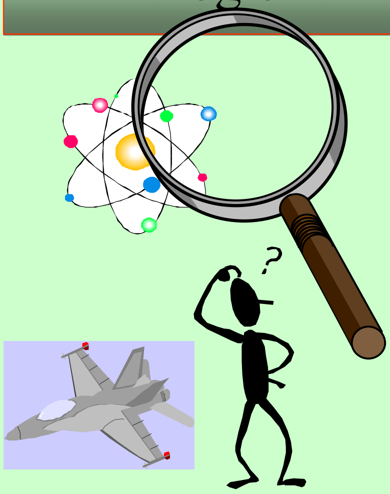
Dialog o základech fyziky



- Dialog spolu vedou učitel **Praktik** a žák ZŠ nebo nižšího gymnázia **Všetečka.**
- Učitel má snahu vysvětlit látku co nejstručněji, ale tak, aby byla užitečná pro praxi i pro případné další studium.
- Co na to **Všetečka**?

1

Čím se zabývá fyzika?

Fyzikální poznatky jsou klíčem k porozumění všech oblastí techniky, která nás obklopuje, ať to jsou auta, rakety, mosty, mobilní telefony nebo CD přehrávače.

To bych rád věděl, co může mít společného mobil a CéDéčko?

Obě zařízení by neexistovala, nebýt teorie elektromagnetických vln. Neuměli bychom postavit televizní ani jiné vysílače, ani přimět atomy, aby emitovaly laserové světlo potřebné pro čtení digitálního kódu složeného ze samých 0 a 1, do něhož je na CD zapsána např. hudba.

2

Fyzika a matematika

Největším pomocníkem fyziky je matematika, protože pomocí i jednoduchých vzorců umí vyjádřit velmi přesně vztahy mezi veličinami. Fyzika proto matematiku nejen využívá, ale snaží se ji i napodobovat. Fyzikální veličiny přesně definuje a jejich hodnotu vyjadřuje číslem a jednotkou.

Ach jo, už je to tady, zase šprtat vzorečky!

Nepůjde o žádné šprtání vzorečků, všechny pro nás potřebné vzorce najdeme na těchto stránkách. Je potřeba jen vědět, že takový vzoreček existuje, umět do něho dosadit správná čísla a pak vypočítat veličinu, která nás zajímá.

To bych rád věděl, kde tato čísla vezmu?

3

Geometrie - základ fyziky

V podstatě jsou tři možnosti:

1) Vhodné číslo najdeme v tabulkách, nebo je uvedeno v příkladu.
2) Vypočteme je z jiných vzorců.
3) Sami dosud neznámou hodnotu veličiny naměříme.

Nejlépe je ukázat postup práce ve fyzice na příkladech. Bude se nám pro tento účel dobře hodit měření délek, určování plošných obsahů a objemů těles.

To přece není fyzika, to se učíme v geometrii!

To je na první pohled pravda, ale jak se později sami přesvědčíte, geometrie je základ celé fyziky. Teorie relativity (tu se učit nebudeme!) dokonce ukázala, že geometrické zákonitosti úzce souvisejí hmotnosti těles, které se v něm nacházejí. To má velký význam při studiu vesmíru! Technickou praxi to neovlivňuje.

4

Délka úsečky

Délka úsečky (vzdálenost dvou bodů) je základní fyzikální veličina. Její hodnotu uvádíme v metrech nebo v jednotkách z něho odvozených. Odvozené jednotky se od sebe liší příslušnou předponou (centi - metr, kilo - metr apod.). Význam předpon užívaných v praxi je uveden v následující tabulce:

mikro…miliontina 1µm = 0,000 001*1m (mikrometr)
mili … tisícina 1mm = 0,001*1m (milimetr)
centi … setina 1cm = 0,01*1m (centimetr)
deci … desetina 1dm = 0,1*1m (decimetr)
kilo… tisíc 1km = 1000 *1m (kilometr)
mega… milion 1Mm= 1 000 000*1m (megametr) …toto spojení se neužívá

Tyto předpony mají stejný význam v celém světě a užívají se i ve spojení s jinými základními jednotkami, nejen ve fyzice (např. 1kB = 1kilobyte, 1MW = 1 megawatt)

5

Převodní tabulka délkových jednotek

	1mm	1cm	1dm	1m	1km
1mm	1	0.1	0.01	0.001	0.000 001
1cm	10	1	0.1	0.01	0.000 01
1dm	100	10	1	0.1	0.000 1
1m	1000	100	10	1	0.001
1km	1 000 000	100 000	10 000	1 000	1

A to se mám tu tabulku naučit zpaměti?

To není nutné, je však třeba jí umět použít při převodu délky z jedněch jednotek do druhých. Například:

1) Kolik metrů je 1,23 km?
2) Kolik metrů je 236 cm?

apod.

Převod délkových jednotek

A jak se tedy postupuje při převodu jednotek?

Univerzální postup při převodu jednotek si ukážeme zase na příkladu:

Délku 1,23 km máme převést na metry.

Takový zápis hodnoty veličiny si vždy mohu představit jako součin čísla a příslušné jednotky. Pro začátek si to napíšeme:

1,23 km = 1,23 *1km.

Nyní se podívám do převodní tabulky. Najdu řádek 1km a ve sloupci nadepsaném 1m najdu číslo 1000 (tzn., že 1km = 1000m) a pokračuji:

1,23 km =1,23*1km = 1,23 *1000 m.

Vynásobením těchto dvou čísel už dostanu výsledek: 1,23*1000m=1230 m

S tou tabulkou to tak obtížné nebude! Vždyť v tabulce jsou jen taková kulatá čísla! A jimi umím násobit zpaměti, bez kalkulačky.

7

Měření délek

S měřením délek mohou vzniknout nejrůznější problémy a je proto třeba si s nimi umět poradit. O jaké problémy jde, bude zřejmé z následujících příkladů:

Změřte výšku kuchyňského stolu!

Co tady může být za problém?

Postup:
Vezmete metr, na němž jsou vyznačeny milimetry a u jedné nohy naměříte výšku 763 mm. Hned vás jistě napadne, že u druhé nohy to může být jinak. Naměříte tam 761 mm a u zbývajících noh naměříte 762 mm a 761 mm.
Co teď? Jaká je výška stolu?
Zkušenost říká, že nejlépe je v takovém případě vypočítat průměrnou hodnotu z naměřených hodnot.
Tedy v = (763mm +761mm +762mm +761mm)/4 = 761,75 mm

To je přece nesmysl říkat, že stůl je vysoký 761,75 mm, když rozdíly jeho výšky u jednotlivých noh jsou jednotky milimetrů!!!

