r}^{(1)} = r^{(1)} e_{1,1} = r^{(1)} d_1^1 \vec{e}_i = r^{(1)} \vec{e}_i$$

$$r^i = d_i^i r^{(1)} \Leftrightarrow \vec{r} = A \vec{r}^{(1)}$$

$$\vec{r}^{(1)} = A^T \vec{r} - \text{однозначное к A преобразование}$$

① Изоморфия центрическим поворотом

$$\vec{r}' = A_1 \vec{r}, \quad \vec{r}'' = A_2 \vec{r}'$$

$$\vec{r}''' = A_3 A_2 \vec{r} \Rightarrow A = A_n \cdot \dots \cdot A_1$$

② Изоморфия нацентрическим поворотом

$$\vec{r}^{(1)} = A_1^T \vec{r} \quad \vec{r}^{(2)} = A_2^T \vec{r}^{(1)}$$

$$\vec{r}^{(3)} = A_3^T A_2^T \vec{r} = (A_3 A_2)^T \vec{r} \Rightarrow A = A_1 \cdot \dots \cdot A_n$$

Пример 1



Линейный изоморфизм центрическим (две оси заменены)

$$A = A_2 A_1$$

Пример 2 (установка координат в окрестности)

Поверот нацентрический — так повернуты фигуры вокруг центра

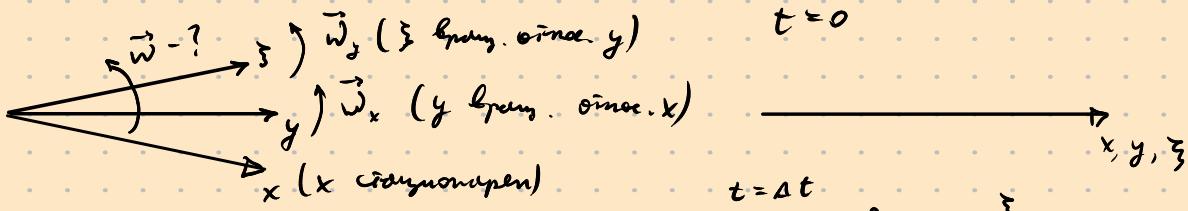
$$A = A_4 \circ A_3 \circ A_2 \circ A_1$$



$$A_{12} = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad A_\psi = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Суммирование угловых скоростей

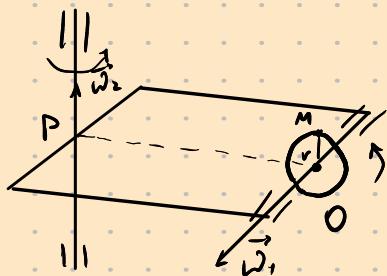


$$A \approx E + \hat{\omega}_x at$$

$$B \approx E + \hat{\omega}_y at$$

$$C = AB \approx E + (\underbrace{\hat{\omega}_x + \hat{\omega}_y}_{\hat{\omega}}) at$$

Пример



Равномерное + вращение круговое на плоскости

$$\vec{\omega}, \vec{\xi} - ? \quad \omega_1, \omega_2 = \text{const}$$

$$\vec{V}_m, \vec{W}_m - ?$$

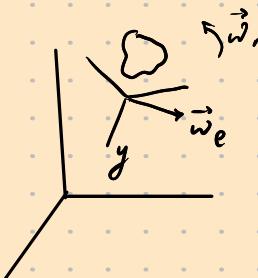
$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2$$

Вращение Т.Т. во вращающемся пространстве

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_e + \vec{\omega}_r \hat{y}_i$$

$$\vec{\xi} = \underbrace{\dot{\vec{\omega}}_e}_{\vec{\xi}_e} + \underbrace{\vec{\omega}_r^2 \hat{y}_i}_{\vec{\xi}_r} + \underbrace{\vec{\omega}_e \vec{\omega}_e \times \hat{y}_i}_{\vec{\omega}_e \times \vec{\omega}_r}$$

$$\vec{\xi} = \vec{\xi}_e + \vec{\xi}_r + \vec{\omega}_e \times \vec{\omega}_r$$



$$\beta \text{ зеркало: } \vec{\xi} = \vec{\omega}_1 \times \vec{\omega}_2 \quad \vec{W}_m = \underbrace{\vec{\omega}_0}_{\vec{\omega}_2 \times \vec{P}O} + \vec{\xi} \times \vec{O}M + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{O}M)$$

$$\vec{V}_m = \underbrace{\vec{V}_0}_{\vec{\omega}_2 \times \vec{P}O} + \vec{\omega} \times \vec{O}M$$

$$\vec{\omega}_2 \times (\vec{\omega}_2 \times \vec{P}O) = -\omega_2^2 \vec{P}O$$

Кватернионы

$$R' = \lambda \circ \vec{r} \circ \lambda \quad \| \lambda \| = 1 \quad \lambda = \cos \varphi/2 + \vec{e} \sin \varphi/2 \quad |\vec{e}| = 1$$

$R = \begin{bmatrix} 0 \\ \vec{r} \end{bmatrix} \approx \vec{r} \Rightarrow \vec{r}' = \lambda \circ \vec{r} \circ \lambda \quad - \text{некоторое орт. } \vec{e} \text{ на } \varphi.$

Акси



$$\vec{r}'' = \underbrace{\lambda_2 \circ \lambda_1}_{\lambda} \circ \vec{r} \circ \underbrace{\lambda_2 \circ \lambda_1}_{\lambda}$$

План



$$\vec{r}_{e''} = \underbrace{\lambda_1 \circ \lambda_2}_{\lambda} \circ \vec{r} \circ \underbrace{\lambda_1 \circ \lambda_2}_{\lambda}$$

Пример 1



$$\lambda_1 = \cos \varphi_{1/2} + \vec{e}_1 \sin \varphi_{1/2}$$

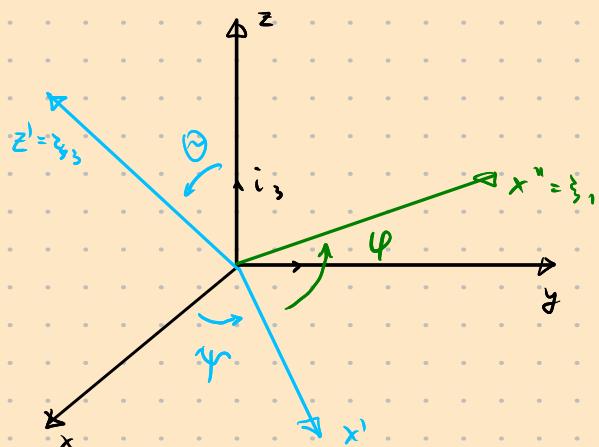
$$\lambda_2 = \cos \varphi_{2/2} + \vec{e}_2 \sin \varphi_{2/2}$$

$$\lambda = \lambda_2 \circ \lambda_1 = \cos \varphi_{1/2} \cos \varphi_{2/2} - \vec{e}_1 \cdot \vec{e}_2 \sin \varphi_{1/2} \sin \varphi_{2/2} + \cos \varphi_{1/2}$$

$$+ \sin \varphi_{1/2} \cos \varphi_{2/2} \vec{e}_1 + \sin \varphi_{1/2} \sin \varphi_{2/2} \vec{e}_2 + \vec{e}_2 \times \vec{e}_1 \sin \varphi_{1/2} \sin \varphi_{2/2}$$

