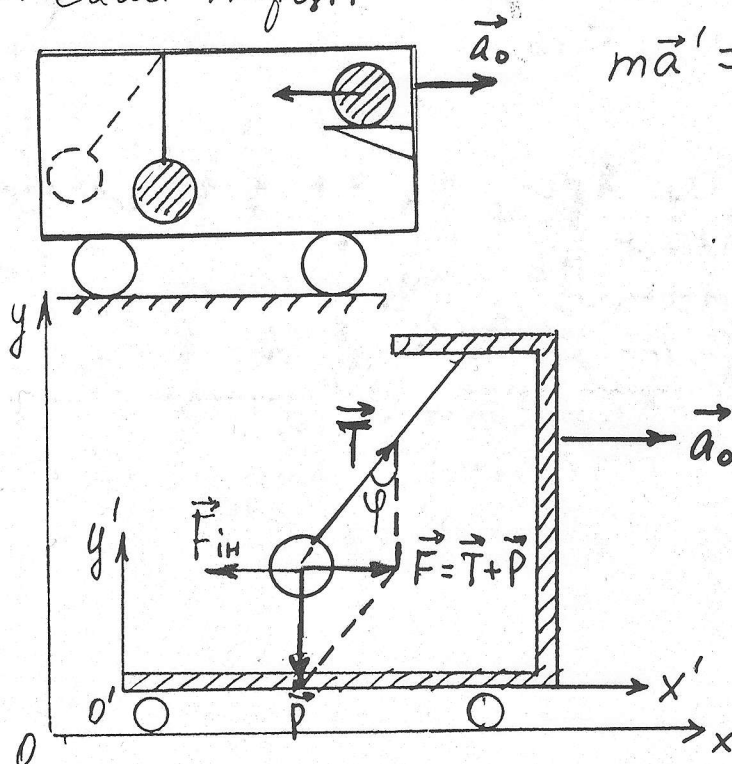


Неінерціальні системи відліку (НІСВ)

1.

1. Визначення НІСВ з т. зору динаміки
2. Час і простір у НІСВ
3. Сили інерції



$$m\vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_{in} \quad (1) \quad - \text{у НІСВ}$$

1. У УСВ (xoy) спостерігач так пояснює відхилення кульки: «Коли візок починає рухатись, кулька намагається зберегти свій попередній стан і відстає від візка, відхиляючись на кут φ . Нитка буде відхилятися доти, доки рівнодіюча сил тяжіння $\vec{P}$ та сил натягу нитки $\vec{T}$ не досягне величини $\vec{F} = m\vec{a}_0 = \vec{P} + \vec{T}$ »

2. У НІСВ (x'o'y') спостерігач стверджує, що на кульку діє, крім сил $\vec{P}$ та $\vec{T}$, ще і сила $\vec{F}_{in}$. Кулька відхиляється на кут φ саме завдяки силі $\vec{F}_{in} = -m\vec{a}_0$. Рівнодіюча сила $\vec{P} + \vec{T} + \vec{F}_{in} = 0$

$$\vec{P} + \vec{T} - m\vec{a}_0 = 0$$

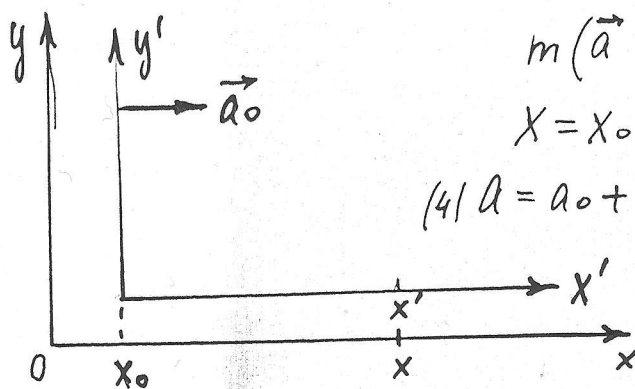
Сили інерції - реальні чи фіктивні сили?

$$\text{В УСВ} \quad m\vec{a} = \vec{F} \quad (2) \rightarrow (1): m\vec{a}' = m\vec{a} + \vec{F}_{in}$$

$$m(\vec{a}' - \vec{a}) = \vec{F}_{in} \quad (3)$$

$\vec{a}$ - приск. відносно УСВ
 $\vec{a}'$ - приск. відносно НІСВ.
 (абсолютне приск.)
 (відносне прискорення).

