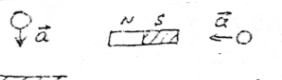

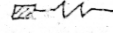
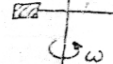


K-2 Чому міняється швидкість тіла? Як?

 Тільки при взаємодії тіл!

Як взаємодіють тіла

- I  - стикаються
- II  - відштовхуються пружиною
- III  - обертаються на відцентровій машині

1. напрям прискорення протилежний
2. $\frac{a_1}{a_2} = const$

Інертність - властивість тіл: 1) отримувати різні прискорення при однаковій зовнішній дії 2) змінювати швидкість під дією сили поступово, а не миттєво.

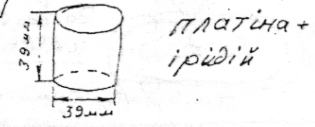
- швидше $(\vec{a} \uparrow)$ **інертні** $(\vec{a} \downarrow)$ швидше змінюється
- легковий автомобіль
 - порожній вагон
 - сталеві тіла менш інертні
 - вантажний автомобіль
 - завантажений вагон
 - стій тіла більш інертні

Чим тіло інертніше, тим час зміни швидкості більший $(\vec{a} \downarrow)$

Маса - міра інертності

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{\Delta v_1}{\Delta v_2}$$

Виміряти масу - порівняти з еталоном 1889р. Франція м. Севр копії
 1) по прискоренню при взаємодії з еталоном $m_T = m_{ет} \cdot \frac{a_{ет}}{a_T}$
 2) зважуванням (терези, вага).



Властивості маси

1. не залежить від рога взаємодії
 2. додається (адитивно)
 3. зростає при наближенні швидкості тіла до швидкості світла $c = 300000 \frac{км}{с}$
- $$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
- m_0 - маса спокою тіла
 m - маса рухомого тіла

Просторовий розподіл маси характеризують щільністю (ρ) ...

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \rho = [1 \frac{кг}{м^3}] \text{ СІ}$$

$$1 \frac{г}{см^3} = 1 \frac{10^{-3} кг}{10^{-6} м^3} = 10^3 \frac{кг}{м^3}$$

якщо речовина однорідна $\rho = const$ в усіх точках

Укл. стор. 90-96 8 кл - K-3

K-3 \vec{F} - сила - міра взаємодії тіл
 кількісна характеристика дії одного тіла на друге
 величина що визначає дію статичний - зрівноваження сили іншою силою
 динамічний - поява прискорення

- Пружності (с.м.) $\vec{F}_{пр} = -k\Delta x$
- Тяжіння (грав.) $\vec{F}_T = m\vec{g}$
- Всвітнього тяжіння (грав.) $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}$
- Тертя (с.м.) $F_{тр} = \mu \cdot N$

3 чисельних дослідів II з-н. Н. $\vec{F} = m\vec{a}$ особливості II з-н. Н.:

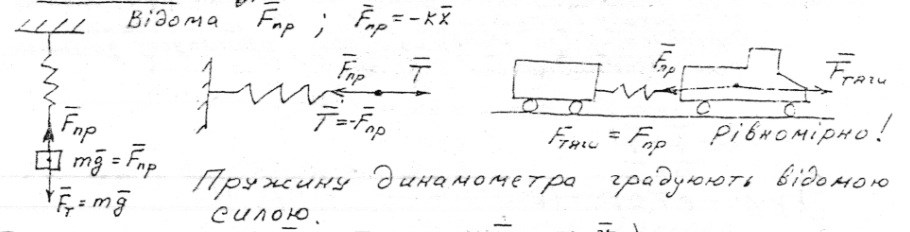
1. Для сил любой природи
2. $\vec{F} <$ причина $-\vec{a}$ визначає
3. Вектори \vec{a} і \vec{F} - співнапрямлені
4. сила - вектор, якщо на тіло діє декілька сил, то зустріється рівнодія \vec{F}_R

СИ $F = [1Н = 1 \frac{кг \cdot м}{с^2}] 1Н \dots$
 СГС $F = [1дин = 1 \frac{г \cdot см}{с^2}] 1дин \dots$
 $1Н = 10^5 дин$

$\vec{F}_R = \sum \vec{F} = \vec{F}_{тяж} + \vec{F}_{пр} + \vec{F}_T + \vec{N}$ $(\vec{F}_R = m\vec{a})$ II з-н. Н.

5. якщо $\vec{F}_R = 0$, то $\vec{a} = 0$ (I з-н. Н.) в тілех в ССВ. Як виміряти силу? $m=0, a \neq 0 \Rightarrow F_R = 0$

I Статично - зрівноважити відомою силою.



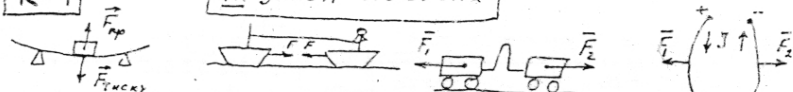
II Динамічно ($\vec{F} = m\vec{a}$ або $\vec{F} = \frac{m\Delta v}{t}$).

III Розрахунком (сила Кулона, сила Лоренца, сила Ампера).