$\sin \varphi_{1/2}$ - прямое вращение некоторой - наше бывает неправо

Пример 2



$$\lambda_\varphi = \cos \varphi/2 + i_3 \sin \varphi/2$$

$$\lambda_\theta = \cos \theta/2 + i_1 \sin \theta/2$$

$$\lambda_\psi = \cos \psi/2 + i_3 \sin \psi/2$$

$\lambda = \lambda_\psi \circ \lambda_\theta \circ \lambda_\varphi$ - формальное описание, не всегда правильное (см. замечания про фазы)

Несмотря на то, что некоторое вращение в пространстве, напр. в кватернионах, не является однозначным - можно выбрать различные вращения для получения одинаковых результатов (гомотомии).

А если считать с акс. + зп. - нужно генерировать симметричные, неёжные единицы в кватернионах.

Уравнение Ньютона

$$\ddot{\lambda} = \frac{1}{2} \vec{\omega}_x \times \lambda \quad \ddot{\lambda} = \frac{1}{2} \lambda \times \vec{\omega}_y$$

Основы гидравики



Кинематика
материала!

$$m = \int dm \quad - \text{масса}$$

$$\vec{L} = \int \vec{F}(\vec{r}, \dot{\vec{r}}, t) dm \quad - \text{импульс}$$

$$\vec{r}_c = \frac{1}{m} \int \vec{r} dm \quad - \text{重心 масс}$$

$$\vec{P} = \int \vec{v} dm = m \vec{V}_c \quad - \text{импульс}$$

$$\vec{K}_o = \int (\vec{r} - \vec{r}_o) \times \vec{v} dm \quad - \text{материальная кинетическая энергия}$$

$$\vec{K}_{o'} = \int (\vec{r} - \vec{r}_o) \times \vec{v} dm = \int (\vec{r} - \vec{r}_o + \vec{r}_o - \vec{r}_{o'}) \times \vec{v} dm = K_o + \vec{O}'\vec{O} \times \vec{P} \quad - \text{материальная кинетическая энергия - вогненно,}$$

$$\vec{V}_{o'} = \vec{V}_o + \vec{\omega} \times \vec{O}' \quad - \text{материальная кинетическая энергия!}$$

$$T = \frac{1}{2} \int v^2 dm \quad - \text{кинетическая энергия}$$

Теория Кинетика



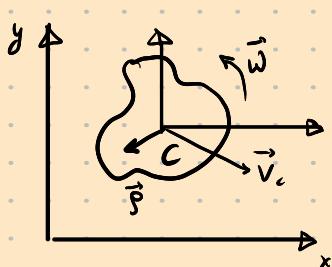
- кинематика С.О.

$$\vec{V} = \vec{V}_c + \vec{V}_r$$

$$T = \frac{1}{2} \int (V_c^2 + 2\vec{V}_c \cdot \vec{V}_r + V_r^2) dm$$

$$\int \vec{V}_r dm = \frac{d}{dt} \underbrace{\int \vec{p} dm}_{m \vec{p}_c = 0} = 0 \Rightarrow T = \frac{1}{2} m V_c^2 + \frac{1}{2} \int V_r^2 dm$$

Гибридная модель Тей



$$\vec{V}_r = \vec{\omega} \times \vec{p}$$

$$V_r^2 = \omega^2 p^2, \quad \vec{\omega} \perp \vec{p}$$

$$\frac{1}{2} \int V_r^2 dm = \frac{\omega^2}{2} \int p^2 dm = \frac{J_c \omega^2}{2} \Rightarrow T = \frac{m V_c^2}{2} + \frac{J_c \omega^2}{2}$$

Момент инерции в 3D становится тензором инерции.

$$\vec{K}_o = \vec{K}_c + \vec{O}\vec{C} \times \vec{P}$$

$$\vec{K}_c = \int (\vec{r} - \vec{r}_c) \times \vec{v} dm = \int \vec{p} \times (\vec{V}_c + \vec{\omega} \times \vec{p}) dm = \int \vec{p} \times (\vec{\omega} \times \vec{p}) dm = \vec{\omega} \int p^2 dm = J_c \vec{\omega}$$

$$\vec{K}_o = \underbrace{J_c \vec{\omega}}_{K_c} + \underbrace{\vec{O}\vec{C} \times \vec{P}}_{m \vec{V}_c}$$

Без неизв. м.

$\vec{V}_c = 0$

Пример 1



Определите винчестер на путь кин. энергии!

$$\vec{P}, \vec{K}_A, T - ?$$

$$\vec{P} = m \vec{V}_c$$

$$\vec{V}_c = \vec{V}_c^e + \vec{V}_c^r = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{l} \\ r \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{l} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{l} - r \dot{\varphi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \vec{P} = m \vec{V}_c = \dots$$

Найдите винчестер $\vec{\omega}$ (вращения)

$$T = \frac{m V_c^2}{2} + \frac{m r^2}{4} \omega^2$$

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}^e + \vec{\omega}^r = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\dot{\varphi}/r \end{bmatrix} \Rightarrow \omega^2 = (\dot{\varphi} - \dot{\varphi}/r)^2 \Rightarrow T = \dots$$

Если точка A неподвижна в отсчетном системе, $\vec{K}_A = J_A \vec{\omega}$

$$\text{Чтобы (запись одна неподвижна): } \vec{K}_A = J_c \vec{\omega} + \vec{AC} \times m \vec{V}_c = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{m r^2}{2} (\dot{\varphi} - \dot{\varphi}/r) \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} 0 \\ r \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{l} - r \dot{\varphi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{3}{2} m r^2 (\dot{\varphi} - \dot{\varphi}/r) \end{bmatrix}$$

Неподвижное тело имеет форму тела приведенного центра — симметрии

Неподвижное тело



$$T = \frac{1}{2} \int V^2 dm = \frac{1}{2} \int \omega^2 \rho^2 dm = \frac{J_p \omega^2}{2}$$