- 1) 3 (3): сили інерції зумовлюють різницю між відносним та абсол. прискоренням
- 2) Сили інерції існують лише в НІСВ.
- 3) Сила інерції направлена протилежно до переносного прискорення НІСВ: $\vec{a}_{\text{перен}} = \vec{a}' - \vec{a}$



$$m(\vec{a}' - \vec{a}) = \vec{F}_{\text{ін}} \quad (3)$$

$$X = X_0 + x'; \quad y = y'$$

$$(4) \vec{a} = \vec{a}_0 + \vec{a}' \quad \begin{matrix} z = z' \\ t = t' \end{matrix}$$

$$(4) \rightarrow (3): m(\vec{a}' - \vec{a}_0 - \vec{a}') = \vec{F}_{\text{ін}}$$

$$\boxed{\vec{F}_{\text{ін}} = -m\vec{a}_0}$$

$\vec{a}_0$ — прискорення НІСВ

$$\vec{a}_{\text{перен}} = -\vec{a}_0$$

Далі будемо позначати: $\vec{a}_{\text{перен}} \rightarrow \vec{a}_0$ (переносне)

$\vec{a}' \rightarrow \vec{a}_{\text{відн}}$ (відносне)

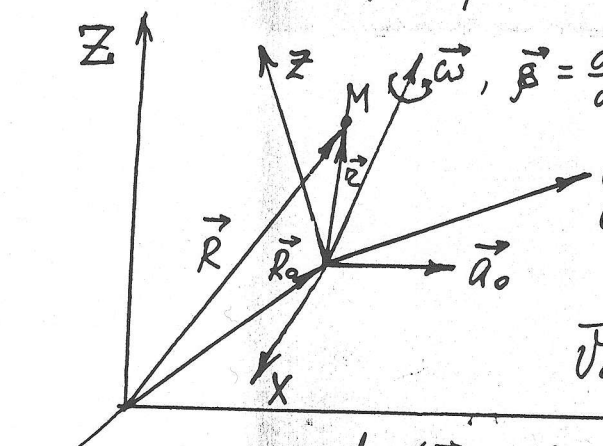
$\vec{a} \rightarrow \vec{a}_a$ (абсолютне)

4) Сили інерції не є результатом дії інших тіл; сили інерції є результатом прояву властивостей системи відліку (a_0, ω) , а також самого тіла (R, v', m) .

5) На сили інерції III закон Ньютона не розповсюджується.

6) Всі сили інерції пропорційні масі тіла.

7) З того факту, що $F_{\text{ін}} \sim m$ і сила тяжіння $F_g \sim m$, витікає принцип еквівалентності: ніякими дослідами правильному навівню тіл не можна відрізнити однорідне поле тяжіння від однорідного поля сил інерції. Принцип еквівалентності — відправний пункт загальної теорії відносності (релятивістської теорії гравітації) А. Ейнштейна.



$\vec{R} = \vec{r} + \vec{R}_0$
 $\vec{v}_a = \frac{d\vec{R}}{dt} = \frac{d\vec{R}_0}{dt} + \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{R}_0}{dt} +$
 $+ \frac{d}{dt} (\vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z) =$
 $= \vec{v}_0 + \vec{i} \frac{dx}{dt} + \vec{j} \frac{dy}{dt} + \vec{k} \frac{dz}{dt} + \frac{d\vec{i}}{dt}x +$
 $+ \frac{d\vec{j}}{dt}y + \frac{d\vec{k}}{dt}z = \vec{v}_a \quad (1)$

Абс. шв. МТ:
 шв. МТ відносно ІСВ
 шв. МТ відносно НСВ

Що таке $\frac{d\vec{i}}{dt}x + \frac{d\vec{j}}{dt}y + \frac{d\vec{k}}{dt}z$ - ?