Укл. стор. 96-102, §25 Впр 10 8 кл K-4,5
 стор 177-180, 185-189 §40

K-4

III закон Ньютона



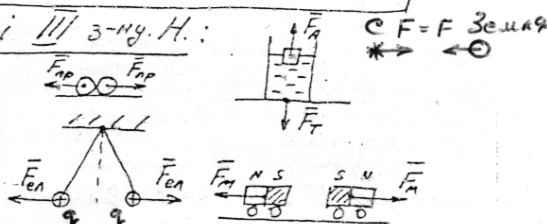
З чисельних спостережень і дослідів:

1. Тіла взаємодіють (безпосередньо і на відстані).
2. Вектори сил напрямлені в протилежні сторони
3. $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$; $a_1 m_1 = a_2 m_2$

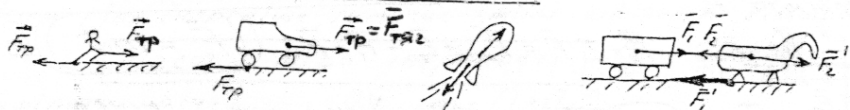
$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ III з-н.Н. тіла діють друг на друга ... вздовж однієї прямої.

Особливості III з-ну.Н.:

- тільки пари
 - завжди при взаємодії
 - однієї природи
 - не зрівноважуються
 - для сил любої природи
- Негустої сили в природі не існує



Прояв і застосування:



III з-н.Н. {
 - є точний лише при безпосередньому контакті тіл або при взаємодії двох тіл, що знаходяться в спокої
 - вказує на взаємодійне походження сил в ІСВ (будь-якій силі, прикладеній до якого тіла, можна поставити у відповідність рівну їй за величиною і протилежну за напрямком силу, прикладену до іншого тіла, взаємодіючого з даним).

9 кл стор. 103-107, Впр II.

K-5

Механіка < теоретична (мат. методи)
 < прикладна

Класична рух макротіл $v \ll c$	Релятивістська рух тіл $v \approx c$	Квантова рух мікрочастинок
---------------------------------------	--------------------------------------------	-------------------------------

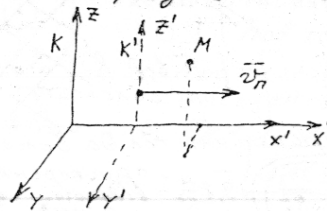
Основа класичної механіки - 3-ни Ньютона, які ґрунтуються на наступних уявленнях:

- ① Час - однорідний (різні моменти часу еквівалентні друг другу по своїм фізичним властивостям).
 - абсолютний (однаковий в різних ІСВ)
- ② Простір - однорідний (властивості простору однакові в різних точках).
 - ізотропний (властивості простору однакові в кожній точці в усіх напрямках)
- ③ Маса, розміри тіл - абсолютні

3-ни Ньютона - справедливі тільки в ІСВ (щоб зберегти формулу 3-нів.Н. в НІСВ, треба ще ввести додаткові сили інерції).

3-ни.Н. < аксіоматичний характер
 < справедливі для $v \ll c$

Принцип відносності Галілея: всі механічні явища в різних ІСВ, при однакових початкових умовах, протікають однаково (ні якими механічними досадами не можна встановити, дана СВ рухається рівномірно прямолінійно чи перебуває в спокої).



\vec{v}_n - перемісна швидкість K' відносно K
 \vec{v}_a - швидкість тіла відносно K
 \vec{v}_b - шв. тіла відносно K'

$$\begin{cases} X = X' + v_n t & t = t' \\ Y = Y' & \vec{v}_a = \vec{v}_b + \vec{v}_n \\ Z = Z' & \vec{a}_a = \vec{a}_b \end{cases}$$

Перетворення Галілея

9 кл. § 26, 27 стор 113-117, 359-411

К-6 3-н Всесвітнього тяжіння (3-н гравітації) $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}$

М. Коперник 4 Т. Браге 0 М? ?
 І. Ньютон 1667 Подіння тіл на Землі Місяць навколо Землі Планети навколо Сонця Припливи і відпливи
 Сили ТЯЖІННЯ (гравітаційні)
 І. Кеплер 1 з II з. Н. $a = \frac{F}{m}$; $a \sim \frac{1}{m}$ Але $g = \frac{F}{m}$; $g = \text{const}$ $\Rightarrow F \sim m$
 2 з III з. Н. $F_{12} = F_{21}$ якщо $F_{12} \sim m_1$ то $F_{21} \sim m_2$ $\Rightarrow F \sim m_1 m_2$
 3 $R_{M3} = \frac{384000}{6400} = 60$
 $\frac{R_{M3}}{R_3} = \frac{384000}{6400} = 60$
 $\frac{g_3}{a_m} = \frac{R_{M3}^2}{R_3^2}$; $g \sim \frac{1}{R^2}$
 але $F = mg$ $\Rightarrow F \sim \frac{1}{R^2}$
 Не писати.
 $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}$
 Всі тіла ... $m_1 \xrightarrow{F_{12}} m_2$ $m_2 \xrightarrow{F_{21}} m_1$

Гравітаційні сили — центральні (напрявлені вздовж прямої, що сполучає матеріальні точки).

$\gamma(G) = \frac{FR^2}{m_1 m_2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ — гравітаційна стала ...

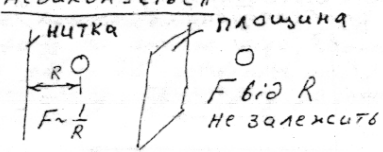
Кавендіш (англ.) — перший! 1м

m_1, m_2 — гравітаційна маса тіл — характеризує їх здатність до гравітаційної взаємодії

$M_{\text{гравіт.}} = M_{\text{інертн}}$ в ΔJ .