8

Zaokrouhlování

Teď tě Všetečko musím pochválit i napomenout. Tvůj postřeh, že z praktického hlediska nemá smysl uvádět výšku stolu na setiny milimetru, je opravdu výborný, ale já jsem ještě neskončil!
Fyzikové na to mají přesné matematické postupy založené na statistice a teorii pravděpodobnosti, ale v technické praxi (ta bude pro nás směrodatná) vystačíme s tím, že průměrné číslo zaokrouhlíme tak, aby odchylky naměřených hodnot zasahovaly jen poslední číslici měřené veličiny.
V našem případě jsou odchylky v jednotkách mm a proto tímto zaokrouhlením dostaneme pro výšku stolu hodnotu 762 mm.
Na toto zaokrouhlení průměrné hodnoty nesmíme nikdy zapomenout!
Stolař by nám jistě právem tvrdil, že stůl vysoký 761,75 mm neumí vyrobit, protože dřevo se nedá obrábět s přesností na setiny milimetru.

Tak to vysvětlení beru, vždyť dřevo se sesychá a má i drsný povrch, to znám. Je to rozumná dohoda to zaokrouhlování. Proč opisovat z kalkulačky čísla, když pro praxi nejsou k ničemu!

9

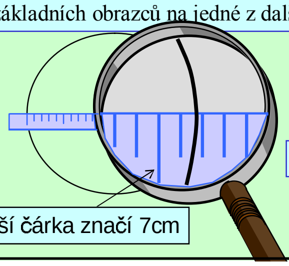
Obvod kružnice

Tentokrát začneme hned s úkolem:
Vezměte kružítko a narýsujte na list papíru kružnici. A nyní máte zjistit délku kružnice. Víte jak na to?

Jasan, zjistím poloměr kružnice a pak podle nějakého vzorce z geometrie vypočtu její obvod!

V podstatě je to postup správný, ale přece jen trochu nepraktický. Pokud na papíře není vidět střed kružnice, je lépe měřit její průměr a ne poloměr. Pro vaše pohodlí najdete přehled vzorců týkajících se základních obrazců na jedné z dalších stránek.

K měření průměru použijeme např. plastové pravítko, které má vyznačené milimetry. Když je čára dost ostrá přečteme počet milimetrů a desetiny milimetru odhadujeme.



čteme: 71,8mm

Tato delší čárka značí 7cm

10

Přesnost výpočtu obvodu kružnice

Pro jistotu změříte průměr kružnice ještě v dalších dvou směrech a podle naší dohody z nich vypočte průměrnou délku průměru:
d = (71,8 mm +71,2mm+71,3mm)/3 = 71,433333 mm
Po našem zaokrouhlení to ale bude d = 71,4 mm. Nyní podle vzorce $O = \pi d$, kde d je průměr kružnice vypočteme obvod O.

Já už to mám, já totiž nemusím do kalkulačky vyťukávat číslo π !
V kalkulačce je uloženo na 8 desetinných míst!
Vyšlo mně O = 224,309715466 mm !

Teď se ale na ten výsledek podívej, Všetečko, z praktického hlediska. Představ si, že bys chtěl tu kružnici udělat z tenkého drátu.

No jasně, vždyť ta kalkulačka počítá zbytečně přesně! Vždyť já bych tu délku drátu stěží ustřihnul s přesností desetiny milimetru.

11

Přesnost výpočtu podle vzorce

S tvou úvahou souhlasím Všetečko, ale univerzálně platný postup, jak rozhodnout, která číslice má ještě praktický smysl je např. tento:
Poslední číslice při měření průměru vznikla zaokrouhlováním. A tak zkusíme vypočítat obvod ještě jednou, ale s hodnotou průměru, která se liší v poslední číslici o 1, např. d = 71,5 mm. Kolik ti vyšlo teď Všetečko?

Moje kalkulačka ukazuje O = 224,623874731

Vidíme, že s předchozím výpočtem O = 224,309715466 nastala shoda pouze v prvých třech číslicích. Nepřesnost v určení průměru mění výsledek už na prvním desetinném místě. Číslice na dalších místech nemají tedy žádný praktický význam. Když tedy řekneme, že obvod kruhu je O = 224,2 mm, je to pro praxi dobrý výsledek.

To jsem zvědav, jestli tento postup dá praktický výsledek i v jiných případech. Ještě, že tu kalkulačku mám! Bez ní bych asi z fyziky propadl!

12

Výpočet obsahu kruhu

Nyní vypočteme plošný obsah kruhu, jehož průměr jsme naměřili.

To je jednoduché. Do vzorce pro obsah kruhu o poloměru r dosadím za r polovinu průměru d a dostanu vzorec

$$S = \pi r^2 = \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\pi}{4}d^2$$

Když za d do své kalkulačky dosadím hodnotu 71,4mm, dostanu S = 4003,92842

Tak se mně zdá Všetečko, že jsi z kalkulačky už ani všechny číslice neopsal.

„..sím, ano. To se bude muset zase nějak zaokrouhlit. Aha! Už to mám! Dosadím za d zase tu nepřesnou hodnotu, jako při výpočtu obvodu. Kalkulačka ukazuje 4015,15176
To je hrozné, teď se oba výsledky liší nikoliv za desetinnou čárkou, ale už na místě desítek!

13

Přesnost výpočtu obsahu kruhu

Když se oba výpočty liší v číslici už na místě desítek, tak číslice na místě jednotek a dalších nemají praktický význam, a tak místo nich napíšeme nulu. Z matematiky víte, že uvádět nuly za desetinnou čárkou nemá smysl.

To je fakt. Tam jich může být nekonečně mnoho a to by nám na ně nestačil ani celý sešit. Proto se tam nepíší. Obsah kruhu tedy je S = 4000

Číslo jsi prakticky zaokrouhlil správně, ale neuvedl jsi u výsledku jednotky, ve kterých je uveden!

To je v milimetrech, ..sím!

Chyba!

Tak, jak jsme vynásobili ve vzorci čísla, tak musíme mezi sebou vynásobit i rozměry veličin, které v něm vystupují. Tedy 1mm*1mm = $(1\text{mm})^2 = 1^2\text{mm}^2 = 1\text{mm}^2$

Obsah kruhu tedy je $S = 4000\ \text{mm}^2$

14

Převádění jednotek plošného obsahu

Ukážeme si zase na příkladě, jak univerzální je postup na převádění jednotek, který jsme si dříve uvedli. Naším úkolem bude převést obsah kruhu $S = 4000\text{mm}^2$ na dm^2.

Ale takovou tabulku nemáme, která by převáděla mm^2 na dm^2!

Taky ji na nic nepotřebujeme! Použijeme tabulky, kterou jsme si již uvedli při převodu mezi délkovými jednotkami.

Aha, já už vím! To si musím zase ty milimetry čtvereční napsat jako součin 1mm*1mm a pak použít tu tabulku!

Ano, nic nového se to není. Zápis celého převodu může být např. takový:
$S = 4000\text{mm}^2 = 4000{*}1\text{mm}{*}1\text{mm} = 4000{*}0{,}01\text{dm}{*}0{,}01\text{dm} = 0{,}400\ \text{dm}^2$.
Ty nuly za 4 mají praktický význam. Jen ta poslední je trochu nejistá. V praxi je nula stejně důležitá,jako každá jiná číslice.

15

Objem těles

Vzorečky pro objem základních geometrických těles najdeme zase pěkně pohromadě na některé stránce a význam veličin v nich vystupujících známe z geometrie.
Jak prakticky změřit rozměry skutečného tělesa a z nich pak vypočítat podle příslušného vzorce jeho objem, nepotřebuje nic nového vysvětlovat.
Budeme napodobovat postup při výpočtu obsahu kruhu.

