

Fyzika Zeme

- Úvodný kurz pre poslucháčov prvého ročníka bakalárskych programov v rámci odboru geológie
- 3. prednáška – práca, výkon, energia

Základné pojmy - mechanika

- **tlak:** Tlak vyjadruje veľkosť sily, pôsobiacej na jednotkovú plochu.

$$p = \frac{|\vec{F}|}{a} = \frac{F}{a}$$

- kde F je veľkosť sily [N] a a je plocha [m²].
- jednotka je pascal [Pa] = [N/m²] = [kg·s⁻²·m⁻¹].
- stará jednotka bola bar (1 bar = 100000 Pa).
- je to skalárna veličina.

Základné pojmy - mechanika

Hybnosť \vec{p} , jednotka $\left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} \right]$

Definícia veličiny: súčin rýchlosti a hmotnosti telesa (charakterizuje pohybový účinok hmotnosti - okamžitý pohybový stav telesa):

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

Vektorová veličina, jej smer je totožný so smerom vektoru rýchlosti.

Energia, práca, výkon:

Práca

Dôležitá veličina vo fyzike je mechanická práca.

Ak **sila** pôsobí na teleso **po určitej dráhe**, koná **prácu**. Uplatňuje sa iba *zložka sily v smere dráhy* - sila pôsobiaca kolmo na smer dráhy telesa prácu nekoná.

Pre mechanickú prácu A platí zjednodušený vzorec:

$$A = F s$$

(rovnaký smer pôsobenia sily po dráhe)
(F je sila [N], s je dráha [m])

Jednotka práce – Joule (J):

$$[J] = N \cdot m = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$



Energia, práca, výkon:



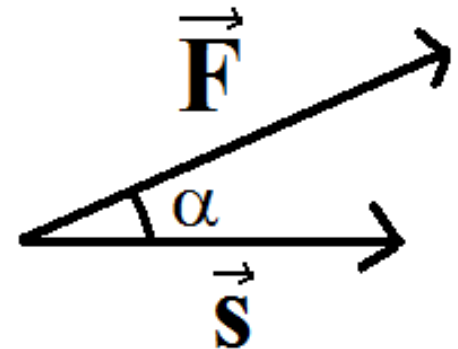
Práca

Treba si však uvedomiť, že vo vzorci pre prácu vystupujú vektorové veličiny a vyskytuje sa tam tzv. skalárny súčin

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

pre veľkosť ktorého platí:

$$A = |\vec{F}| |\vec{s}| \cos \alpha = F s \cos \alpha$$



Energia, práca, výkon:

Práca

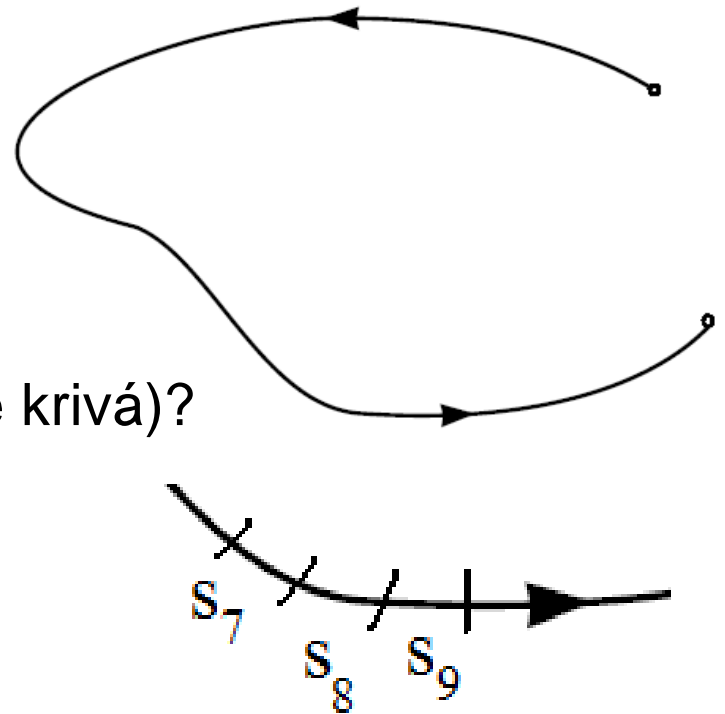
Čo však spravíme v prípade, kedy je tvar dráhy nepravidelný (dráha je krivá)?