виконується — **ЗАКОН** — не виконується

- матеріальні точки
- розміри тіл \ll відстані
- кулі
- куля великого радіуса і тіло



СИЛА ТЯЖІННЯ — сила притягання тіл до Землі

$F_T = mg$
 $F_T = \gamma \frac{M_3 \cdot m}{R_3^2} = m \cdot \gamma \frac{M_3}{R_3^2}$
 $F_{T.h} = \gamma \frac{M_3 \cdot m}{(R_3+h)^2}$
 $g = \gamma \frac{M_3}{R_3^2} = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ — прискорення відомого подіння
 g — не залежить від маси тіла.

g — залежить:

- від висоти над Землю $g = \gamma \frac{M_3}{(R_3+h)^2}$
- від широти місця (обертання, Земля не УСВ)
- від неоднорідностей земної кори (гравітометрія)
- від форми Землі (геоїд). (приплюснута на полюсах).

Поліос — $9,83 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ — $9,78 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ — екватор

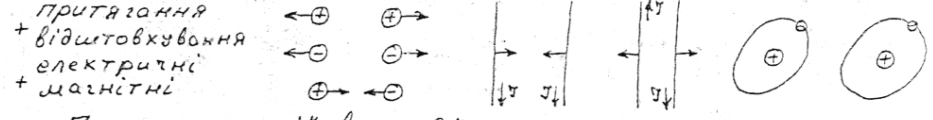
Центр ~~тяжіння~~ — точка, через яку проходить рівноважна сила тяжіння, що діють на всі частинки цього тіла (співпадає

центр ~~тяжіння~~ з центром інерції (мас) тіла ЖКЛ ст. 120-128 $\text{визначають} \dots$

К-7 Взаємодії в природі

- Гравітаційна
 - Електромагнітна
 - Слабка
 - Сильна (ядерна)
- всесвітнє тяжіння
 сила тяжіння
 тільки притягання
- сила пружності
 сила натягу
 сила тертя
 сила тяги
 відштовхувальна сила
 сила реакції опору
- притягання і відштовхування

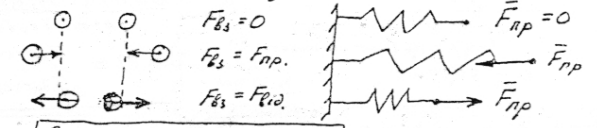
Природа електромагнітних сил



При контактній взаємодії тіла деформуються

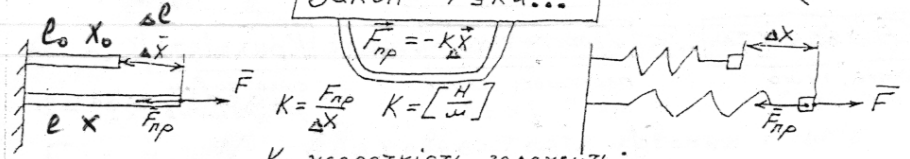
- змінюється форма і розміри тіл
 - змінюється відносно розташування частинок тіла
- виникає **СИЛА ПРУЖНОСТІ**

електрична + магнітна взаємодія атомів } — молекулярна взаємодія



СИЛИ ПРУЖНОСТІ — сукупність молекулярних сил

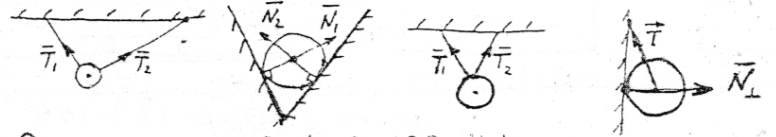
- виникають при деформації (відносно зміщення частинок).
- Одночасно у двох тіл.
- \perp поверхні
- Протилежні до напрямку зміщення
- При пружних деформаціях — **ЗАКОН ГУКА...**



$F_{\text{спр}} = -kx$

k — жорсткість — залежить:

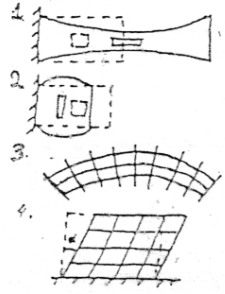
- матеріал тіла і його стан (E)
- довжина (l)
- площа перерізу (S)



$\text{ЖКЛ стор. 118-120, 133-144} \quad \S 37$

К-8

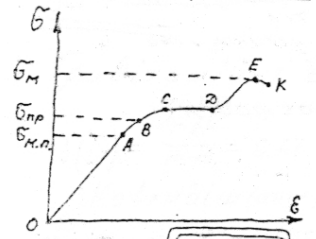
Види деформацій



1. Стиск (врозтяг) - канати, троси (опори, колоди, фундамент) $\Delta l = l - l_0$ - абсолютне } видовження (деформація).
 $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ - відносне
2. Згин (стиск + розтяг) - рейси, перекриття, труби, осі.
3. Зсув (зріз) - ножниця, болти, клячки
4. Кручення - вали, осі - $M = \alpha \cdot \Delta \Phi$
 α - коеф. кручення

Деформація \rightarrow механічна напруга - $\sigma = \frac{F}{S}$ $G = \left[\frac{H}{m^2} = \frac{N}{m^2} \right]$

Діаграма розтягу - залежність механічної напруги (σ) від відносної деформації (ϵ) (зослід)



- $\sigma_{п.п}$ - межа пропорційності - ОА (з-н. Гука)
- $\sigma_{пр}$ - межа пружності - ОВ
- CD - текучість
- $\sigma_{м}$ - межа міцності (на розривних ножницях)
- K - розрив

Запас міцності... (коеф. безпеки)
 $n = \frac{\sigma_{м}}{\sigma_{допустиме}}$

$\sigma = E \cdot \epsilon$ \leftarrow з-н. Гука \rightarrow $F = k \cdot \Delta x$

$\sigma = E \cdot \epsilon$
 $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$
 $\frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta l}{l_0} \rightarrow F = E \cdot \frac{S}{l_0} \cdot \Delta l \rightarrow F = k \cdot \Delta l = k \cdot x$
 $k = E \cdot \frac{S}{l_0}$ - коеф. пружності (жорсткість)

E - модуль пружності (Юнга) - $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$
 (з табл.) ($E = \sigma$ при $\epsilon = 1$ тобто при $\Delta l = l_0$ ($l = 2l_0$)).