No jo, ale jak a podle čeho, provedu zaokrouhlení výsledku, když třeba při výpočtu objemu kvádru dosazuji do vzorce tři naměřené veličiny?

Zase použiji metodu druhého výpočtu a zjistím rozdíl obou výsledků. Pro druhý výpočet zvětším poslední číslici každé veličiny zase o jedničku a porovnáním obou výsledků zjistím, které číslice se nezměnily. Ty opíšu a připojím k nim ještě jednu další z prvního výpočtu. O ní však už vím, že její hodnota je nejistá.

To ale není žádná fyzika, pořád jen opakujeme vzorečky z matematiky!

Později uvidíte, že je to fyzika. A postupy, které jsme si vysvětlili, jsou pro praxi velice důležité a užitečné pro celou fyziku.

16

Hmotnost těles

Kromě rozměrů těles, jejich povrchu a objemu, se všechna tělesa vyznačují další základní veličinou a tou je hmotnost. Základní jednotkou hmotnosti je 1 kilogram, ve zkratce 1 kg.

To je divné. To nějak odporuje tomu pravidlu o předponách. Já jsem ještě nikde nečetl, že by v sáčku bylo např. 10 ckg kávy, ale je tam napsáno 100 g!

To je pravda, tady je rozpor. Vy jistě už víte, jsou státy, kde se i k měření délek užívá kromě jednotky 1m i 1palec (anglicky inch), nebo 1 míle. Mezinárodní dohoda však doporučuje užívat jen ty jednotky, které se budeme učit.

To nevysvětluje rozpor, který jsem uvedl!

Ano, je třeba ještě dodat, že zde jde o výjimku. Před několika desítkami let byl základní jednotkou hmotnosti (tehdy se říkalo váhy) 1gram, ve zkratce 1g = 0,001kg. U hmotnosti je tedy třeba význam předpon spojit s hodnotou 1g.

17

Měření hmotnosti těles

Ten nadpis zní nějak divně, hmotnost se přece zjišťuje vážením, ta se přece neměří, jako třeba výška stolu!

Musíme si zvykat na to, že odborné termíny nemusejí zcela odpovídat významem jejich užívání v praktickém životě. Říkáme např., že med je hustší než voda.. Za chvíli uvidíme, že fyzikálně vzato to není pravda.

Já si už vzpomínám, že jste na začátku říkal, že fyzika napodobuje matematiku i tím, že veličiny přesně definuje.

Kromě slovní definice veličiny, je ve fyzice stejně důležité uvést, jak a čím se nová veličina měří. K měření hmotnosti se užívají váhy. O jejich fyzikálních principech si řekneme později. Hmotnost tělesa však můžeme určit z jeho objemu a nové fyzikální veličiny, které říkáme hustota.

To jsem zvědav, k čemu bude ta hustota pro praxi dobrá!

18

Hustota látky

Proč se teď najednou mluví o látce a ne o hustotě tělesa?

Protože z různých látek, např. ze dřeva, nebo skla či železa, může být vyrobeno tvarově i rozměrově stejné těleso. Objem budou mít tato tělesa stejný, ale jejich hmotnost, jak uvidíme, bude různá, protože uvedené látky mají různou hustotu.

Hustota, bývá zvykem ji značit řeckým písmenem ρ (čti „ró“), je definována vztahem

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Definice

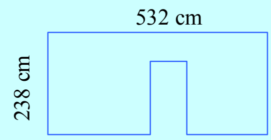
kde *m* hmotnost tělesa v kilogramech a *V* je jeho objem v m^3. Hustota se vztahuje k látce, ze které je těleso vyrobeno. Hustoty nejrůznějších látek najdeme v tabulkách. Hustotu uvádíme v jednotkách kg/m^3, jak plyne definice.

Pořád nevím, k čemu je hustota látky dobrá pro praxi!

19

Výpočet hmotnosti tělesa

Jeden příklad z praxe:
Máme v bytě postavit příčku z přesných cihel bez použití malty a uprostřed nechat otvor 200 cm x 80 cm pro dveře. Zeď má být tlustá 30 cm. Jaká bude hmotnost této zdi?



Výrobce udává, že hustota jeho cihel je stejná jako hustota vápence. Délka cihel je 300mm

V tabulkách je uvedeno, že hustota vápence je $\rho = 2710\ kg/m^3$. Ale co teď?

Použijeme vzorec, kterým jsme definovali hustotu. Z matematického hlediska je to rovnice, kde neznámá hmotnost *m* je v čitateli. Rovnice se nezmění, když obě strany vynásobíme objemem *V* a zaměníme levou stranu za pravou.

20

Úprava vzorce

Tímto postupem jsme vzorec upravili na tvar vhodný pro výpočet hmotnosti m

$$\rho = \frac{m}{V} \quad |* V$$
$$V\rho = m$$
$$m = V\rho$$

Už to chápu, ρ známe a V vypočítáme z uvedených rozměrů zdi. A to je jednoduché, neboť jde o kvádry.

Přesně tak. Vypočteme plošný obsah stěny a vynásobíme její tloušťkou:
Nejprve však veškeré rozměry převedeme do základních jednotek délky, to je na m.
238cm = 2,38m 532cm = 5,32m 80cm = 0,80m 200cm = 2,00m 300mm = 0,300m

Už to mám! Od plošného obsahu celé stěny odečtu plošný obsah otvoru pro dveře a výsledek vynásobím tloušťkou. Ještě že mám na kalkulačce závorky!
V = (2,38 * 5,32 - 0,80 * 2,00)* 0,300 = 3.3184800
To je zase číslic! Ještě že umím určit, které mají pro praxi význam.
Druhý výpočet mě dává:
V = (2,39 * 5,33 - 0,81 * 2,01)* 0,30 = 3.33318000
Oba výsledky se liší na 2. desetinném místě. Po zaokrouhlení dostanu:
V = 3,32 m^3 a tím mám objem vypočtený.

Musím tě pochválit, Všetečko, počínal sis výborně. Do vyřešení celého příkladu ti už chybí udělat jen jeden krok!

21

Stěna ze zlata

Já vím, už mám jenom dosadit do vzorce $m = \rho V$! To bude hned.
m = 2 710 * 3,32 = 8997,199999
Druhý výpočet mě dá hodnotu m = 9024,30000
Co ale teď. Výsledek se liší ve všech číslicích. Ten náš postup se zaokrouhlováním vůbec nefunguje!

Ale funguje! Jen se na to musím podívat z praktického hlediska. V podstatě šlo vždy o to, zjistit rozdíl obou čísel. V našem případě to je 27,100, což zaokrouhleno na jednu platnou cifru dá 30 kg. To je asi nejistota ve výpočtu. Hmotnost cihel tedy je 9000 kg = 9,00 t. Prakticky to znamená, že pro odvoz cihel musíme objednat auto, které uveze 10 t. Bez tohoto výpočtu by to člověka ani nenapadlo, vzal by jistě menší auto.