Musíme túto dráhu rozdeliť na viacej malých úsekov s_i , vypočítať prácu na každom z nich a na záver zosumovať

$$A = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i \cdot \vec{s}_i \quad \text{kde } N \text{ je počet malých úsekov dráhy.}$$

Keď členenie dráhy na jednotlivé úseky urobíme veľmi jemné (použijeme veľmi malé úseky s_i), môžeme prejsť na integrál:

$$A = \int_S \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad \text{kde } S \text{ celková dráha a } ds \text{ je jej veľmi malý (nekonečne malý, infinitezimálny) krok.}$$



Energia, práca, výkon:

Práca

Jednotka práce – Joule (J):

$$[J] = N \cdot m$$

$$[J] = N \cdot m = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$$

alebo zodpovedá násobku jednotiek výkonu a času

$$[J] = W \cdot s \quad (\text{tzv. wattsekunda})$$

Poznámka:

Zastaraná jednotka: kalória (Cal), $1 \text{ J} = 0.239006 \text{ Cal}$

Energia sa premieňa na prácu a naopak.

Ak sústava prechádza z pokoja do pohybu alebo naopak, pričom sa jej nedodáva ani neodoberá mechanická práca, ostáva súčet polohovej a kinetickej energie nemenný.

Energia aj práca majú rovnaký fyzikálny rozmer.

Energia, práca, výkon:

Výkon

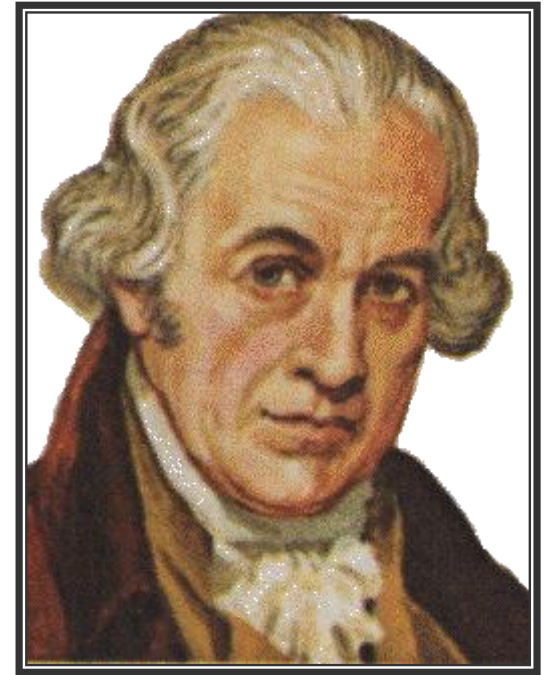
V prípade práce (zmeny energie) je tiež dôležité, *za aký čas* bola práca vykonaná alebo spotrebovaná.

To vyjadruje fyzikálna veličina *výkon = práca za jednotku času*.

$$P = \frac{A}{t} \quad [\text{W}]$$

Jednotkou výkonu je:

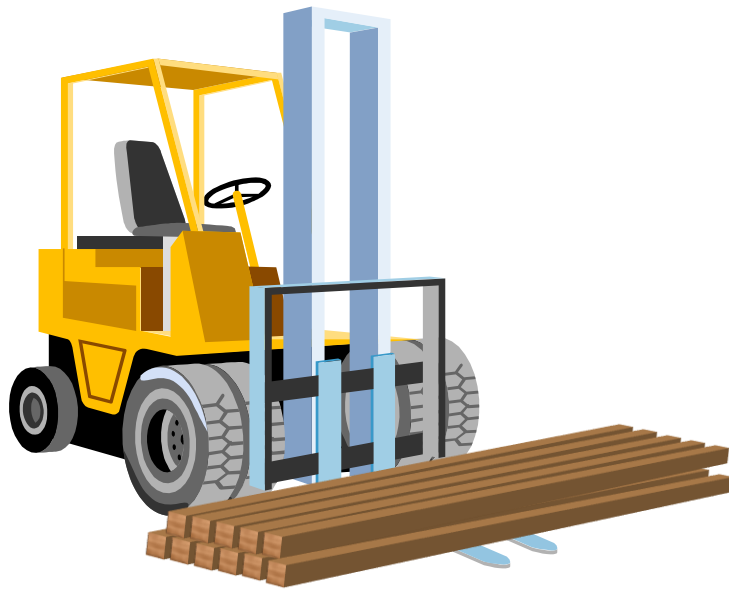
$$[\text{W}] = [\text{J} \cdot \text{s}^{-1}] = [\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}]$$