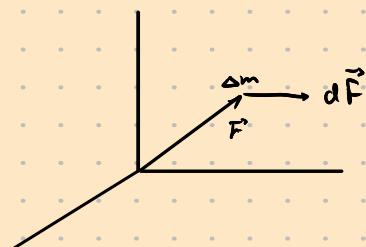
$$\vec{K}_p = \int \vec{\rho} \times (\vec{\omega} \times \vec{\rho}) dm = J_p \vec{\omega} \quad - \text{аналог закону момента!}$$

Закон изложения (единственность! не только 2D)

$$\delta m \vec{r} = \delta \vec{F}$$

$$\vec{F} = \lim_{\Delta m \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{F}}{\Delta m} \quad - \text{известные силы}$$

$$\vec{r} = \vec{r} = \vec{r}^e + \vec{r}^i \quad (\text{бесконечная сумма})$$



$$1. \text{Число: } \vec{P} = \int \vec{v} dm = \int (\vec{f}^e + \vec{f}^i) dm = \vec{R}^e - \text{затраты борьбы времени сопротивл.}$$

$$\vec{P} = \vec{R}^e; \quad m\vec{V}_c = \vec{R}^e - \text{затраты времени на массу}$$

$$2. \text{Кин. момент: } \vec{K}_o = \int (\vec{r} - \vec{r}_o) \times \vec{v} dm \Rightarrow \vec{K}_o = \underbrace{\int (\vec{v} - \vec{v}_o) \times \vec{v} dm}_{-m\vec{V}_o \times \vec{V}_c} + \underbrace{\int (\vec{r} - \vec{r}_o) \times (\vec{f}^e + \vec{f}^i) dm}_{\vec{M}^e}$$

$$\vec{K}_o = \vec{M}^e - m\vec{V}_o \times \vec{V}_c \quad (\vec{M}^e - \text{момент времени сопротивления сопротивления})$$

$$3. \text{Кин. энергия: } T = \int \vec{v} \cdot \vec{v} dm = \underbrace{\int \vec{v} \cdot \vec{f}^e dm}_{N^e} + \underbrace{\int \vec{v} \cdot \vec{f}^i dm}_{N^i} = N^e + N^i$$

N^i - расход времени!
(нед. энергия \rightarrow кин. энергия)

Пример 2



1. Принцип конечных разностей?

2. $\dot{\varphi}(\varphi) = ?$

Через массу можно выразить

$$x = \frac{l}{2} \cos \varphi$$

$$y = \frac{l}{2} \sin \varphi$$

$$\frac{x^2}{(l/2)^2} + \frac{y^2}{(l/2)^2} = 1 \quad \text{- конус гипотенузы по радиусу}$$

2. $T = \text{const}$, где T - огнищо кривизны

$$y_c = \frac{l}{2} \sin \varphi \Rightarrow V_c = \frac{l \dot{\varphi}}{2} \cos \varphi$$

$$T = \frac{m}{8} l^2 \dot{\varphi}^2 \cos^2 \varphi + \frac{ml^2}{2u} \dot{\varphi}^2 = \text{const} \Rightarrow \dot{\varphi}(\varphi)$$

Задача 1



небольшое время сопротивления

$$\alpha(0) = \alpha_0$$

$$\dot{\alpha}(0) = 0$$

Определить ли кривизна пути в точке B?

Определить уравнение $\Leftrightarrow N_A$ или N_B одновременно в 0.

$$\underbrace{m\ddot{r}_c}_{m\vec{w}_c} = \underbrace{m\vec{g} + \vec{N}_A + \vec{N}_B}_{\vec{F}}$$

$$\vec{F} = -\nabla \Pi(\vec{r}) \Rightarrow T + \Pi = \text{const} = E$$

Ciunca peanum paderon ne cobepenaros

$$F = \frac{m l^2 \dot{\alpha}^2}{2} + \frac{4 m l^2 \dot{\alpha}^2}{24} + m g l \sin \alpha = m g l \sin \alpha.$$

$(m V_c^2 / 2)$

$$\frac{2}{3} \dot{\alpha}^2 = \frac{g}{l} (\sin \alpha_0 - \sin \alpha)$$

$$\ddot{\alpha}^2 = \frac{3}{2} \frac{g}{l} (\sin \alpha_0 - \sin \alpha)$$

$$\vec{W}_n = l \ddot{\alpha}^2$$

Uroba gociaje $\ddot{\alpha}$, nago paderans c kurv. momeniam.

$$\vec{K}_o = \vec{M}_o - m \vec{V}_o \times \vec{V}_c$$

$$\vec{K}_p = J_p \dot{\vec{\omega}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{4}{3} m l^2 \dot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ m g l \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$\ddot{\alpha} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{g}{l} \cos \alpha$$

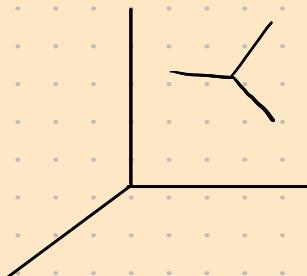
$$\vec{W}_{cx} = \underbrace{\frac{3}{4} g \cos \alpha_0 \sin \alpha_*}_{|W_t| \cdot \sin \alpha} - \frac{3}{2} g (\sin \alpha_0 - \sin \alpha) \cos \alpha_* = 0$$

$\cos \alpha_* = 0$ - ne negausi coradne kurv. yca.

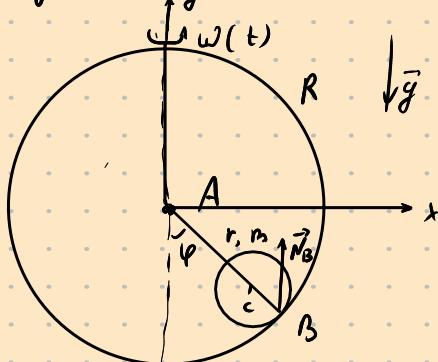
$\sin \alpha_* = \frac{2}{3} \sin \alpha_0$ - pem. biengu cys-er \Rightarrow biengu nspozonzei oiprib

$$\vec{W} = \vec{f}^e + \vec{f}^i$$

$$\vec{W} = \vec{W}^r + \vec{W}^e + \vec{W}^i \Rightarrow \vec{W}^r = \vec{f}^{er} + \vec{f}^{ii} - \vec{j}^e - \vec{j}^i$$