Властивості тіл.

Пружність ...

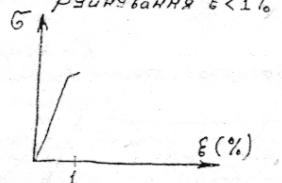
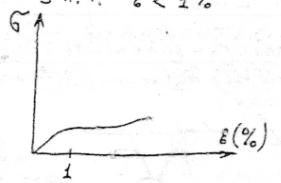
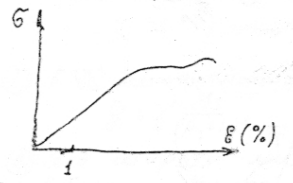
Пластичність ...

Крихкість ...

сталь, гума з-н. Г. $\epsilon \geq 1\%$

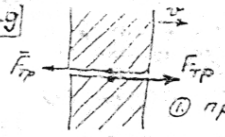
пластмаси, глина з-н. Г. $\epsilon < 1\%$

скло, гавун руйнування $\epsilon < 1\%$



10 кл. стор 133-144

К-9

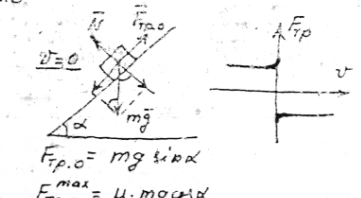
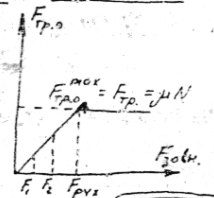
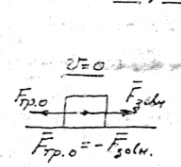


Сила тертя (спектрометрна)

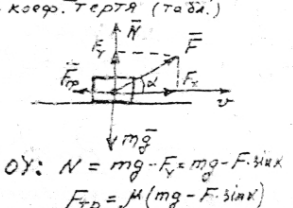
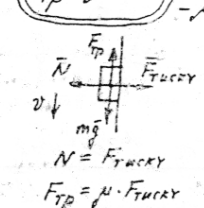
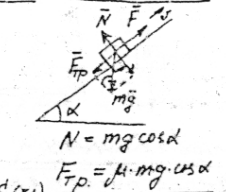
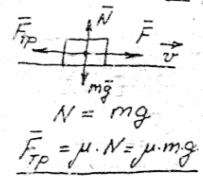
- спокую
- ковзання
- когіння

1) при дотику 2) вздовж поверхні 3) проти руху тертя спокую. $F_{тр.0}$

$\vec{F}_{тр.0} = -\vec{F}_{зобн.}$
 $0 \leq F_{тр.0} \leq F_{тр.}$
 $F_{тр.0}^{max} = \mu N$
 $F_{тр.0}$ - рушійна сила



Тертя ковзання - $F_{тр} = \mu \cdot N$



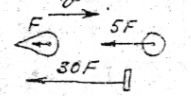
μ не залежить від S (кл).
 залежить: род поверхонь, якість обробки поверхонь, змащування пов.

Тертя когіння $F_{тр.ког}$

$F_{тр.ког} \ll F_{тр.}$
 колесо, підшипник

$F_{тр.ког} = \frac{k}{R} N$

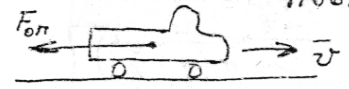
Рідке тертя (в рідинах, газах)



$\vec{F}_{тр} = -\alpha \cdot \vec{v}$ (в'язкість - тертя шарів річч. в'язк. між собою)
 $\vec{F}_{тр} = -k_2 \cdot \vec{v}^2$ (турбулентність - створення вих. рив. в річчині)

В рідинах і газах силу тертя називають силою опору.

$F_{оп} = \mu_{оп} N$ - враховує тертя когіння і опір повітря (окрім ковзання).



Укл. § 32 стор 144-153, 180-184, 193-196

Впр. 14

K-10

P- вага тіла

сила з якою тіло діє на опору або підвіс внаслідок притягання до Землі

$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}$ - сила всесвітн. тяж.

$F = \gamma \frac{M \cdot m}{R^2} = mg$ - сила тяжіння,

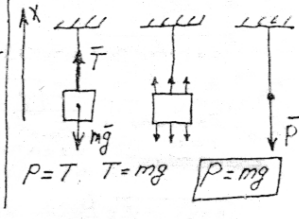
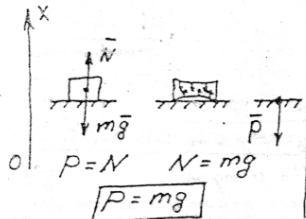
гравітаційні

Природа ваги

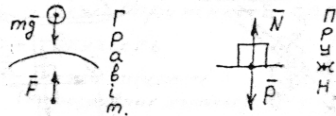
під дією mg і \bar{N} тіло деформується, ~~вона створює~~ $\bar{F}_{пр}$. Це і є вага!

Прикладена до опори (підвісу) За III з.Н.

$\bar{P} = -\bar{N}$ $\boxed{P = N}$ завжди!