To by mně zajímalo, kolik desetitunek by na odvoz stačilo, kdyby šlo o stěnu ze zlata?
Moje kalkulačka to snadno vypočte!
V Tabulkách se uvádí, že hustota zlata je ρ = 19 290 kg/m^3 .
Hmotnost zlaté stěny by tedy byla m = 19 290 * 3,32 = 64 043 kg = 64,043 t . Bylo by na to potřeba aspoň 7 desetitunek! To by se asi prolomil strop pod takovou stěnou!

22

Hmotnost vody a vzduchu

Pro praxi je důležité pamatovat si aspoň přibližně hustotu několika látek.
Já si pamatuji: $1 m^3$ železa má hmotnost 8 000 kg
$1 m^3$ vody 1 000 kg
$1 m^3$ vzduchu 1 kg

Já si místo železa budu pamatovat zlato, protože má ze všech látek hustotu největší, $1 m^3$ zlata má hmotnost 19 000 kg = 19t. Voda je jednoduchá, ale překvapuje mne vzduch! Je to možné?

Je to tak, tabulky nelžou a praxe to potvrzuje. Když jdete po ulici, musíte před sebou rozrážet vzduch. Ale zkuste se tak rychle pohybovat v bazénu!

Tak proto se v bazénu rychleji plave, než chodí po dně! Voda má tisíckrát větší hustotu než vzduch, takže je to tisíckrát obtížnější!

Prakticky je to tak, jak říkáš.

23

Objem neznámého tělesa

…sím, já jsem použil hustotu v domácnosti. A maminka mne za to pochválila.

Tak nám vysvětli, co se vlastně stalo, cos to provedl!

To bylo tak. Maminka s tatínkem se nemohli shodnout na tom, jaký objem má ta plastiková láhev od Coca-Coly. Jestli 2 litry nebo 2,5 litru, jak uvádí reklama, že půl litru dostáváme od nich zdarma.
Litrovou odměrku jsme na chatě neměli, ale máme na stěně kuchyňské váhy do 3kg. Pamatoval jsem si totiž, že hmotnost $1 m^3$ vody je 1000 kg, to znamená že hmotnost $1 dm^3$, což je 1 litr, je tedy 1 kg.
Dal jsem na váhu prázdnou láhev, ale ručička se prakticky nepohnula. Pak jsem ji naplnil vodou a váha ukázala hmotnost 2 kg. A bylo to jasné. Láhev měla objem 2 litry, jak tvrdila maminka.

To je vskutku dobrý příklad, jak vážením určit objem tělesa . Já bych k tomu jenom dodal, že prakticky jde jen o použití vzorečku, kde vystupují tři veličiny. Když libovolné dvě z nich známe, nebo změříme, třetí dokážeme už vypočítat.

24

Měření času

Čas je další fyzikální veličina. Neustále plyne, nelze jej zastavit, ani obrátit jeho směr. Jednotkou časového intervalu je ve fyzice 1 sekunda (ve zkratce 1s). V praxi používáme ještě minuty, hodiny, dny, atd..

…sím, čas jde obrátit. Já jsem jednou viděl běžet pozpátku film a byla to velká sranda. Závodník plaval v bazénu dozadu, pak zmizel pod vodou a z vody mu napřed vylezly nohy a nakonec přistál na startovním bloku.

To se neobrátil čas, jen jste si prohlíželi filmové obrázky v obráceném pořadí,než byly ve skutečnosti zaznamenány. Během tohoto promítání ti jistě tvoje hodinky šly normálně dál.

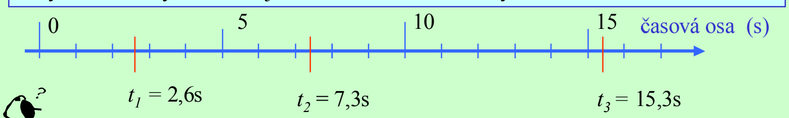
To prosím ano, já jsem si toho dobře všiml.

Čas je nerozlučně spojen s pohybem těles, nebo jejich pohyb s časem, jak chcete. Čas obrátit nejde, ale pohyb tělesa může jít tam i zpět. Musíme si těchto zajímavých vlastností pohybu podrobněji všimnout.

25

Plynutí času

Plynutí času si znázorňujeme na časové ose, např. tak, že tam vyznačíme konec jednotlivých sekund (v dějepise tam kreslíte roky nebo století). Ta nemá ani začátek, ani konec. Na ní si můžeme přehledně vyznačit časové okamžiky (body), ve kterých nastaly události, které sledujeme.Vzdálenost mezi dvěma časovými okamžiky nazýváme časový interval a jeho velikost uvádíme ve fyzice ve sekundách.



Když časová osa nemá začátek ani konec, tak proč začíná nulou?

To je jenom znázornění okamžiku, kdy jsme začali čas měřit. Jeho poloha na velikost časových intervalů nemá vliv, protože se odečte:
Časový interval mezi první a druhou událostí je 7,3s -2,6 = 4,7s.
Mezi třetí a první událostí 15,3s -2,6s = 12,7s.

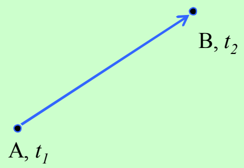
26

Definice posunutí

Každému je asi jasné, co se stalo, když jsem posunul na stole knihu z jednoho místa na druhé. Podívejme se na to ale matematicky přesně:
V časovém okamžiku t_1 byla kniha ještě v bodě A a v časovém okamžiku t_2 byla už v bodě B. Toto časové pořadí je velice důležité.

To je vědy kolem tak jednoduché věci! To nebude mít s praxí asi nic společného!

Buď trochu trpělivý Všetečko!
Vše se zjednoduší, když si posunutí znázorníme geometricky šipkou, která ukazuje, jak plynul čas. Tomuto znázornění se v geometrii říká orientovaná úsečka nebo jednoduše vektor. Tento pojem bude ve fyzice velice důležitý!



Definice

Posunutím z bodu A do bodu B rozumíme orientovanou úsečku (vektor), která směřuje od počátečního bodu do bodu v čase následujícím. Posunutí má velikost (délka úsečky) a směr.

27

Jak se sečítají dvě posunutí.

Na tom není přece nic složitého! Když mám jedno posunutí velikost dva metry a druhé tři metry tak dohromady mají 5 metrů!

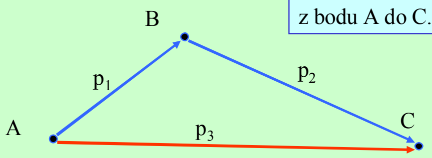
Chyba je v tom, že nejde o sčítání velikostí posunutí, ale o sčítání posunutí. Je ti Všetečko jasné v čem je rozdíl?

Ještě úplně ne. Ale bude to asi v tom, že posunutí má velikost i směr podle definice a já jsem ten směr nevzal v úvahu.

Tvůj postřeh je správný. Ukážeme si to na příkladě. Dejme tomu, že těleso se posunulo z bodu A do B a pak do C. Nakresleme si posunutí, která tomuto pohybu odpovídají.

Posunutí označené p_3 odpovídá výslednému posunutí z bodu A do C. Můžeme tedy napsat

$p_1 + p_2 = p_3$



To je divné!