3agara 2



1. Gociabnis y_p -e oin. gbum.

$$\vec{N}_B = ?$$

Uroba dey kremens kainic no reng-to \Rightarrow depein \vec{K}_o oin. kainus

Reperijs b nsgumus cun-ny osriens

$$\vec{K}_B = \vec{M}_{B_B}^{ex} + \vec{M}_{B_B}^e + \vec{M}_{B_B}^c$$

Если момент B -координаты скрещен, то $\dot{\vec{K}}_B = \vec{T}\omega$

$$\vec{V}_c = \dot{\vec{q}} \times \vec{AC} = \vec{\omega} \times \vec{BC}$$

$$\omega = \frac{R-r}{r} \dot{\varphi}$$

$$\dot{\vec{K}}_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{2}mr^2 \frac{R-r}{r} \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mgr \sin \varphi \end{bmatrix} + \dots + \begin{matrix} \vec{M}_{B_B}^{ex} & \vec{M}_{B_B}^e \end{matrix}$$

Кинематика симметрична относительно оси I наклонена, зерни момент суммируется в моменте вращения и в нем она не участвует

$$-\vec{J} \times (\vec{J} \times \vec{r}) dm - \underbrace{\vec{\epsilon} \times \vec{r} dm}_{\text{нам не участвует}} = \omega^2 r dm$$

φ - параллельное смещение



Из условия равновесия $\vec{M}_c^e = 0$

$$\vec{M}_{B_B}^e = \vec{M}_c^{e'} + \vec{BC} \times \vec{R}^e = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -m\omega^2 (R-r) r \cos \varphi \sin \varphi \end{bmatrix}$$

$$\vec{R}^e = - \int \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) dm = - m \vec{\omega} \times (\vec{J} \times \vec{r}_c) =$$

$$R^e = m\omega^2 (R-r) \sin \varphi$$

$$-\frac{3}{2} mr(R-r) \ddot{\varphi} = mgr \sin \varphi - m\omega^2 r(R-r) \sin \varphi \cos \varphi$$

$$\ddot{\varphi} + \frac{2}{3} \frac{3}{R-r} \sin \varphi - \frac{2}{3} \omega^2 \sin \varphi \cos \varphi = 0 \quad - \text{гравитация}$$

$$mr_c^e = mg + \vec{N}_B + \vec{R}^e$$

$$W_n = (R-r) \dot{\varphi}^2$$

$$\ddot{\varphi} \dot{\varphi} = \dot{\varphi}^2$$

$$\frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 - \frac{2}{3} \omega^2 \sin \varphi$$

Центральное поле.



$$r^2 \dot{\varphi} = C$$

$\frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 r^2 = \text{const}$ - центральная кинетика

$$\begin{cases} (mr - r\dot{\varphi}^2) = F \\ \frac{m}{r} (r^2 \dot{\varphi})' = 0 \end{cases}$$

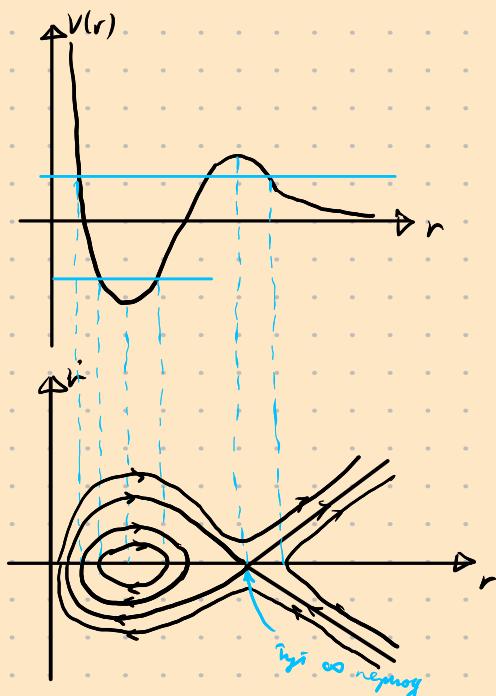
$$\delta A = F dr + \partial \varphi = -\Pi_r dr - \Pi_\varphi d\varphi$$

$$\Pi = \Pi(r) = - \int F(r) dr$$

$$\frac{m}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\varphi}^2) + \Pi(r) = E = \text{const}$$

$$\dot{r}^2 + \underbrace{\frac{C^2}{r^2}}_{V(r)} + \Pi(r) = h = \frac{2E}{m} = \text{const}$$

Коэффициенты собственных чисел
также называются (разрешимые состояния
макс/мин скорости вспомогательных
коэффиц.)



Уп-я Банка

$$u = \frac{1}{r}, \quad t \mapsto \varphi \quad (r^2 \dot{\varphi} = C, \quad \varphi(t) \text{ однозначна} \Rightarrow \text{Гильберт})$$

$$m(\ddot{r} + r\dot{\varphi}^2) = F$$

$$\Rightarrow u'' + u = -\frac{F}{m C^2 u^2}$$

Задача 2

$$\vec{r} \quad \vec{R} \quad \vec{F} = -\frac{m \kappa \vec{r}}{r^3}, \quad \kappa = \frac{\partial M}{(1 + \frac{m}{M})^2}$$

$$F = -m \kappa u^2 \Rightarrow u'' + u = \frac{\kappa}{c^2} \Rightarrow r = \frac{P}{1 + e \cos \varphi} \quad (b \text{ наз. орбитальная скорость } e > 1)$$

$$P = \frac{c^2}{\kappa}$$

$$e = \sqrt{1 + h \frac{c^2}{k^2}}$$

Задача 1.



$p, e - ?$

$$\lambda = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} - ?$$

$$\omega = \dot{\varphi}$$

$$\lambda = \frac{\dot{\varphi}_{\max}}{\dot{\varphi}_{\min}}$$

$$r^2 \dot{\varphi} = \text{const}$$

$$\dot{\varphi}_{\max} = \frac{C}{r_{\min}^2}$$

$$\dot{\varphi}_{\min} = \frac{C}{r_{\max}^2}$$

$$r_{\min} = \frac{p}{1+e}$$

$$r_{\max} = \frac{p}{1-e}$$

$$\Rightarrow \lambda = \left(\frac{1+e}{1-e} \right)^2$$

Задача 2



$E - ?$

$$r_{\min} = \frac{p}{1+e} \quad r_{\max} = \frac{p}{1-e}$$

$$a = \frac{p}{1-e^2} = \frac{p = \frac{C}{k}}{1-1-h \frac{C^2}{k^2}} = - \frac{k}{h}$$

$$h = - \frac{k}{a} \Rightarrow E = \frac{m}{2} h = - \frac{mk}{2a}$$

Задача 3

$$F = - \frac{\alpha}{r^2} - \frac{\beta}{r^3} \quad \text{радиальный приводущий}$$

$$u'' + u = - \frac{F}{mc^2 u^2} = \frac{\alpha}{mc^2} + \frac{\beta u}{mc^2}$$

$$u'' + \left(1 - \frac{\beta}{mc^2} \right) u = \frac{\alpha}{mc^2}$$

$$\omega^2 > 0 \Rightarrow r = \frac{1}{u} = \frac{p}{1+e \cos(\omega \varphi)}$$