James Watt,
škótsky fyzik (1736-1819)

Riešte úlohu:

Novší vysokozdvížný vozík zdvihne drevené hranoly s celkovou hmotnosťou $m = 900 \text{ kg}$ do výšky $h = 130 \text{ cm}$.

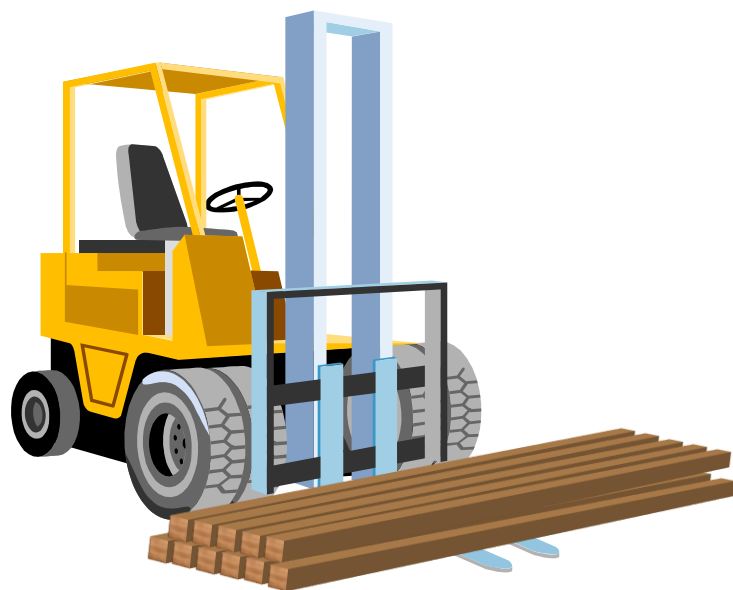


$$A_{\text{starší}} = A_{\text{novší}} = 1170 \text{ J}$$

Práca je rovnaká. Ale aká je ich výkonnosť (výkon)?

Porovnajete prácu vozíkov pri zdvíhaní hranolov.

$$A_{\text{starší}} = A_{\text{novší}} = 1170 \text{ J}$$



$$t_{\text{starší}} = 10 \text{ s}$$

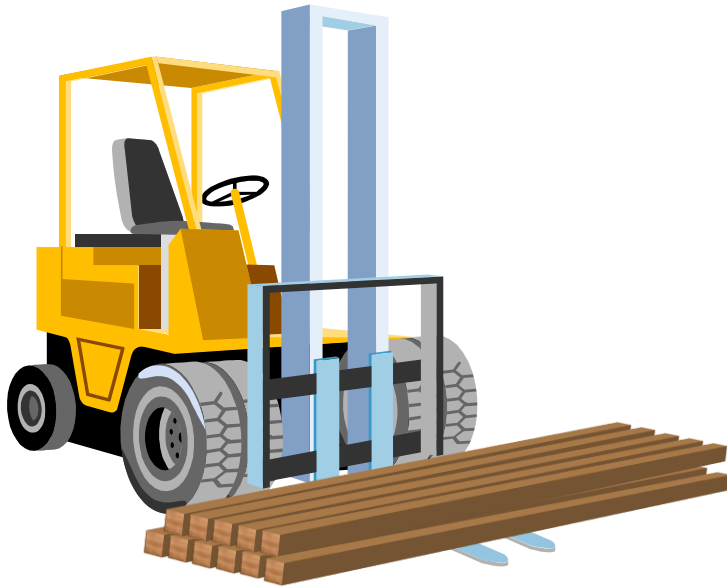


$$t_{\text{novší}} = 5 \text{ s}$$

Vozíky vykonajú rovnakú prácu, ale za rôzny čas.