28

Posunutí není číslo!

Ten obrázek chápu. Konečná poloha knihy byla v bodě C a do této polohy jsem musel knihu posunout dvakrát. Nejdříve jsem udělat posunutí p_1 a pak posunutí p_2. Přitom stačilo udělat posunutí p_3.

Vidím, že obrázek znázorňující součet dvou posunutí jsi pochopil prakticky správně.

No jo, ale v matematice jsme se učili, že pod písmenem, třeba p_1, si můžeme představit libovolné číslo. I ve fyzice jsme toho už využívali. Je to velice praktická věc, protože vzorečky mají obecnou platnost.
Ale co mám dosadit do té vaší rovnice $p_1 + p_2 = p_3$?

Než Ti odpovím, Všetečko, uděláme si pořádek v označování veličin, aby se nám takové veličiny, jako je posunutí (podobným veličinám se v matematice říká vektory) nepletly s těmi, které už známe a jejichž hodnotu vyjádříme jedním číslem. Těmto veličinám říkáme skaláry a patří mezi ně např. hmotnost, poloměr kružnice, čas, atd..

Dohoda

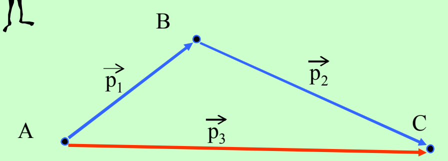
Tak tedy skaláry budeme nadále označovat písmeny (někdy k tomu použijeme i index), ale posunutí a jiné vektorové veličiny, o nichž budeme zanedlouho mluvit, odlišujeme od skalárů tím, že nad písmeno uděláme ještě šipku.

Za veličinu se šipkou nemůžeme dosadit číslo!

29

Veličiny se šipkou

Takže když teď, podle této dohody, mám obrázek znázorňující součet dvou posunutí, pak ta rovnice by měla vypadat takto:



$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_3$$

Ale co za veličiny se šipkou dosazovat, pořád nevím!

Matematici na to vypracovali celou teorii. Říká se jí vektorová algebra, ale tu se učit nebudeme. Tu se učí inženýři na vysoké škole. My se na to podíváme prakticky a pěkně postupně.

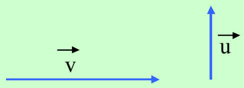
To je dobře, mně se už z toho začíná točit hlava

Nám postačí, když se naučíme, jak vektory sečítat a odčítat, jak zvětšovat nebo zmenšovat jejich velikost a jak rozumět vektorové rovnici. To všechno pěkně názorně, jen geometricky, pomocí našeho posunutí.

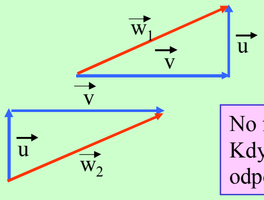
30

Sečítání vektorů

Jak najít součet např. těchto dvou vektorů:



To je jednoduché, protože si to mohu představit jako součet dvou posunutí. Takže graficky to bude vypadat takto:



Ale já vlastně nevím, které posunutí bylo první?

To nevadí, zkus je sečíst v obráceném pořadí!

No fakt, velikost i směr mají oba vektory $\vec{w}$ stejné! Když si to představím jako dvě posunutí knihy, tak to odpovídá i praxi.

Při sčítání vektorů nezáleží na jejich pořadí, podobně jako nezáleží na pořadí při sečítání skalárů:

$$\vec{\mathbf{u}} + \vec{\mathbf{v}} = \vec{\mathbf{v}} + \vec{\mathbf{u}}$$

31

Odčítání vektoru

Matematická pravidla pro sečítání a odčítání vektorů jsou stejná, jako pro skaláry. Podobně je to s rovnicemi. Když máme vektorovou rovnici

$$\vec{u} + \vec{v} = \vec{w}$$

tak tato rovnice se nezmění, když k jejím oběma stranám přičtu stejný vektor, nebo když od obou stran stejný vektor odečtu. Odečteme tedy od obou stran $\vec{v}$ vektor

$$\vec{u} + \vec{v} - \vec{v} = \vec{w} - \vec{v}$$

Dostáváme

$$\vec{u} = \vec{w} - \vec{v}$$

Vidím, že i pro vektory platí $\vec{v} - \vec{v} = 0$ podobně, jako pro skaláry. To je prima, že ta pravidla jsou stejná!

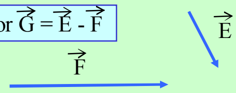
Podívejme se na to prakticky. Když napíšeme před vektor minus, tak změníme pouze jeho směr. Délka zůstává stejná.

To je jasné, to je jako bych posunul tu knihu tam a zpět. To jsem ale zvědavý, jestli to vyjde i geometricky.

32

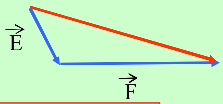
Odčítání vektorů geometricky

Máme vektory $\vec{E}$ a $\vec{F}$ a máme najít geometricky vektor $\vec{G} = \vec{E} - \vec{F}$

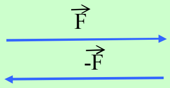


…sím, já už vím, jak na to!
Já to zkusím!

Kdybych ty dva vektory sečítal, tak by to dopadlo tak:

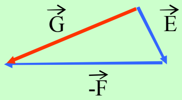


Když mám od $\vec{E}$ odečíst $\vec{F}$, tak nejdříve změním jeho směr a pak postupuji jako při sčítání:



původní směr

obrácený směr



Ten nápad, představit si odčítání jako součet, je tady velice užitečný. Matematicky bychom to napsali takto: $\vec{G} = \vec{E} + (-\vec{F})$

33

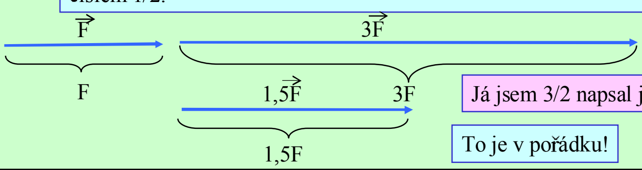
Násobení vektoru skalárem

Když se vynásobí vektor skalárem, dostaneme zase vektor, který má stejný směr, ale nová velikost bude dána součinem původní velikosti a skaláru. Velikost vektoru je prakticky vzato délka oné orientované úsečky, tedy skalár. Budeme tedy velikost vektoru značit stejným písmenkem jako vektor, ale bez šipky.

Teď toto povídání zapíšeme matematicky a pak zase znázorníme geometricky: Násobení vektoru $\vec{u}$ skalárem a zapíše takto: $\vec{w} = a\vec{u}$ .Pro velikosti platí $w = au$.

…sím, jak to znázornit geometricky, já už asi vím. Dejte mi, prosím, příklad, já bych to zkusil.

Tak dobrá, vynásob vektor F nejdříve číslem 3 a pak výsledek vynásob ještě číslem 1/2.



Já jsem 3/2 napsal jako 1,5

To je v pořádku!