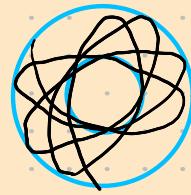
$$\boxed{\omega^2 = 1 - \frac{\beta}{mc^2} > 0 \quad \text{и движение замкнуто}}$$

$\ll 1$

Наряду с приведенным выше:

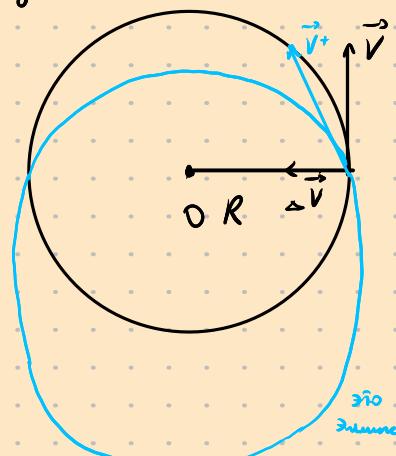


$\omega = \pi \frac{m}{n}$, $m, n \in \mathbb{Z} \Rightarrow$ Traektorie zamykająca
 $\omega \neq \pi \frac{m}{n} \Rightarrow$ Traektorie biegły nie ma ℓ kątu



Президент орбиты Меркурий - подтверждение СТО

3agara 4



Наша раб-р нашеі оружие

$$r = \frac{p}{1 + e \cos(\varphi + \varphi_0)}$$

- ne znam zje bytie negreniem opoluha =>
 \Rightarrow bolyavam φ_0 .

$$R = \frac{\rho}{1 + 0 \cdot \cos(\varphi - \varphi_0)} \Rightarrow \rho = R \quad (-g_0 + \text{none})$$

$$p^+ = \frac{c^2}{\kappa} \Rightarrow p^+ = p^- = R$$

$$r^2 \dot{\varphi} = rV_\varphi = C \Rightarrow C = rV - \alpha r \ln r \text{ wgm. } V_\varphi$$

$$e = \sqrt{1 + h \frac{c^2}{k^2}} \quad e^- = 0$$

$$h = \underbrace{r^2 + r^2 \dot{\varphi}^2}_{\ddot{V}^2} - \frac{2k}{r} \quad e^{+} = \sqrt{aV^2 \frac{c^2}{k^2}} = aV \frac{c}{k} \quad h^{+} = V^2 + aV^2 - \frac{2k}{R}$$

$$h^- = V^2 - \frac{2k}{R}$$

$$\frac{V^2}{R} = \frac{K}{R^2}$$

\ - уг.ила искажения изображения

уг. увеличения изображения

$$e^+ = \Delta V \frac{R V}{B V^2} = \frac{\Delta V}{V}$$

$$R = \frac{R}{1 + \frac{\partial V}{V} \cos \varphi_0} \Rightarrow \varphi_0 = \pm \frac{\pi}{2}$$

$$i = \frac{R e^+ \sin \varphi_0 i \dot{\varphi}_0}{(1 + e^+ \cos \varphi_0)^2} = - A V \Rightarrow \dot{\varphi}_0 = - \frac{\pi}{2}$$

$$E = -\frac{m^2}{2a} \Rightarrow \text{t.k. } E yb-a, \text{ to a } yb-a$$

Drehmomente Belegung Tisch

$$J_o = \begin{pmatrix} \int_{\frac{x_2}{2} + \frac{x_3}{3}} dm & -\int_{\frac{x_1}{2} + \frac{x_3}{3}} dm & -\int_{\frac{x_1}{2} + \frac{x_2}{3}} dm \\ \int_{\frac{x_1}{2} + \frac{x_3}{3}} dm & \int_{\frac{x_2}{2} + \frac{x_3}{3}} dm & \\ \int_{\frac{x_1}{2} + \frac{x_2}{3}} dm & \end{pmatrix}$$

$$J_o^T = J_o$$

$$J_{aa} + J_{cc} \geq J_{cc}$$

(\Rightarrow ges. moment grupp, cc + aa = min. momentum)

$$J_o = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ - ne normiert } J_{ccc} \text{ (normal. A-aa)}$$

$$J_o = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ - ne normiert } J_{ccc} \text{ (nicht min. momentum)}$$

$$\vec{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \Rightarrow \text{Tenzor KB. pac. um } j(\vec{a}) = \begin{bmatrix} a_1^2 + a_2^2 & -a_2 a_3 & -a_1 a_3 \\ -a_2 a_3 & a_1^2 + a_3^2 & -a_2 a_3 \\ -a_1 a_3 & -a_2 a_3 & a_1^2 + a_2^2 \end{bmatrix}$$

Prämissen 1. Einheitsmoment - Minimierung: $J_o = J_c + m j(\vec{a})$

$$J' = S^T J S \Rightarrow 3 \text{ Eigenwerte } \lambda_i, \text{ wobei } J' = \text{diag} [A, B, C]$$

$$\vec{r}^T J \vec{r} - 1 = 0 \text{ - konstante unabh.}$$

$$(B \text{ u. } \alpha \text{ axi: } Ax^2 + By^2 + Cz^2 = 1)$$



$$T = \frac{1}{2} m V_c^2 + \frac{1}{2} \vec{\omega}^T J_c \vec{\omega}$$



$$T = \frac{1}{2} \vec{\omega}^T J_o \vec{\omega}$$



$$\begin{aligned} K_o &= \vec{k}_c + \vec{OC} \times \vec{p} = \\ &= J_c \vec{\omega} + \vec{OC} \times m \vec{V}_c \end{aligned}$$



$$\vec{K}_o = J_o \vec{\omega}$$

Beispiel 1



$$J_c = ?$$

$$x = \frac{\alpha \sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{\alpha \sqrt{3}}{6}$$

J - arm. o. t. mit der A-aa, moment. bez. C

Момент инерции параллелен оси \hat{z} - $\frac{J}{16}$ т.к. $J \sim m r^2 \sim r^4$

$$J = \frac{J}{16} \cdot 4 + 3 \cdot \frac{m}{4} x^2$$

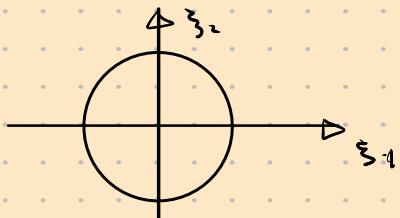
$$\frac{3J}{4} = \frac{3m}{4} \cdot \frac{a^2 \cdot 3}{36} \Rightarrow J = \frac{ma^2}{12}$$