Vozíky pracujú s rozdielným **výkonom**.

$$P = \frac{A}{t} \quad [\text{W}]$$



$$P_{\text{starší}} = 117 \text{ W}$$



$$P_{\text{novší}} = 234 \text{ W}$$

Výkon novšieho vozíka je $P_{\text{novší}} = 2P_{\text{starší}}$.

Energia, práca, výkon:

Výkon - poznámka

Pri niektorých **krátkotrvajúcich** procesoch (zväčša explozívneho charakteru) môže byť **výkon** obrovský, ale **uvoľnená energia** až tak nie – napríklad **bleskový výboj**: výkon až 10^{11} W (čo je výkon niekoľkých stovák priemerných elektrární dokopy), ale vzhľadom na trvanie výboja – desiatky μsec – je uvoľnená energia rádu 10^7 J, čo zodpovedá približne celodennému svieteniu jedinej 100 W žiarovky – teda nič mimoriadne.



Energia, práca, výkon:

Rôzne druhy energie:

mechanická energia

- pohybová (kinematická) energia
- polohová (potenciálna) energia
- energia pružnosti
- rotačná energia

chemická energia (energia chemickej väzby)

tepelná energia

elektrická energia (elektromagnetická energia)

jadrová energia (atómová energia)

tmavá energia (teoretická energia, ktorá objasňuje expanziu vesmíru a jeho pozorované vlastnosti)

Väčšinou hovoríme o druhu energie podľa fyzikálneho poľa (elektromagnetická, energia gravitačného poľa, svetelná energia, energia žiarenia, atď.)

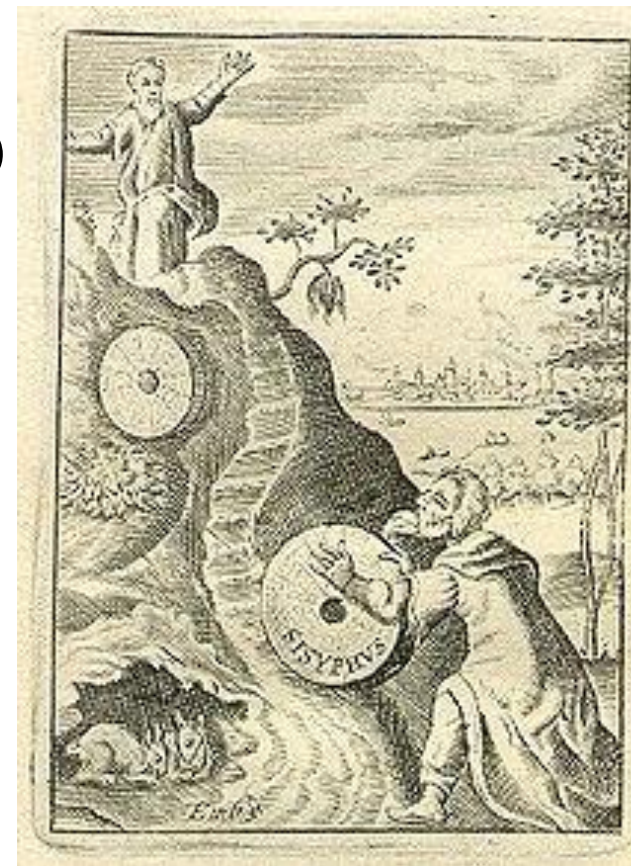


Energia, práca, výkon:

V súvislosti s gravitačným poľom (minulá prednáška) môžeme uvažovať napr. aj týmto smerom:

Teleso premiestnené za pomoci určitej práce v smere proti pôsobeniu gravitačnej (tiažovej) sily Zeme nadobúda určitú polohovú energiu (**potenciálnu**), ktorú vie neskôr premeniť/uvoľniť na energiu pohybu (**kinetickú**) - keď sa začne pohybovať opäť smerom nadol k miestu, kde má polohovú energiu nulovú (napr. povrch Zeme).

Viac o tejto téme neskôr – pri tzv. zákone zachovania energie.