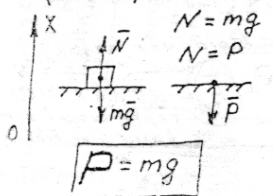


Тільки парами однієї природи!

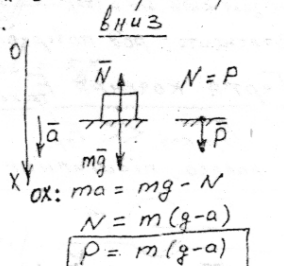
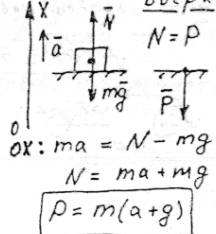


Вага тіла в різних умовах руху

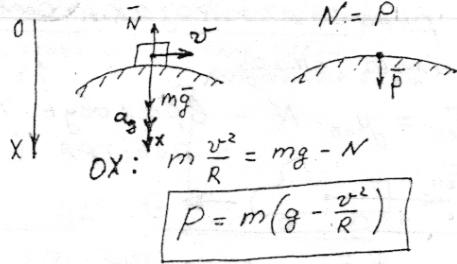
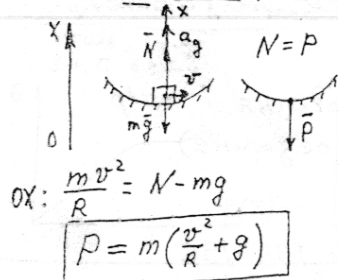
I Опора рухається рівномірно (або перебуває в спокої)



II Опора рухається прискорено вгору



III Тіло рухається по колу у вертикальній площині

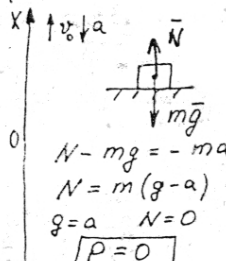
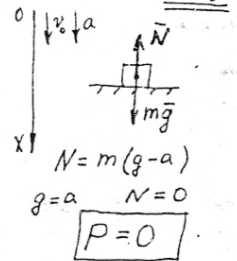


9 кл § 29 Впр 12

K-11

Невагомість

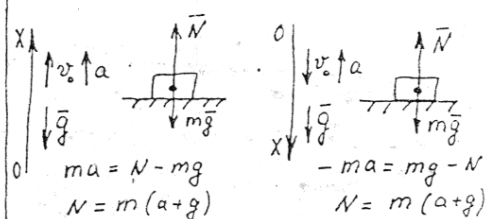
$\bar{a} = \bar{g}$ (рух під дією F_T)



- 1) рух при якому напрям \bar{v} і \bar{a} співпад.
- 2) рух при якому напрям \bar{v} і \bar{a} проти.
- 3) Супутник на орбіті
- 4) Міся Землю і Місяцем



Перевантаження

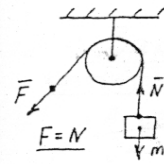


$\boxed{P = m(a + g)}$

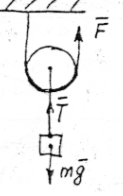
- 1) старт
- 2) спуск на Землю
- 3) при русі по колу
 - а). пілот в „піке“
 - б). вилучий міст
 - в). центрифуга.

Нерухомий блок

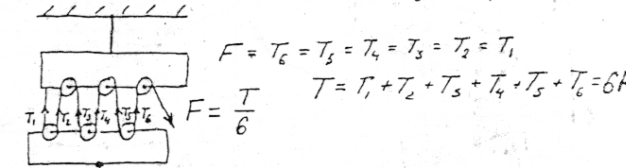
{ - прикладена сила = вазі тіла
- дає можливість в широких межах змінити напрям прикладеної сили



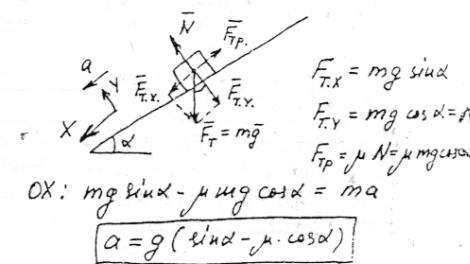
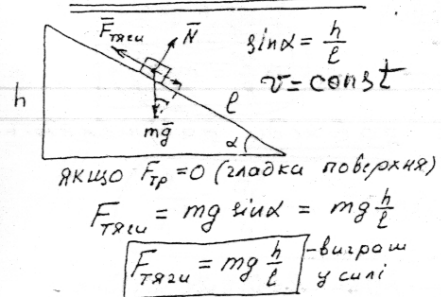
Рухомий блок - прикладена сила F удвічі р менша за вагу тіла $F = \frac{T}{2} = \frac{T}{2}$ (виграв у силі)



Поліспласт - система рухомих і нерухомих блоків (виграв у силі)



Похила площина



9 кл. § 29

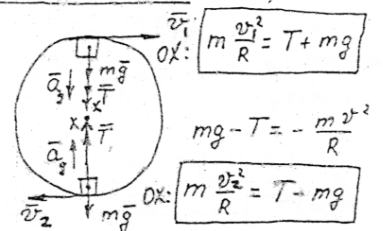
K-12

Динаміка руху по колу

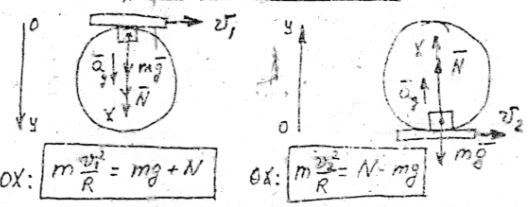
$$a_g = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4\pi^2 \nu^2 R$$

В усіх випадках $F_{Rx} = ma_x$, $a_g = \frac{v^2}{R}$, $ma_g = \frac{mv^2}{R}$
OX: - до центру кола.