$\frac{d\vec{i}}{dt}$ - лін. шв. кінця орта $\vec{i}$ при обертанні СВ

$$d\vec{i} = \vec{i} \cdot d\varphi = \vec{i} \cdot \omega dt; \quad d\vec{j} = \vec{j} \cdot \omega dt; \quad d\vec{k} = \vec{k} \cdot \omega dt$$

$$\frac{d\vec{i}}{dt} = \vec{i} \cdot \omega \Rightarrow \frac{d\vec{i}}{dt} = [\vec{\omega} \cdot \vec{i}]; \quad \frac{d\vec{j}}{dt} = [\vec{\omega} \cdot \vec{j}]$$

$$\text{Тоді } \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}_{\text{відн}} + [\vec{\omega} \cdot \vec{r}]$$

$$\vec{v}_a = \vec{v}_0 + \vec{v}_{\text{відн}} + [\vec{\omega} \cdot \vec{i}]x + [\vec{\omega} \cdot \vec{j}]y + [\vec{\omega} \cdot \vec{k}]z =$$

$$= \vec{v}_0 + \vec{v}_{\text{відн}} + [\vec{\omega} \cdot \vec{r}] = \vec{v}_a \quad (1')$$

$\vec{v}_0$ - шв. поступального руху СВ ($\vec{v}_0 = \frac{d\vec{R}_0}{dt}$)

$\vec{v}_a$ - шв. абсолютна (шв. тіла відносно ІСВ)

$\vec{v}_{\text{відн}}$ - відн шв. тіла (відносно НСВ)

Суму $\vec{v}_0 + [\vec{\omega} \cdot \vec{r}]$ називають переносною шв. $\vec{v}_e$

$$\vec{v}_e = \vec{v}_0 + [\vec{\omega} \cdot \vec{r}]. \quad \text{Тоді}$$

$$\vec{v}_a = \vec{v}_e + \vec{v}_{\text{відн}}$$

$$\vec{v}_a = \vec{v}_0 + [\vec{\omega} \cdot \vec{r}] + \vec{v}_{\text{відн.}}$$

переносна швидкість = абс. шв. - відн. швидк.

Дифер. (1): $\vec{a}_a = \frac{d\vec{v}_a}{dt} = \frac{d\vec{v}_0}{dt} + \vec{a}_{\text{вигн.}} + [\vec{\omega} \cdot \vec{v}_{\text{вигн.}}] +$
 $+ [\frac{d\vec{\omega}}{dt} \vec{r}] + [\vec{\omega} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt}] =$

Було: $\vec{a}_{\text{вигн.}} = \vec{i} \frac{d^2x}{dt^2} + \vec{j} \frac{d^2y}{dt^2} + \vec{k} \frac{d^2z}{dt^2}$; $\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}_{\text{вигн.}} + [\vec{\omega} \vec{r}]$
 гир. поперед. стор. $\frac{d\vec{i}}{dt} = [\vec{\omega} \cdot \vec{i}]$; $\frac{d\vec{j}}{dt} = [\vec{\omega} \cdot \vec{j}]$; $\frac{d\vec{k}}{dt} = [\vec{\omega} \cdot \vec{k}]$

$$= \vec{a}_0 + \vec{a}_{\text{вигн.}} + [\vec{\omega} \cdot \vec{v}_{\text{вигн.}}] + [\vec{\beta} \cdot \vec{r}] + [\vec{\omega} \cdot \vec{v}_{\text{вигн.}}] +$$

$$+ [\vec{\omega} [\vec{\omega} \cdot \vec{r}]] = \vec{a}_0 + \vec{a}_{\text{вигн.}} + [\vec{\beta} \cdot \vec{r}] +$$

$$+ [\vec{\omega} [\vec{\omega} \cdot \vec{r}]] + 2 [\vec{\omega} \cdot \vec{v}_{\text{вигн.}}] = \vec{a}_a \quad (2)$$