Energia, práca, výkon:

Mechanická energia - kinetická

Kinetickú energiu telesa s hmotnosťou m , pohybujúceho sa rýchlosťou v , určuje vzťah:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

**vzťah pre
kinetickú
energiu**

Túto energiu vynaložíme, ak teleso s hmotnosťou m urýchlíme z klúdu na rýchlosť v .

Energia sa môže uvoľniť a prejsť do iných foriem – napr. ak teleso pohybujúce sa touto rýchlosťou zastavíme.

kinetická energia – odvodenie:

Energia má vzťah s prácou: $\Delta E = F \Delta s$

pre: $F = ma$ a $\Delta s \approx v \Delta t$

platí: $\Delta E \approx mav \Delta t$

a pre: $a \Delta t = \Delta v$

platí: $\Delta E \approx mv \Delta v$

kinetická energia – odvodenie:

Energia má vzťah s prácou: $\Delta E = F \Delta s$

pre: $F = ma$ a $\Delta s \approx v \Delta t$

platí: $\Delta E \approx mav \Delta t$

a pre: $a \Delta t = \Delta v$

platí: $\Delta E \approx mv \Delta v$

Ale kde sa vo výsledku berie tá $\frac{1}{2}$?:

$$\Delta(v^2) = (v + \Delta v)^2 - v^2 = 2v\Delta v + \cancel{(\Delta v)^2} \approx 2v\Delta v \Rightarrow v\Delta v = \frac{1}{2} \Delta(v^2)$$

Tu sme zanedbali člen $(\Delta v)^2$, nakoľko to je veľmi malé číslo.

(desatinné číslo na druhú je ešte menšie číslo, napr.: $0.01^2 = 0.0001$)

A tak získavame výsledný vzťah:

$$\Delta E \approx \frac{1}{2} m \Delta(v^2) = \Delta\left(\frac{1}{2} m v^2\right)$$

Energia, práca, výkon:

Mechanická energia - potenciálna

V gravitačnom poli Zeme (v blízkosti jej povrchu) je potenciálna energia telesa s hmotnosťou m vo výške h nad jej povrchom daná vzťahom:

$$E_p = m g h$$

kde m je hmotnosť, h je výška a g je gravitačné (ťažové) zrýchlenie.

vzťah pre potenciálnu energiu

Vo fyzike rozlišujeme také silové polia, v ktorých sa pohybom telesa po **uzavretej dráhe nijaká práca nevykoná ani nespotrebuje** – napr. pole **gravitačné** alebo **elektrické (elektrostatické)**. Takéto polia sa nazývajú tiež ako **tzv. konzervatívne**.

Ale napr. **pole magnetické nie je konzervatívne** – „našťastie“, ináč by nefungovali *elektrické motory ani generátory*. V nich je **premena energie** spojená s **obehom elektrických nábojov (vo vodičoch) po uzavretých krivkách**.

Energia, práca, výkon:

Mechanická energia – pružného telesa

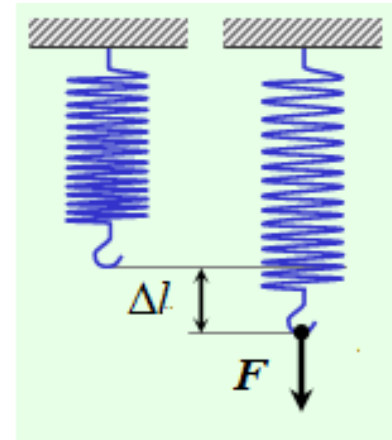
V mechanike okrem kinetickej a potenciálnej energie hrá dôležitú rolu aj tzv. **energia pružného telesa (pružiny)**.

Pri predĺžení pružiny jej dodávame určitú energiu, ktorú vie potom zo seba vydať (vrátiť).

$$E_{\text{pruz}} = \frac{1}{2} k \Delta l^2$$

kde k tuhosť pružiny a Δl je predĺženie pružiny.

vzt'ah energii pružného telesa



Využíva sa v geológii (geofyzike) pri seizmografoch, ktoré registrujú otrasy vznikajúce v dôsledku mechanických vln od zemetrasení alebo umelo budených výbuchov.