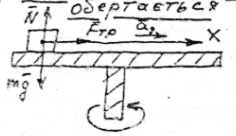
I Тіло на нитці



II "Мертва" петля

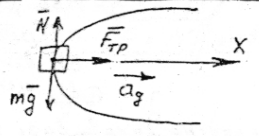


III Тіло на диску, що обертається



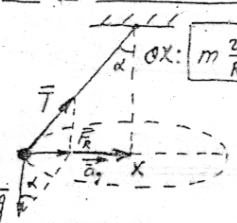
$$OX: m \frac{v^2}{R} = \mu mg$$

IV Автомобіль на повороті



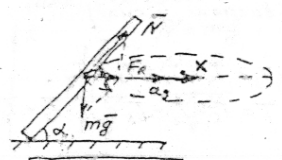
$$OX: m \frac{v^2}{R} = \mu mg$$

V Конічний маятник



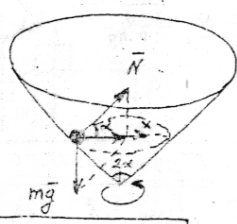
$$OX: m \frac{v^2}{R} = mg \operatorname{tg} \alpha$$

VI На повороті ковзаняр



$$OX: m \frac{v^2}{R} = mg \operatorname{ctg} \alpha$$

VIII Шар в конусі, що обертається



$$OX: m \frac{v^2}{R} = mg \operatorname{ctg} \alpha$$

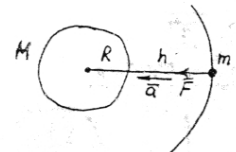
При русі по колу вісь OX завжди направляють до центру кола

Зкл. стор. 174-177, 189-190, 200-205

Впр. 17.

K-13

Рух по колу під дією сили тяжіння



$$m \frac{v^2}{R+h} = \gamma \frac{M \cdot m}{(R+h)^2} = \gamma \frac{M \cdot m \cdot R^2}{R^2 (R+h)^2} = g \cdot m \cdot \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

$$v^2 = g \frac{R^2}{(R+h)} \rightarrow v = \sqrt{\frac{g R^2}{R+h}}$$

при $h=0$ $v_1 = \sqrt{g R} = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$

$$v_1 = \sqrt{\gamma \frac{M}{R+h}}$$

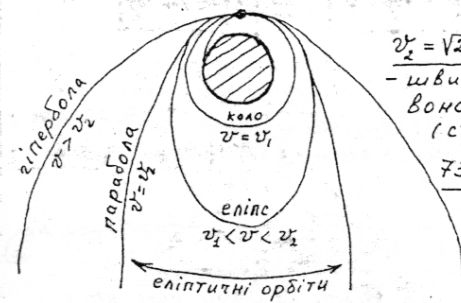
v_1 - перша космічна - швидкість яку необхідно надати тілу, щоб воно стало супутником Землі.

$$v_2 = \sqrt{2} \cdot v_1 = 11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

- швидкість необхідна тілу, для того, щоб воно вийшло із сфери земного тяжіння (стало супутником Сонця).

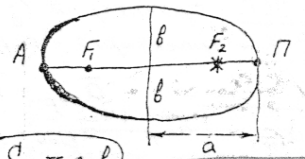
$$v_3 > v_2 > 17 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

- третя космічна - швидкість необхідна тілу для подолання тяжіння Землі і Сонця.



Закони Кеплера - закони руху планет навколо Сонця

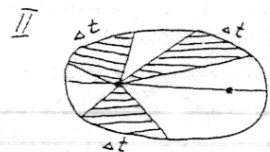
I Планети рухаються по еліпсах, в одному з фокусів якого знаходиться Сонце.



A - афелій, P - перигелій, F_1, F_2 - фокуси, a - велика піввісь, b - мала піввісь

$$S = \pi \cdot a \cdot b$$

за рівні проміжки часу описують рівні площі.



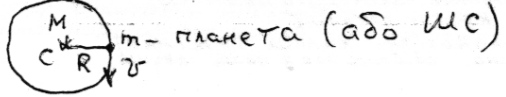
$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \dots = \text{const}$$

Відношення куба великої півосі орбіти планети до квадрата її періода обертання однаково для всіх планет і ШС.

орбіта планети - еліпс \approx коло $a=R$

$$\left. \begin{aligned} m \frac{v^2}{R} &= \gamma \frac{M \cdot m}{R^2} \\ v &= \frac{2\pi R}{T} \end{aligned} \right\} \frac{m \cdot 4\pi^2 R^2}{R \cdot T^2} = \gamma \frac{M \cdot m}{R^2} \Rightarrow \frac{R^3}{T^2} = \frac{\gamma M}{4\pi^2} \text{ для планет і ШС.}$$

ШС - штучні супутники.



Зкл. стор. 163-172, 199

K-14 Досліди показують: з-ни Ньютона виконуються тільки в ІСВ

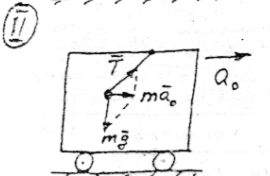
НІСВ - неінерціальна СВ рухається відносно ІСВ з деяким прискоренням ($a_{пер.}$ - переносне прискорення)

В НІСВ - закони Ньютона не виконуються



Причини { ІСВ (Земля) ... } різні!