\hat{z}_3 беда ортогональна

бисектрисе \hat{z}_1, \hat{z}_2

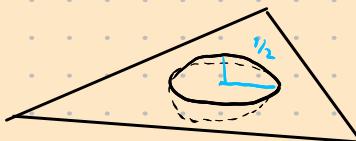
№ 8 Примеры:



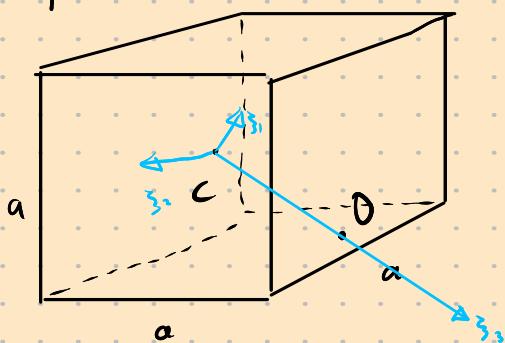
о каких способах! Но две они можно
(окруженность т.к. 3 ортогональны)

$$J = J_1 + J_2; \quad J_1 = J_2 \Rightarrow J_1 = J_2 = \frac{ma^2}{24}$$

(масса m и радиус a)



Пример 2



Найдем J_0 для n в изотропной среде с радиусом R т.о.

β т.с. - биссектриса

Используем \hat{z}_3 через O

$$J_0 = J_C + m_j(CO)$$

$$j(a) = \begin{bmatrix} a_1^2 + a_2^2 & -a_1 a_3 & -a_2 a_3 \\ -a_1 a_3 & a_1^2 + a_3^2 & -a_1 a_2 \\ -a_2 a_3 & -a_2 a_1 & a_2^2 + a_3^2 \end{bmatrix}$$

Неподвижные компоненты не фигурируют, т.к. m_j гаджет a_3^2

$$J'_1 = \frac{ma^2}{6} + m(CO)^2 = J'_2 \quad J_3 = J'_3$$



Диаграмма балки с отверстием, а также схема

Пример 3



$$S = \sum_{i=1}^{\infty} g_i^2 = ?$$

$$S = J_1 = 4a^2$$

Пример 4



\vec{OA} м. махшасы, пана неесанса,

\vec{OA} неренгелік көбінде б. шеше.

O -негізгі. т. үшін не 2D күрши!

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{1}{2} \vec{\omega}^T \vec{J}_0 \vec{\omega} \\ \vec{K}_0 &= \vec{J}_0 \vec{\omega} \end{aligned} \right\} \text{Тәсілде же негізгі. формул!}$$

көбінде!

$\vec{\omega}$ - оған. симметрия!

$$\vec{J}_0 = \vec{J}_c + m_j(\vec{OC}) = \text{diag} \left[\frac{ma^2}{12}, \frac{ma^2}{12}, \frac{ma^2}{6} \right] + \left[\frac{mb^2}{2}, \frac{mb^2}{2}, 0 \right]$$

$$\vec{\omega} = \begin{bmatrix} \vec{\omega}_1 / \sqrt{2} \\ 0 \\ \vec{\omega}_1 / \sqrt{2} + \vec{\omega}_2 \end{bmatrix}$$

$$\vec{K}_0 \parallel \vec{\omega} \Leftrightarrow \vec{J}_0 = \lambda \vec{E}$$

Пример 4

$$\vec{J} = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & D \\ 0 & D & C \end{bmatrix}$$

Коэффициенты залежности от инерции

Chodz 1: Wielokrotnie wiersz. znaczy

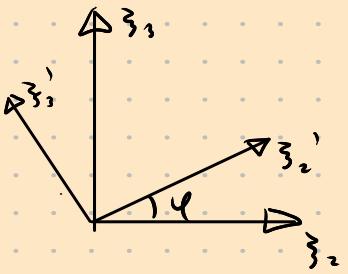
$$J_h = \lambda h \Rightarrow \det(\lambda E - J) = 0$$

$$(\lambda - A) \begin{vmatrix} \lambda - B & -D \\ -D & \lambda - C \end{vmatrix} = 0$$

$$\Rightarrow \lambda_1 = B', \quad \lambda_2 = C'$$

h_1, h_2 - wiersz. znaczy daje innym ozn.

Chodz 2:

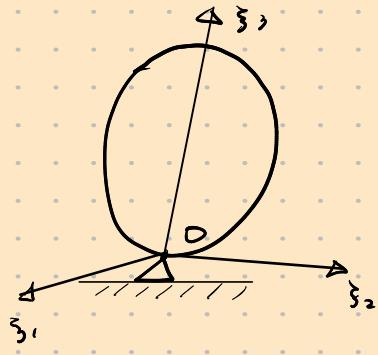


$$S = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix}$$

$$S^T JS = \text{diag}[A, B', C'] \Rightarrow \varphi$$

Дискутируя Твёрдого тела

Частная Фигура



$$K_3 = J \vec{\omega} = \begin{bmatrix} Aq \\ Bp \\ Cr \end{bmatrix}$$

$$A \neq B \neq C \quad A > C \quad M = 0$$

ξ - дың махсус ортасында O (негізгі)

$$\dot{\vec{K}}_x = \vec{M}_x \iff \frac{d\vec{K}_3}{dt} + \vec{\omega}_{\xi} \times \vec{K}_3 = \vec{M}_{\xi}$$

$$\begin{cases} A\ddot{p} + (C-B)\dot{q}r = M_1, \\ B\ddot{q} + (A-C)\dot{r}p = M_2, \\ C\ddot{r} + (B-A)\dot{p}q = M_3, \end{cases}$$

- гүлден. үп-тә Фигуралар
негізгілерінде 8 орын.