34

Operace s vektory

…sím, a jak se vektory násobí mezi sebou? To sčítání a odčítání vektorů, i to násobení číslem, měl bych asi říct skalárem, je jednoduché. Jen se musí dát pozor při geometrickém znázorňování, ale to já si vždycky představím, že jde o posunutí a tím si to prakticky ověřím.

Vektory se mezi sebou mohou násobit hned třemi způsoby, ale my se v naší praxi bez násobení obejdeme. Násobení vektoru vektorem se učit nebudeme.

Sláva!
A jak se vektorem dělí?

Dělit skalár vektorem, ani vektor vektorem vůbec nejde! Takové operace s vektory matematika vůbec nezná!

To jsou divné veličiny, ty vektory.
Jsem zvědav, jestli nám to sčítání, odčítání a násobení skalárem k něčemu bude!

35

Rychlost

To já už znám z praxe. Když jedeme v autě, tak já se dívám na tachometr a zvláště ve vesnici tátu upozorňuji, že jede rychleji než padesátkou.

Tvoje zkušenost z jízdy v autě nám bude užitečná, abychom se o rychlosti dověděli více, než jenom to, co ukazuje tachometr. Ale to si musíme nejdříve rychlost přesně matematicky definovat.

…sím, vypočítat rychlost, to já už umím taky. Tak např. z Brna do Prahy je to po dálnici asi 180 km a my když vyjedeme ráno v osm, tak jsme v Praze v jedenáct hodin. Kalkulačka mě snadno vydělí vzdálenost 180 km třemi hodinami a dostávám výsledek, že jsme jeli rychlostí 60 kilometrů za hodinu.

A to opravdu jste jeli takovou rychlostí celou cestou?

…sím, ne. Na některých úsecích se dálnice opravovala, tam jsme museli jet třicítkou, ale někde jsme jeli i rychleji než stovkou!

Tvoje tvrzení, že jste jeli rychlostí 60 km/hod, nebylo správné. Ve fyzice, stejně jako v matematice, musíme být přesní. Jen díky této matematické metodě objevila fyzika pro praxi tolik užitečných zákonů. Budeme se jí tedy držet!

36

Definice rychlosti

Rychlost je definována vztahem $\vec{v} = \vec{p}\,\frac{1}{t}$

kde $\vec{p}$ je vektor posunutí a t je doba (časový interval), jak dlouho posunování trvalo. Rychlost je tedy vektor, který má stejný směr jako posunutí.
Velikost rychlosti je pak dána známým vzorcem

$$v = \frac{p}{t}$$

To jsem zvědavý, k čemu taková složitá definice bude? Nic zvlášť praktického z toho nekouká.

Než budeme tuto definici používat, uděláme takovou dohodu:
Když budeme mít na mysli rychlost podle naší definice, budeme pro jistotu říkat vektor rychlosti, a když budeme mít na mysli velikost rychlosti, budeme říkat jenom rychlost.

To bude fakt užitečné, já bych se pořád pletl s tím, co už znám.

37

Fyzikální zákony a rychlost

Jak může těleso změnit směr rychlosti a jak velikost rychlosti?

U auta je to, prosím, jednoduché. Čím víc táta otočí volantem, tím více se změní směr jeho jízdy. A čím víc sešlápne pedál plynu, tím rychleji se rozjedeme. To závisí ale také na tom, kolik nás v autě sedí a jak silný je motor. My máme, prosím, Felícii.

Pro řízení auta tyto znalosti asi stačí, ale pro fyziku jsou nedostatečné. Abychom pochopili fyzikální zákony, nebudeme si všímat dějů, do jejichž průběhu zasahuje člověk. Jde nám o to, jak se pohybují tělesa bez zásahu člověka.

Já už vím, co myslíte! Třeba jak se mění rychlost při volném pádu.

To je dobrý příklad. Nebo proč letí puk na ledě stále stejným směrem?

Isaac Newton, anglický učenec, už v 17. století objevil tři zákony, které umí tyto jevy vysvětlit a nejen to, podle nich lze předpovídat dopředu, jak se bude rychlost tělesa měnit během pohybu! Těm se budeme teď věnovat. On je zformuloval dokonce matematicky, takže jsou velmi přesné.

38

Newtonovy pohybové zákony

Newtonovy pohybové zákony jsou tři. a prakticky uvádějí do přesné matematické souvislosti vektor rychlosti a sílu.. Vektor rychlosti jsme si už definovali, ale o síle jsme ještě nemluvili.

Sílu já znám z praxe, to pro mě není nic nového.
Síla se vyskytuje všude, Auto má sílu, pružinu natahuji silou, kdo má větší sílu, zvedne nad hlavu větší závaží. Měl bych asi říct hmotnost, že ?

Zadrž, zadrž! My přece musíme matematicky přesně definovat sílu. Jak se pozná, co lze považovat za sílu a jaké má síla vlastnosti.
Nejdříve si však musíme udělat praktickou představu o tom, jak souvisí vektor rychlosti a trajektorie, kterou vykoná těleso při pohybu.

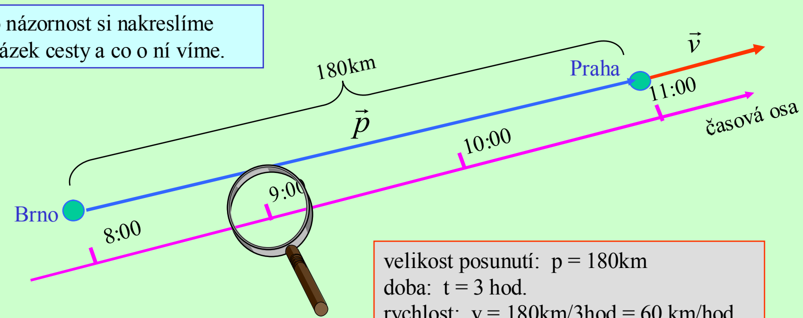
Velice dobře se nám k tomu hodí Všetečkova pozorování při jeho cestě autem z Brna do Prahy, o níž se tady už zmiňoval.

To bude prima, já si na tu cestu dobře pamatuji!

39

Cesta z Brna do Prahy

Pro názornost si nakreslíme obrázek cesty a co o ní víme.



velikost posunutí: p = 180km
doba: t = 3 hod.
rychlost: v = 180km/3hod = 60 km/hod
vektor rychlosti má směr z Brna do Prahy.

…sím, já nevím, jak namalovat vektor rychlosti

Že má směr jako posunutí $\vec{p}$, to víš. No, a pro tento příklad si zvolme, že délka 1cm bude znamenat rychlost 10km/hod. Aby se nám vše vešlo na papír.

Když jsme jeli stovkou, tak by ta šipka byla dlouhá 10cm!

40

Rychlost na objížďce

Jak to bylo na objížďce, Všetečko?

…sím, na objížďce jsme jeli třicítkou. Kolem dálnice jsou po 100 metrech patníky a od jednoho patníku ke druhému nám to trvalo přesně 10 s. Já jsem to stopoval digitálkami.

To je velice důležitá informace. Ta nám umožní vypočítat rychlost na tomto úseku trajektorie a porovnat výpočet s tachometrem.

Podle definice je rychlosti je $v = p/t$ = 100m/10s =10 m/s
V tomto úseku jste jeli rychlostí 10 m/s .