$$\vec{a}_{\text{вигн.}} = \vec{a}_a - \vec{a}_0 - [\vec{\beta} \cdot \vec{r}] - [\vec{\omega} [\vec{\omega} \cdot \vec{r}]] - 2 [\vec{\omega} \cdot \vec{v}_{\text{вигн.}}]$$

$$m \vec{a}_a = m \vec{a}_{\text{вигн.}} + m \vec{a}_0 + m [\vec{\beta} \cdot \vec{r}] + m [\vec{\omega} [\vec{\omega} \cdot \vec{r}]] + 2m [\vec{\omega} \cdot \vec{v}_{\text{вигн.}}]$$

$$\vec{F}_{\text{рівног.}} = \vec{F}_{\text{вигн.}} + \vec{F}_{0 \text{ ин.}} + \vec{F}_{\text{оберт. ин.}} + \vec{F}_{\text{кор. ин.}} + \vec{F}_{\text{ц. ин.}} \quad (A)$$

$$\vec{a}_0 = \frac{d\vec{v}_0}{dt} - \text{приск. пост. руху рухомої СВ}$$

$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} - \text{кутове приск. оберт. руху рухомої СВ}$$

$$\text{Переноски } \vec{a}_e = \vec{a}_0 + [\vec{\beta} \cdot \vec{r}] + [\vec{\omega} [\vec{\omega} \cdot \vec{r}]] \quad (3)$$

прискорення - приск. тих елементів К'-СВ,
 через які в даний момент часу проходить
 МТ

$$\vec{a}_0 - \text{приск. поступального руху К'-СВ}$$

$$[\vec{\beta} \cdot \vec{r}] - \text{приск., зумовлене нерівномірністю}$$

обертання К'-СВ;

$$[\vec{\omega} [\vec{\omega} \cdot \vec{r}]] - \text{децентрове прискор. (направлене}$$

вздовж штифтової осі обертання);

$$2 [\vec{\omega} \cdot \vec{v}_{\text{вигн.}}] - \text{коріолісове приск. (зумовлене}$$

рухом МТ відносно К'-СВ, яка оберт.);

$$|\vec{a}_a = \vec{a}_e + \vec{a}_{\text{вигн.}} + \vec{a}_k| \quad (4) \text{ Теорема Коріоліса}$$

В (А) $\vec{F}_{\text{рівног.}} = m \vec{a}_a$ - дія інших тіл (ця сила
 існує реально, як результат дії тіл).

Решта доданків в (А) - сили інерції.

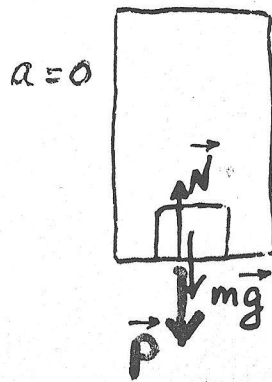
Вони виникають внаслідок прискор. руху К'-СВ

Отр.- прискорення
 тіла, яке покоїться
 в НСВ)

МТ яке знаходиться
 в стані спокою
 відносно НСВ

Тіло у ліфті. Невагомість

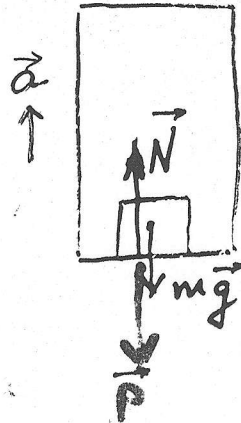
5.