B үшр. Фигуралар $\vec{M} = 0$ (ақын-на заманында)

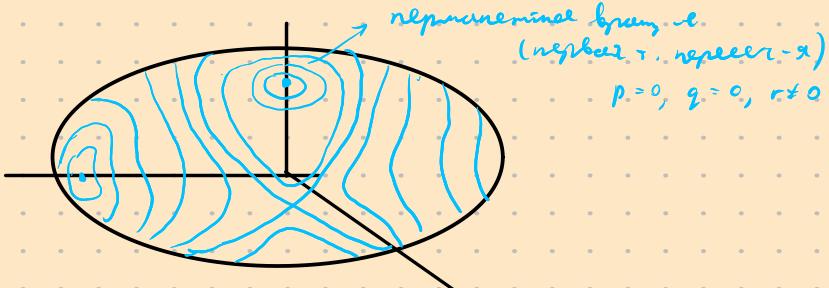
Консервативтік: $\vec{K}_x = \text{const} \iff |K_3|^2 = \text{const}$

$$\begin{cases} A^2 p^2 + B^2 q^2 + C^2 r^2 = \text{const} \\ A\dot{p}^2 + B\dot{q}^2 + C\dot{r}^2 = 2T = \text{const} \end{cases}$$

Интерпретация Мах - Кулдара

$$\begin{cases} K_1^2 + K_2^2 + K_3^2 = K^2 = \text{const} \quad (\text{б. дың } \xi) \\ \frac{K_1^2}{A} + \frac{K_2^2}{B} + \frac{K_3^2}{C} = 2T = \text{const} \end{cases}$$

- кепес. 2-жылдық поверхности
(сфералар негізінен)



Семипартия Еркебұза

Движение волнистых сечений

Интерпретация Рыжаков



Чертеж фигура при $A = B$ ($\vec{M} = \vec{0}$)

$$Cr = \text{const} \quad (Cr + (B-A) \dot{\varphi}) \stackrel{\circ}{pq} = 0$$



$$Cr = K \cos \theta$$

$$\cos \theta = \frac{Cr}{K} = \text{const}$$

φ - вращение
 r - преломление
 θ - наклон (или наклон)

$$\vec{K} = \begin{bmatrix} A_p \\ B_q \\ Cr \end{bmatrix} = A \vec{\omega} + (C-A) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ r \end{bmatrix}$$

$$\vec{\omega} = \frac{\vec{K}}{A} + \underbrace{\frac{A-C}{A} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ r \end{bmatrix}}_{\dot{\varphi} \parallel \vec{K} \quad \dot{\varphi} \parallel \vec{x}_3}$$

$$\dot{r} = \frac{k}{A}, \quad \dot{\varphi} = \frac{A-C}{A} r$$

Задача 1



Движение тела в горизонтальной плоскости при угловой скорости $\vec{\omega}$ и центральном притяжении.

$$m \ddot{r}_c = m \vec{g} \quad \text{- уравнение о движении тела.}$$

$$\vec{r}_c = \frac{\vec{g} t^2}{2} + \vec{v}(0)t + \vec{r}_0$$

В кинематике $C.O.i$ грав. гл. описывается как фигура при $A = B$.

$$A = B = \frac{mr^2}{4} \quad C = \frac{mr^2}{2}$$

$$\vec{\omega}(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \cos \alpha \\ \omega \sin \alpha \end{bmatrix}$$

$$\vec{K}(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ m\omega r^2 \cos \alpha / 4 \\ m\omega r^2 \sin \alpha / 2 \end{bmatrix}$$

Как \vec{K} изменяется при $\vec{\omega}$?



$A = B \Rightarrow$ пер. преломление

$$\cos \theta = \frac{m \omega r^2 \sin \alpha / 2}{\sqrt{\frac{m^2 \omega^2 r^4}{16} \cos^2 \alpha + \frac{m^2 \omega^2 r^4}{4} \sin^2 \alpha}} = \frac{Cr}{K}$$

$$\dot{r} = \frac{k}{A} = \dots$$

$$\dot{\varphi} = -r = -\omega \sin \alpha$$

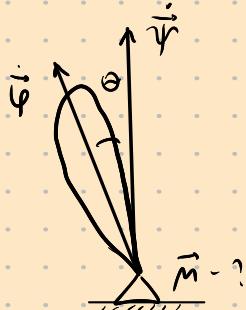
Задача 2



Задача 2 проходж. 7.

Найти радиус земного шара винчестера, $A = B \Rightarrow$ ^{пер.} ω

Более генеральное представление процессов



$$\Theta = \text{const}, \quad A = B \neq C$$

$$\dot{\psi} = \text{const}, \quad \dot{\varphi} = \text{const}$$

$$\vec{m} = [C + (C - A) \frac{\dot{\psi}}{\dot{\varphi}} \cos \Theta] \dot{\psi} \times \dot{\varphi}$$

Задача 1



Симметричное тело совершает более генеральное движение.

$$C = \frac{mr^2}{2}$$

$$\dot{\psi} = \omega, \quad \dot{\varphi} = -\omega \frac{l}{r}$$

$$\text{Процесс на оси } \vec{\psi}: \quad \frac{mr^2}{2} \frac{l}{r} \omega^2 = Nl - mgl$$

$$N = mg + \frac{mr\omega^2}{2} \quad - \text{распределение нормальной силы}$$

Задача 2



$N_A, N_B - ?$ (динамическое взаимодействие)

$$C \text{ конс} \Rightarrow \vec{N}_A + \vec{N}_B = 0 \quad (m\ddot{r}_c = 0 = \vec{N}_A + \vec{N}_B) \Rightarrow$$

$$\vec{F} = \vec{m} = \vec{r}_A \times \vec{N}_A + \vec{r}_B \times \vec{N}_B \Rightarrow \vec{N}_B = -\vec{N}_A = \vec{N}$$

Момент вращения дез барен приведен в обеих

$$\vec{\omega} = \begin{bmatrix} \omega \cos \alpha \\ 0 \\ \omega \sin \alpha \end{bmatrix}, \quad \vec{K} = \frac{\omega m r^2}{4} \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ 0 \\ 2 \sin \alpha \end{bmatrix}$$

$$\dot{\vec{K}} = \vec{\omega} \times \vec{K} = \frac{m \omega^2 r^2}{4} \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ 0 \\ \sin \alpha \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \sin \alpha \end{bmatrix} = \left[-\frac{m \omega^2 r^2}{4} \sin \alpha \cos \alpha \right] = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 Np \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow$$

(kann man nur 0)
(komponente \vec{k} , $\vec{\omega}$ parallel $\vec{\omega}$, rausziehen)

$$\Rightarrow N = -\frac{m \omega^2 r^2}{81} \sin \alpha \cos \alpha - \text{i.e. } \vec{N}_A \text{ und } \vec{N}_B \text{ auf Kapitole der Tafel nachschauen}$$