…sím, to se nedá srovnávat s tachometrem, ten ukazuje rychlost v km/hod

Převedeme tedy rychlost na km/hod podle našeho univerzálního postupu:
1 m = 0,001 km a 3600 s = 1 hod a tedy 1 s = 1/3600 hod = 0,0002778 hod..
v = 10 m/s = 10 *0,001km/(1/3600)hod = 10*0,001*3600 km/hod = 10*3.6 /hod=36km/hod

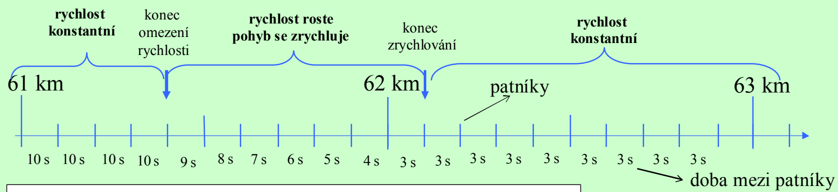
…jů, to jsme vlastně překračovali dovolenou rychlost. Já jsem si všiml, že ručička tachometru byla trochu za třicítkou

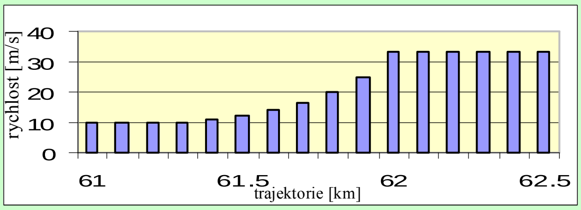
41

Zrychlování

Když objížďka skončila,tak jsme jeli za chvíli stovkou. Přibližně to bylo tak, že úsek mezi patníky jsme ujeli vždy za čas o 1 s kratší, než předešlý. Nakonec nám to trvalo jen 3 s mezi patníky.

Nejdříve si to Všetečkovo pozorování znázorníme:





Ke každému úseku mezi patníky vypočteme rychlost a její velikost znázorníme výškou sloupečku.
Mimo to, vše zapíšeme do tabulky.

33.3 m/s = 33,3*3,6 km/hod = =120 km/hod . To jsme to jeli stodvacítkou!

Zrychlení

[km]	[s]	[m/s]	[m/s]	[m/s²]
61,0	10	10,0	0	0
61,1	10	10,0	0	0
61,2	10	10,0	0	0
61,3	9	11,1	1,1	0,12
61,4	8	12,5	1,4	0,17
61,5	7	14,3	1,8	0,26
61,6	6	16,6	2,3	0,38
61,7	5	20,0	3,4	0,68
61,8	4	25,0	5,0	1,25
61,9	3	33,3	8,3	2,76
62,0	3	33,3	0	0
62,1	3	33,3	0	0
62,2	3	33,3	0	0
62,3	3	33,3	0	0

poloha na trajektorii

čas na projetí úseku 100 m

rychlost na úseku

přírůstek rychlosti

přírůstek rychlosti za sekundu = **zrychlení**

První tři sloupečky této tabulky ještě chápu, ale nač bude ten čtvrtý a pátý

Ty zbývající dva budou hrát významnou roli právě v souvislosti s Newtonovými zákony.
Podle nich změnu rychlosti tělesa může totiž vyvolat jen vnější síla!

Tomu nerozumím, auto jelo rychleji a rychleji jen díky tomu, že táta sešlápl více plyn a tím měl motor větší sílu. Ta síla tedy byla v autě a ne mimo!

Nemáš pravdu! Vaše auto jelo rychleji a rychleji jen díky tomu, že pneumatiky vašeho auta se opíraly o vozovku - neprokluzovaly. Na ledovce by se vaše auto nerozjelo i kdyby byl plyn sešlápnutý naplno!

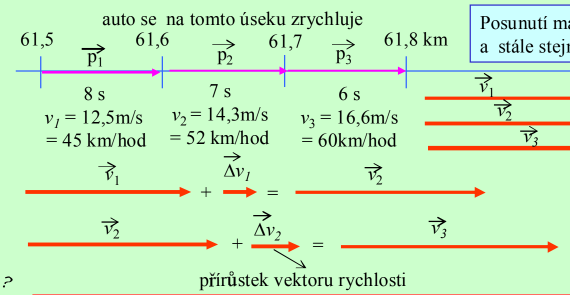
S tou zledovatělou silnicí to chápu, na ledovce se nedá prakticky ani rozjet, ani zastavit!

43

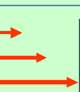
Přímková trajektorie a vektor rychlosti

Vysvětlit pohyb auta je složitější, než jsem si myslel. A což teprve pohyb sedačky na kolotoči, nebo pohyb střely z děla či pohyb Země kolem slunce! To bude zákonů!

Ničeho se neboj! Na vysvětlení pohybu všech těles stačí jen ty tři Newtonovy zákony!
Než se jimi budeme zabývat, věnujme ještě pozornost pozornost změně vektoru rychlosti.
Bude se nám to pak náramně hodit.



Posunutí mají stejnou velikost 100m a stále stejný směr, trajektorie je přímka



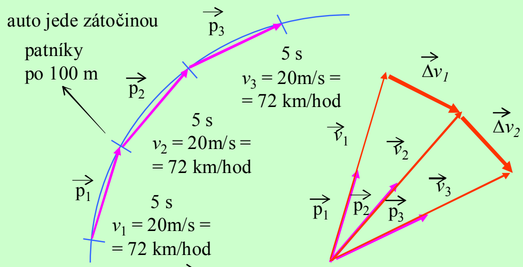
Vektory rychlosti mají směr jako posunutí, ale různou velikost

Přírůstky vektoru rychlosti mají stejný směr jako posunutí.

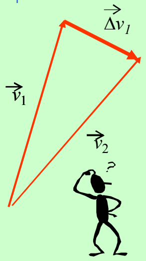
To je jasné. Když je trajektorie přímka, pak všechna posunutí mají stejný směr a tedy i vektory rychlosti mají stejný směr a tím u jejich přírůstky. Nechápu proč to tak podrobně rozebíráme!

44

Trajektorie ve tvaru oblouku



Všimněte si:
1) velikost rychlosti je stále stejná
2) trajektorie má tvar oblouku, proto mají posunutí a tím i vektory rychlosti různý směr.
3) velikost rychlosti je stejná i přes to, že k ní vektorově přičteme přírůstek $\Delta\vec{v}$



U křivočaré trajektorie platí mezi vektory rychlosti stejná vektorová rovnice, jako když trajektorie je přímka:

$$\vec{v}_1 + \Delta\vec{v}_1 = \vec{v}_2$$

To je zajímavé! Pro velikosti rychlostí podobný vztah neplatí. Na přímkové trajektorii rychlost rostla, zde je stejná. Ty vektory mají divné vlastnosti.
Když z obrázku odměřím velikost $\Delta\vec{v}_1$ dostanu 2 cm a tomu podle naší volby měřítka dopovídá přírůstek rychlosti 20 km/hod.

Vektory zjednoduší zápis a pochopení fyzikálních zákonů!