$$mg - N = 0$$

$$P = N$$

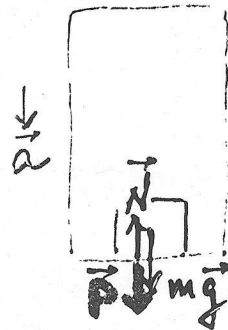
$$P = mg$$



$$N - mg = ma$$

$$P = N$$

$$P = mg + ma$$



$$mg - N = ma$$

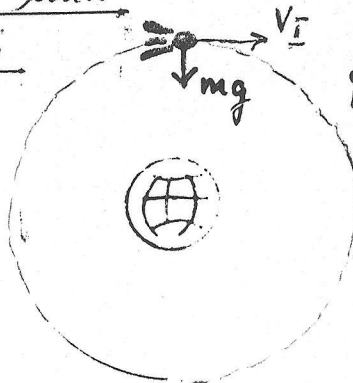
$$P = N$$

$$P = mg - ma$$

$$a = g$$

$$P = mg - mg = 0$$

Супутник Землі
на орбіті

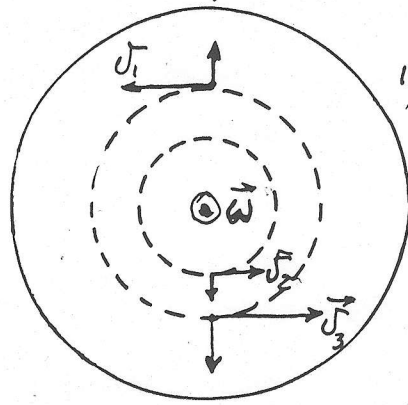


$$P = 0$$

У вільно падаючій НІСВ сили інерції повністю компенсують дію сили тяжіння і рух відбувається так, що ніби не діють ні сили інерції, ні сили тяжіння.
Це - стан невагомість

Вплив обертання Землі на рух тіл

6.