Уравнение Лагранжа

$$(T_{ik})' - T_{ik} = Q_k \Leftrightarrow E_k T = Q_k$$

$$Q_{ik} = -\Pi_{ik} \Rightarrow L = T - \Pi \Rightarrow \sum_k L = 0$$

$$V - \text{одн. норем.} \therefore Q_k = E_k V, \quad L = T - V$$

Пример 1: наклоненное



$$\text{Введен } q = [r \varphi]$$

M (кругл. момен.) — масса

$$T = \frac{m v^2}{2} = \frac{m}{2} \cdot (r^2 + r^2 \dot{\varphi}^2)$$

$$\Pi = \int F(r) dr \quad \delta A = Q_i \delta q^i - \text{бук. работы}$$

$$\delta A_a = Q_a \delta q^a \Rightarrow Q_a = \frac{\delta A_a}{\delta q^a} \Rightarrow Q_r = -F = -\Pi_r$$

$$L = \frac{m}{2} (r^2 + r^2 \dot{\varphi}^2) - \int F(r) dr$$

$$L_{,r} = mr \dot{\varphi}^2 - F(r)$$

$$L_{,\varphi} = 0$$

$$L_{,r} = m \ddot{r}, \quad (L_{,r})' = m \ddot{r}$$

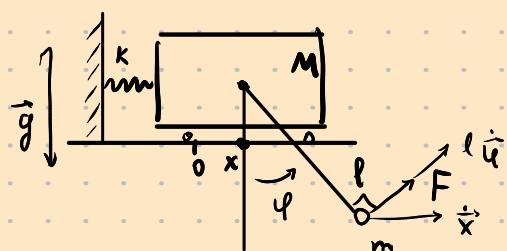
$$(L_{,r})' = 0$$

$$m \ddot{r} - mr \dot{\varphi}^2 + F(r) = 0 \quad (1)$$

$$mr^2 \dot{\varphi} = \text{const} \quad (2)$$

(1) и (2) — 2п. уравнения

Пример 2



$$L = \frac{M \dot{x}^2}{2} + \frac{m}{2} ((\dot{x} + l \dot{\varphi} \cos \varphi)^2 + l^2 \dot{\varphi}^2 \sin^2 \varphi) + m g l \cos \varphi - \frac{k x^2}{2}$$

$$g \rightarrow \Pi = m g l (1 - \cos \varphi) \sim -m g l \cos \varphi$$

Бес нас. центр тяжести сдвиг - в Лагрангии

$$K \rightarrow \Pi_x = \frac{k x^2}{2}$$

Смотрим, какую работу сделяет сокращение силы F при движ. непрерыв. по x и φ :

$$Q_a = \frac{\delta A_a}{\delta q^a}$$

$$\vec{F} \quad \delta A_x = \underbrace{\int F \cos \varphi dx}_{Q_x}$$

$$\vec{F} \quad \delta A_\varphi = \underbrace{\int l \dot{\varphi} F dx}_{Q_\varphi}$$

$$(F_i)_k' - F_{ik} = Q_k \quad - \text{нагрузка, действующая}$$

Сост. уп-ии Аквариума в неупр. сим-ах огиба

$$\int (\vec{r} - \vec{r}) \delta \vec{r} dm = 0$$

\vec{w} - ак-заперме

$$\int \vec{w} \delta \vec{r} dm = \int \vec{f} \delta \vec{r} dm \quad - \text{в неупр. сим-ах огиба}$$

$$E_x T \delta q^k = Q_k \delta q^k$$

Неупр. сим-ах:

$$\vec{w} = \vec{w}^r + \vec{w}^e + \vec{w}^c$$

$$\int \vec{w}^r \delta \vec{r} dm = \int (\vec{f} - \vec{w}^e - \vec{w}^c) \delta \vec{r} dm$$

$$E_x T^r = Q_k^e + Q_k^{J^e} + Q_k^{J^c}$$

ориг. в
неупр. сим-

$$(E_x T^r = Q_k^e + Q_k^{J^e} + Q_k^{J^c})$$

Пример: движение в не ИСО



Точка глоб. в не-и в xy

Коэф-ты неприм.

1-й метод - выражение акт. нап-ий глоб-го

$$T^a = \frac{1}{2} m [\dot{r}^2 + r^2 (\dot{\phi} + \omega(t))^2] = L^a$$

$$\{ \ddot{r} - r(\dot{\phi} + \omega(t))^2 = 0 \quad (1)$$

$$\{ m(r^2 \ddot{\phi}) = 0 \quad (2)$$

Все неупр. могут в T^a

2-й метод

$$T^r = \frac{m}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\phi}^2)$$

$$J^e = J^1 + J^2$$

изолированное движ-е

$$J_1 = m\omega^2 r \Rightarrow \Pi = -\frac{m\omega^2 r^2}{2}$$

зенитодеманс
q = mω

$$L' = T' + \frac{m\omega^2 r^2}{2}$$

Окружене күнде таң не барынан



$$\vec{J}_2 = -m\vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\vec{J}^c = -2m\vec{\omega} \times \vec{V}^r \quad \text{-пазделбен на } r \text{ и } \dot{\varphi}$$

$$Q_r = 2mr\dot{\varphi} \quad \text{-т.к. фр н } J_r \text{ комп.}$$

$$Q_\varphi = -l(2m\omega r + m\omega r) \quad \text{-т.к. фр н } J_\varphi \text{ нормалдан}$$

Задача 1-нің сюяды мұнайшының.

Первые интегралы Лагрангевых систем

1. q^k - не входит в L - циклическая координата

$$\sum_i L = 0 \Rightarrow (L_{,k})' = 0 \quad (L_{,k} = 0)$$

$L_{,k} = \text{const}$ (адиабаттік интеграл)

2. $L_{,t} = 0$ и $N = \underbrace{\sum_i q_i \dot{q}_i}_{\text{нел. в. } L} = 0$ (адиаб. күнде не саб. радија)

$$L = T_2 + T_1 + T_0 - \Pi$$

$$T = \frac{1}{2} \int \left(\sum_i \vec{r}_{ik} \dot{q}^k + \vec{r}_{it} \right)^2 dm = T_2 + T_1 + T_0$$

$$T_2 = \frac{1}{2} \int \vec{r}_{ik} \cdot \vec{F}_{ij} \cdot \dot{q}^k \dot{q}^j \quad \text{- квадратична форма по одиаб. координатам}$$

T_1 - кинетикалық форма по одиаб. скоростям

T_0 - не зависи от одиаб. скоростей

Fiz. corp. интегралы Генрих - Гюнц (одиаб. күн. зерттегі);

$$E = T_2 - T_0 + \Pi = \text{const}$$

Пример Ньютона-Лагранжа



$$T = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \omega^2 x^2) = \mathcal{L} = T_2 + T_0$$

$$T_2 = \frac{m}{2} \dot{x}^2 \quad T_0 = \frac{m}{2} \omega^2 x^2$$

$$E = \frac{m \dot{x}^2}{2} - \frac{m \omega^2 x^2}{2} = \text{const}$$