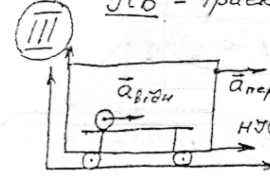
В різних ІСВ: ① Земля, ② вагон - траєкторії різні: ① парабола, ② вертикаль (різні початкові умови...), але однакові прискорення (справедливий ІЗ-Н. рух під дією сили тяжіння).



① Вантаж висить: НІСВ (вагон) - вантаж в рівновазі ($a=0$), хоча T і $m\vec{g}$ незрівноважуються $\vec{F}_R = T + m\vec{g} \neq 0$ ІСВ (Земля) - вантаж разом з вагоном рухається прискорено $a_{абс.} = a_0$ $\vec{F}_R = T + m\vec{g} = m\vec{a}_0$

В ІСВ і НІСВ прискорення різні (хоча сили, що діють на тіло не залежать від СВ), тому в НІСВ неможна пояснити даний рух силами, що діють з боку будь-яких інших тіл, або неможна користуватися з-нами Ньютона.

② нитку перерізали (рух під дією сили тяжіння): НІСВ - траєкторія (з досліду) - пряма вздовж нитки ІСВ - траєкторія - парабола ($v_0 =$ швидкості вагону).



$\vec{a}_{пер.}$ - прискорення НІСВ відносно ІСВ
 $\vec{a}_{відн.}$ - прискорення тіла відносно НІСВ
 $\vec{a}_{абс.}$ - прискорення тіла відносно ІСВ
 $\vec{a}_{абс.} = \vec{a}_{пер.} + \vec{a}_{відн.}$
 $\vec{F}_R \neq m\vec{a}_{відн.}$
 $\vec{F}_R = m\vec{a}_{абс.} = m\vec{a}_{пер.} + m\vec{a}_{відн.}$ ІЗ-Н - порушується

Щоб ІЗ-Н. був справедливий необхідно, щоб, крім діючих сил, діяла ще додаткова сила $(\vec{F}_i = -m\vec{a}_{пер.})$ - сила інерції

тоді: $\vec{F}_R + \vec{F}_i = m\vec{a}_{абс.} - m\vec{a}_{пер.} = m\vec{a}_{відн.}$

$(\vec{F}_R + \vec{F}_i = m\vec{a}_{відн.})$ - ІЗ-Н. Ньютона для НІСВ (при врахуванні сили інерції) і ІЗ-Н. в НІСВ - виконуються.

Особливості сили інерції (F_i):

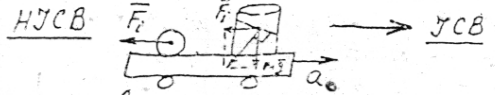
- це "фіктивні" сили - вони зумовлені наявністю прискорення НІСВ відносно ІСВ, а не дією будь-яких тіл на дане
- не можна вказати тіло, з боку якого, ця сила діє (в НІСВ не виконуються ІЗ-Н.), немає протидії (ці сили з'являються поодиночі, а не парами)
- ці сили зовнішні для будь-якої системи тіл.
- збільшуються із збільшенням $a_{пер.}$ і $F_i = 0$ при $a = 0$; то їх наявність і величини судять про ступінь неінерційності СВ
- зумовлені властивостями НІСВ, локальні
- пропорційні масі тіла (аналогічні силам тяжіння) і з них можна обійтись чим з ними легше

K-15 Принцип еквівалентності - гравітаційне поле

в обмеженій (локальній) частині простору рівнозначне певній НІСВ.

Приклад: підняття ліфта з прискоренням \vec{g} рівнозначне подвоєнню поля земного тяжіння в ліфті

Принцип еквівалентності - ґрунтується на рівності гравітаційної (А. Ейнштейн) і інертної мас (сила інерції надають прискорення тілам незалежно від їх маси, така сама особливість і сила тяжіння).



скопування кульки можна пояснити дією сил інерції або дією сил тяжіння (ніякими дослідами неможна відрізнити рух тіла в гравітаційному полі від руху в відповідно підібраній НІСВ - принцип еквівалентності).

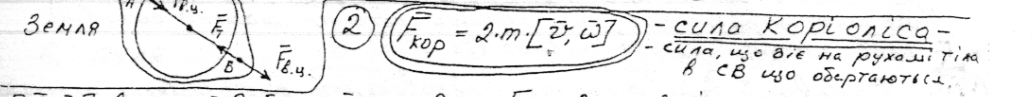
НІСВ - можна вважати ІСВ, якщо ввести додаткове поле тяжіння. $\vec{g}_{доп} = -\vec{a}_0$

Сили інерції в СВ що обертається (при переході в НІСВ що обертається)



Враховуючи повільне обертання Землі $\rightarrow F_{ц.} = F_{г.} \approx 0$ $F = F_g$

- Прояв $F_{ц.}$:
- відцентрові механізми (сепаратори, центрифуги, відцентрові насоси, відцентрове ліття, тахометри...)
 - штучна вагомість - космічні поселення - тор - діаметр $\approx 1,5$ км. - 10 тис. чоловік.
 - розрив маховиків, сплюснутість планет ($\sim \omega^2$)
 - припливи (відпливи) - два за добу.