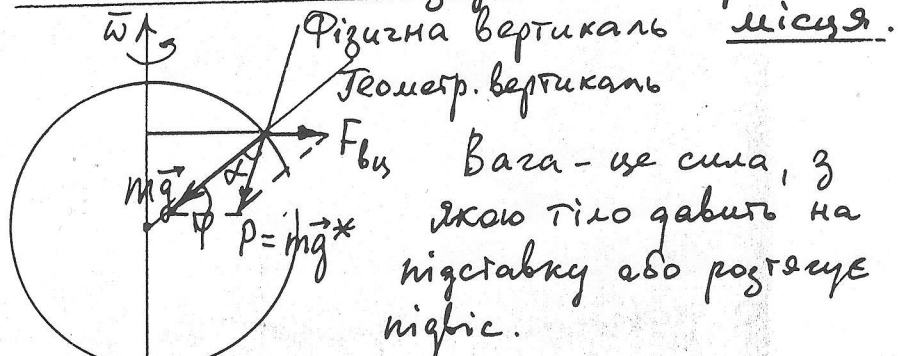


$$1) F_K = 2m \vec{v}_{\text{ign}} \cdot \vec{\omega} \cdot \sin \varphi$$

$$\vec{F}_K = 2m [\vec{v}_{\text{ign}} \times \vec{\omega}]$$

$$2) \vec{F}_{\text{cs}} = m \omega^2 \rho$$

Зміна ваги тіла із зміною широти

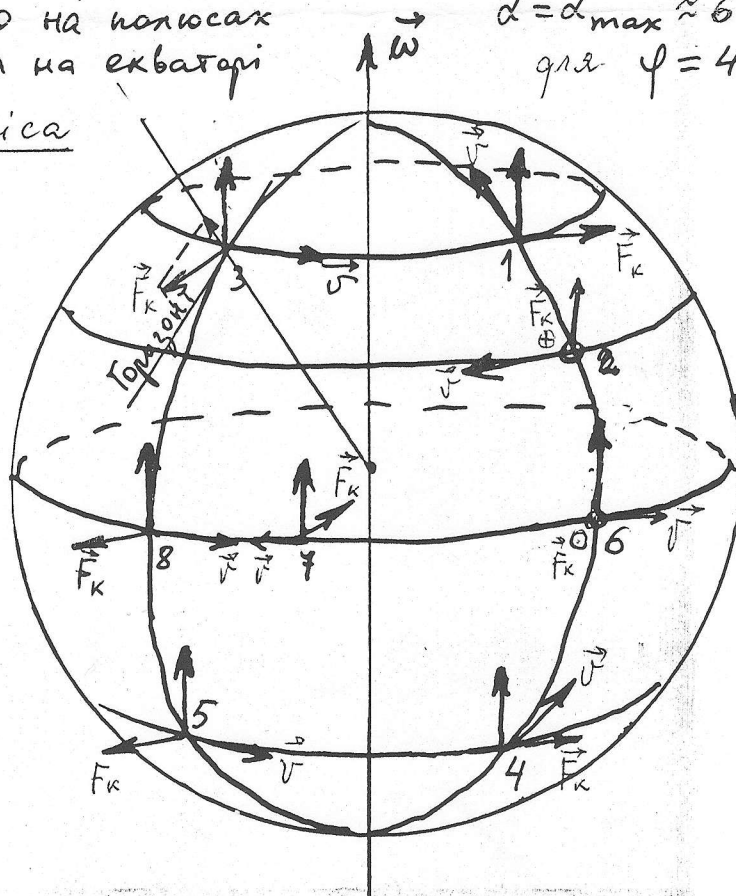


Вага - це сила, з якою тіло давить на підставку або розтягує нитку.

1) Вага тіла $\neq$ силі тяжіння

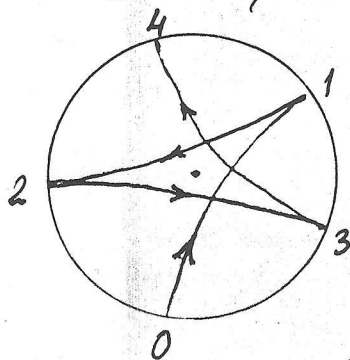
2) Кут α між напрямком сили тяжіння та напрямком виска $\alpha \approx 0.0018 \sin 2\varphi$
 $\alpha = 0$ на полюсах та на екваторі
 $\alpha = \alpha_{\text{max}} \approx 6'$ для $\varphi = 45^\circ$

Сила Коріоліса

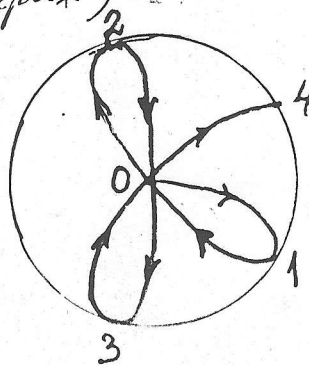


Маятник Фуко. (Доказ обертання
Землі, 1850 р, Париж)

7.



Відхищений з т. О
м. Ф. починає руха-
тись до центра рівно-
ваги. Однак F_k від-
хиляє його вправо
і він не проходить
через центр рівноваги



Відхищений з т. О
(з центра рівноваги,
із початковою швид-
кістю) м. Ф. повер-
тається у т. О

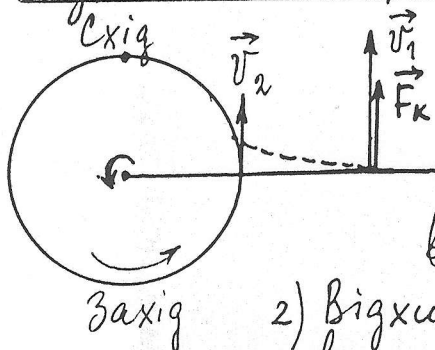
У зв'язку з обертанням Землі зміню-
ється положення площини коливань
м. Ф. (На полюсі 1 оберт за добу)

На полюсі цей ефект максимальн.

На екваторі площина коливань м. Ф.
не обертається.

Для геогр. широти φ треба врахову-
вати складову $\omega_\varphi = \omega \cdot \sin \varphi$. (Один
оберт за $(1/\sin \varphi)$ доби).

Відхилення тіл, що падають, від
вертикалі.



1) Тіла, що падають,
рухаються не по
вертикалі, а трохи
відхиляються на схід

2) Відхилення залежить від
висоти падіння

3) Відхилення залежить від географ.
широти місця φ . Макс - на екваторі,
на полюсі - 0. Див. задачу з Тронова
№ 1.111