Energia, práca, výkon:

Mechanická energia – rotujúceho telesa

V mechanike okrem kinetickej a potenciálne energie hrá dôležitú rolu aj tzv. **energia rotujúceho telesa (využívajúc moment zotrvačnosti)**.

Ak sústava bodov s hmotnosťami m_i rotuje uhlovou rýchlosťou ω [jednotka: $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$] okolo pevnej osi, a vzdialenosť každého bodu od osi je r_i , potom *kinetická energia rotácie* sústavy je:

$$E_r = \frac{1}{2} I \omega^2$$

vzťah pre energiu rotujúceho telesa

kde I je moment zotrvačnosti sústavy bodov vzhľadom k určitej rotačnej osi a ω je uhlová rýchlosť.

$$I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2$$

kde N je celkový počet bodov sústavy, m_i je hmotnosť i -teho bodu a r_i je jeho vzdialenosť od rotačnej osi

Dôležité ale je, že moment zotrvačnosti telesa **závisí na polohe rotačnej osi**.

Výraz pre kinetickú energiu rotácie (hore) je analogický výrazu pre kinetickú energiu posuvného pohybu ► iba namiesto **rýchlosti** v tu vystupuje **uhlová rýchlosť** ω a úlohu **hmotnosti** m hrá **moment zotrvačnosti** I .

poznámka – moment zotrvačnosti:

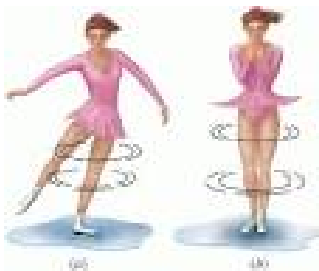
čo sa deje pri piruete v krasokorčuľovaní?



$$E_r = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2$$

Krasokorčuľiarica **pripažením zníži svoj moment zotrvačnosti (okolo zvislej osi)**.
Keďže *kinetická energia rotácie* sa **zachováva** – **zvýši sa uhlová rýchlosť**.

Moment zotrvačnosti sa zníži, lebo **väčší podiel hmotnosti jej tela sa presunie bližšie k osi rotácie**.

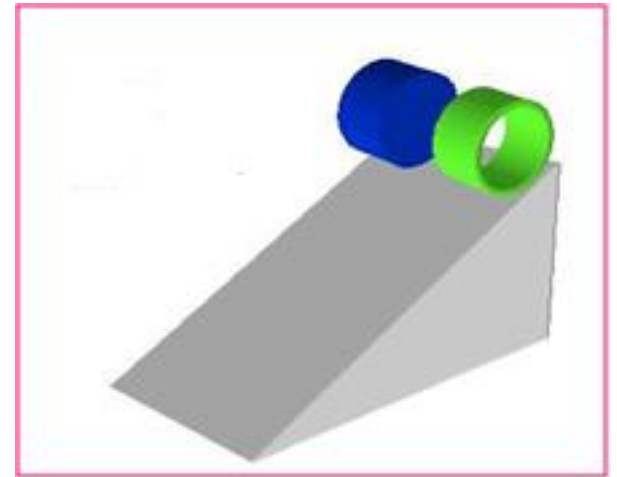


moment zotrvačnosti – test pozornosti (pokus)

Na obrázku vpravo dolu máme ďalší zaujímavý príklad: ▼

Dve telesá na obrázku majú rovnakú hmotnosť – pohybujú sa po naklonenej rovine, trenie a odpor vzduchu zanedbajme.

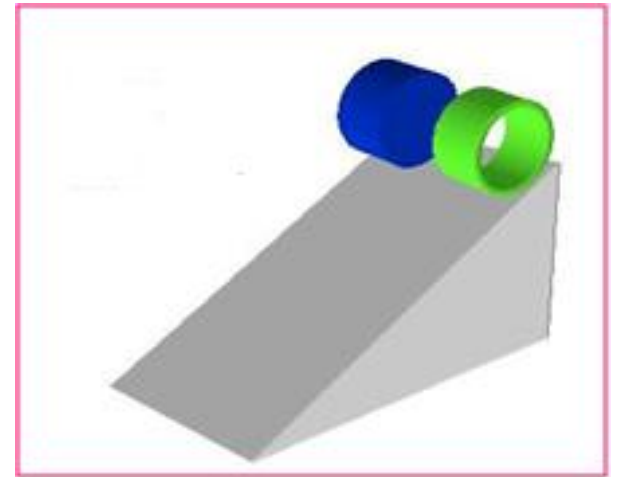
Ktoré sa bude pohybovať rýchlejšie?