$[v, \omega]$ - векторний добуток, його модуль $F_{кор} = 2 * m * v * \omega * \sin \alpha$
 $\omega \uparrow$ напрям $F_{кор}$ - ліва триєда векторів.
 $v \rightarrow$ напрям ω - правий згин
 $F_{кор}$ діє { північно півкуля - вправо }
 { південна півкуля - вліво } по руху

- Прояв $F_{кор}$:
- відхилення снарядів під час стрільби
 - відхилення віліно-поданих тіл на схід, тіл кинутих вгору - на захід
 - підняття в північній півкулі - правих березь у річках (не однаково зношуються рейки залізничі) при коливаннях маятників в (Фукко) лінійних площинах їх коливань (на полюсі за добу на 2π) - безперерпний доказ обертання Землі.
 - утвор гігантських циклонів в атмосфері (вітер з області високого тиску в області низького) - повітряний потік закручується проти годин. стрілки
 - Смещення ... у північній півкулі

K-16

Обертання т.т. (твердих тіл) навколо фіксованої осі.

Кінематика 1. Означення величин

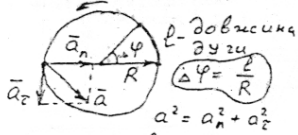
Зкал-К10

$\omega = \frac{\varphi - \varphi_0}{\Delta t} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ - кутова швидкість $\beta = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ $\beta(\varepsilon)$ - кутове прискорення

Для всіх точок т.т - ω, β, T, n - однакові

2. зв'язок між величинами

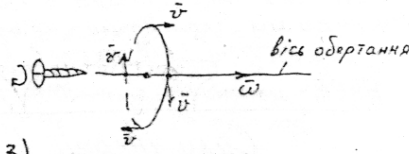
$\omega = \cos \varepsilon t$ $\begin{cases} a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4\pi^2 n^2 R \\ \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n \end{cases}$



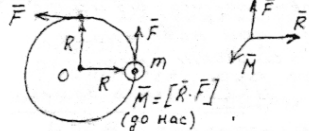
$v = \omega R$ $a_{\tau} = \beta R$

3. напрям величин

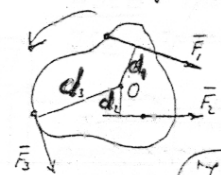
$\vec{v} = [\vec{\omega} \vec{R}]$ вектори $\vec{\omega}, \vec{R}, \vec{v}$ утворюють ліву трійку векторів
напря $\vec{\omega}$ - правий гвинт
напря \vec{v} співпадає з $\vec{\omega}$ (при збільшенні ω)



II Динаміка (означення величин) (К-33)



$\vec{M} = [\vec{R} \vec{F}]$ Момент сили (відносно осі).
 $M = R \cdot F \cdot \sin \varphi$ - характеризує зовнішню дію на тіло і визначає зміну обертального руху тіла.
 $\varphi = (\vec{R}, \vec{F})$



$\sum M = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \vec{M}_3 = -d_1 F_1 + d_2 F_2 + d_3 F_3$
 $J = m R^2$ - момент інерції точки
 $M = R \cdot F \cdot \sin \varphi = F d$
 d - плече сили F відносно осі O .

$J = \sum_{i=1}^N m_i \cdot R_i^2$ - момент інерції тіла - є мірою інертності тіла при обертальному русі і залежить від розподілу мас в тілі $J = \int r^2 dm$

J -момент інерції відіграє ту ж роль в обертальному русі, що і маса при поступальному русі. Чим більший момент інерції тіла, тим більший потрібен момент сили (M), щоб змінити кутову швидкість

Основний з-н динаміки обертального руху (навколо нерухомої осі)

$M_{\Sigma} = \beta \cdot J$ $F = ma_{\tau}$ $R \cdot F = ma_{\tau} \cdot R = m \cdot \beta \cdot R \cdot R$ $M = m R^2 \cdot \beta$ $M = \beta J$
Кутове прискорення (β, ε) тіла, що обертається, прямо пропорційне сумі моментів (M_{Σ}) всіх діючих на нього сил відносно осі обертання тіла і обернено пропорційне моменту інерції (J) тіла відносно осі обертання

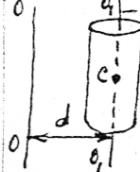
- 1) Умова рівноваги - при відсутності моментів зовнішніх сил $\sum \vec{M} = 0$
 $\omega = 0$ або $\omega = \cos \varepsilon t$ $\beta = 0$
2) Якщо момент зовнішніх сил $M \neq 0 \rightarrow \omega \neq \cos \varepsilon t$ $\beta \neq 0$
(внутрішні сили не можуть ні викликати, ні зникнути обертання твердого тіла)

K-17

Вільне обертання тіла називається стаціонарним якщо $\omega = \text{const}$, при відсутності зовнішніх дій

Умовою такого обертання - є обертання навколо однієї з головних центральних осей (осі проходять через центр інерції (мас) тіла і є взаємноперпендикулярними).
Стійке обертання можливе тільки навколо головних осей J_{\min} і J_{\max} (тілки дві)

Теорема Штейнера (про перенос осей інерції)...



$J_o = J_c + m d^2$ J - момент інерції тіла відносно довільної осі OO'

J_c - момент інерції тіла відносно осі O, O' , що проходить через центр інерції тіла паралельно розглядуваній осі OO'
 d - відстань між осями m - маса тіла

Моменти інерції деяких тіл

- тонке кільце $J = m R^2$
- порожнистий тонкостінний циліндр ($d \ll R$) $J = m R^2$
- сцільний циліндр $J = \frac{1}{2} m R^2$
- диск ($d \ll R$) $J = \frac{1}{2} m R^2$
- диск ($d \ll R$) $J = \frac{1}{4} m R^2$
- куля $J = \frac{2}{5} m R^2$
- порожниста тонкостінна сфера $J = \frac{2}{3} m R^2$
- тонкий стрижень $J = \frac{1}{12} m l^2$
- тонкий стрижень $J = \frac{1}{3} m l^2$