moment zotrvačnosti – test pozornosti (pokus)

Na obrázku vpravo dolu máme ďalší zaujímavý príklad: ▼

Dve telesá na obrázku majú rovnakú hmotnosť – pohybujú sa po naklonenej rovine, trenie a odpor vzduchu zanedbajme.
Ktoré sa bude pohybovať rýchlejšie?



Prstenec má – oproti valcu – dvojnásobný moment zotrvačnosti (**väčší podiel hmotnosti je ďalej od osi!**). Keďže obidve telesá transformujú (rovnakú) potenciálnu energiu na kinetickú, bude sa *prstenec pohybovať pomalšie a valec rýchlejšie*.

skalné more – Vyhne – tzv. gravitačné triedenie (?)



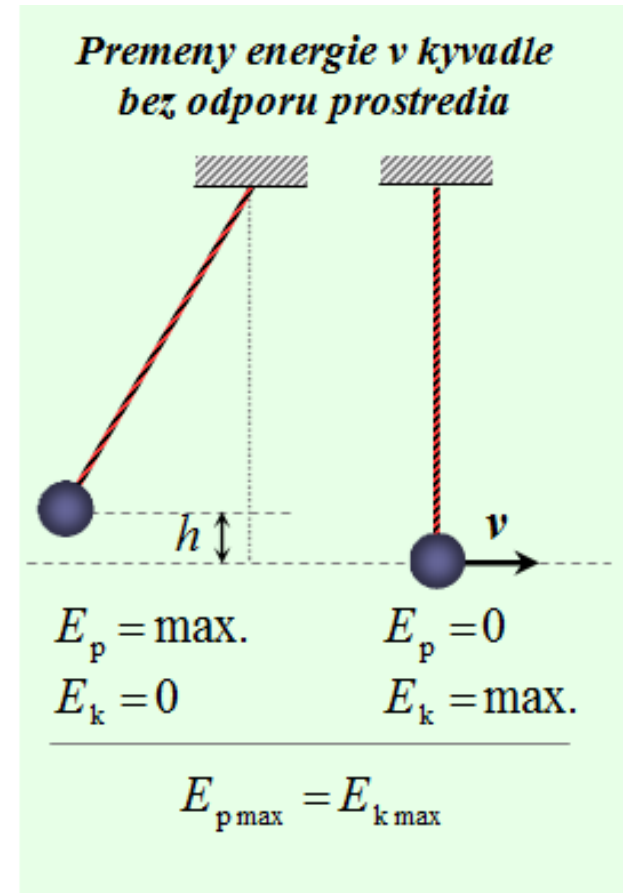
Energia, práca, výkon:

Zákon zachovania energie:

Zákon zachovania energie vo fyzike hovorí, že v izolovanej fyzikálnej sústave je celková energia nemenná.

Pomocou matematického kyvadla sa dá veľmi pekne ukázať premenu kinetickej energie E_k na potenciálnu E_p a naopak

Ďalším dôsledkom zákona o zachovaní energie je skutočnosť, že kyvadlo sa nemôže bez vonkajšieho zásahu vychýliť viac ako je jeho počiatočná poloha



Energia, práca, výkon:

Zákon zachovania energie:

Zákon zachovania energie vo fyzike hovorí, že v izolovanej fyzikálnej sústave je celková energia nemenná.

Inak vyjadrené: **energia nevzniká a nezaniká**, ale sa len premieňa z jednej formy energie na druhú formu energie či na iné formy energií.

Alebo ešte inakšie: **zmena energie sústavy sa rovná práci touto sústavou vykonanou alebo spotrebovanou**.

Dôsledkom je skutočnosť, že **nemožno skonštruovať perpetuum mobile** prvého druhu (stroj, ktorý vydá viac energie ako prijme).