1. Newtonův zákon

To jsem zvědavý na ten vzorec!

Žádný vzorec to není! Vše vyjadřuje tato věta:

1.NZ

Těleso zůstane v klidu, nebo pohybu přímočarém rovnoměrném, dokud není nuceno vnější silou tento stav změnit.

Klid od pohybu poznám, přímočarým pohybem se myslí asi pohyb po přímkové trajektorii, rovnoměrným pohybem se asi myslí to, že se ani nezrychluje, ani nezpomaluje, to znamená že rychlost je stále stejná. Ale jak poznám vnější sílu, to nevím?

To máš pravdu,o silách jsme dosud nemluvili. Pouze z praxe máme o nich jistou představu, ale tato zkušenost pro fyziku nestačí, podobně jako nestačila představa o rychlosti.
Ale podívejme se na konkrétní pohyby těles přes 1.NZ

…sím, to znamená, že na naše auto po 61,3km začala chvíli působit vnější síla, protože jsme jeli stále rychleji a rychleji. Pohyb auta nebyl rovnoměrný, ale přímkový byl.

Výborně, co to bylo za sílu zatím nevíme, ale víme, že musela působit!

To znamená, že když jsme jeli po obloukové trajektorii v zátočině, tak na naše auto musela působit také nějaká síla, protože jsme nejeli po přímce. Rychlost však byla stále 72 km/hod. Kde se ty síly berou? To je pořád záhadné!

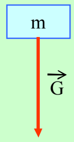
Tíha těles je síla!

Mě se zdá, že jednu sílu znám z praxe naprosto dokonale. To je síla, kterou jsou tělesa přitahována k Zemi. Kdyby tíha těles nebyla síla, pak by podle 1.NZ ani tělesa nepadala! A přitom z praxe bezpečně víme, že padají stále rychleji a rychleji.

Toto je velice důležitý poznatek z praxe. O existenci tíhy tělesa se mohou přesvědčit lidé v Evropě i v Americe! Co o této síle z víme?

Tíha

Tíha tělesa míří svisle dolů a její velikost je úměrná její hmotnosti.
Tíha je tedy vektor a jeho velikost je $G = g*m$,
kde m je hmotnost tělesa, g je síla působící na 1kg hmotnosti. jednotkou síly je 1N (jeden Newton - na památku objevitele).
Na naší Zemi je $g = 9{,}81$ N/kg. Na jiných planetách je tato konstanta jiná. Proč tomu tak je se dozvíme později. Síla je vektor podobně jako posunutí a rychlost.



Zajímavé je ještě to, že se tíhy nemůžeme na Zemi zbavit. Ale kosmonauti v družici tíhu nemají. Tam se jí zbavit umí. Jak je to možné?

To zatím vysvětlit nemůžeme, vždyť jsme jsme ještě neprobrali ani všechny Newtonovy zákony. Neznáme jinou sílu, než tíhu těles. A znát všechny přírodní síly, to je cíl snažení fyziků.

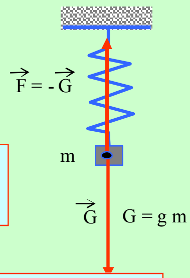
47

3. Newtonův zákon

…sím, ještě jsme neprobrali druhý zákon

Pořadí zákonů není důležité, to si vymysleli lidé!
3. Newtonův zákon zní takto:

3. NZ Proti každé síle působí stejně velká síla opačného směru.



Třetí Newtonův zákon slouží k poznávání vlastností dosud neznámých sil. Představme si těleso o hmotnosti m zavěšené na pružině. Nepohybuje se, je v klidu. Působí na něj nějaká síla?

…sím, působí na něj tíha $\vec{G}$

Správně, ale těleso se nepohybuje. To znamená podle 1.NZ, že na ně žádná vnější síla nepůsobí.

To je chytře vymyšleno. Já bych z praxe řekl, že se nepohybuje proto, že je zavěšeno na pružině. Ale 3.NZ mne vede k tomu, že na těleso působí ještě jedna síla, stejně velká, ale opačného směru a v takovém případě je jejich součet nulový. Obě síly se vyruší! To znamená, že těleso se chová tak, jako by na ně žádná vnější síla nepůsobila. Je v klidu.

Ta úvaha je naprosto správná! Ta opačná síla, která na těleso ještě působí vzniká v pružině a říkáme jí síla pružnosti. Tíha i síla pružnosti jsou vnější síly, ale jejich součet je nula. Těleso se chová tak, jako by na něj žádná vnější síla nepůsobila.

48

Síla pružnosti

Tíha tělesa je úměrná hmotnosti tělesa, kdežto síla pružnosti je úměrná prodloužení pružiny.

Zákon síly pružnosti

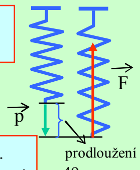
Velikost síly pružnosti je dána vztahem: $F = k\,p$, kde p je prodloužení pružiny měřené v metrech a k je konstanta (někdy se jí říká tuhost), která má pro různé pružiny různé hodnoty a udává se v jednotkách N/m.

To já z praxe znám. Na nějakou pružinu když zavěsím závaží 1 kg, tak se prodlouží třeba o 10 cm. Některá je ale tak silná, že se prodlouží třeba jen o 1 mm.

Podle toho, cos řekl, má první pružina tuhost k_1 = 100 N/m a druhá k_2 = 10 000 N/m. Když podobným způsobem zjistíme tuhost pružiny, tak taková pružina má už velký praktický význam. Říkáme jí siloměr, protože podle jejího prodloužení můžeme pak vypočítat velikost pružné síly.

Já jsem, prosím, takové siloměry viděl na tržišti a ve sběrných surovinách. Místo prodloužení tam ale měli napsáno, jaká je hmotnost balíku, který na něj obsluha zavěsila..

Směr síly pružnosti je opačný, než je směr prodloužení.To je důležité mít na paměti. Ještě se k tomu vrátíme až se budeme zabývat výslednicí několika sil.



Mě vrtá hlavou ještě takový případ. Když leží tužka na stole, tak neustále na ni působí tíha. Ale proč je tedy v klidu? Tam žádná pružina není!

Ale pružná je i deska stolu, jenže má velkou tuhost, a proto ani prohnutí nevidíme. Pohovka má tuhost menší než deska stolu. Pod mouchou se neprohne, pod tebou ano!

49

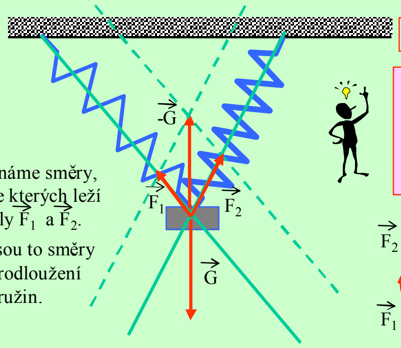
Skládání a rozklad sil

Nevím, proč najednou mluvíme o skládání sil a ne o sečítání nebo odčítání.

Velmi správně! Nejde o nic jiného. Na obhajobu nadpisu bych uvedl, že se těchto pojmů v různých knihách užívá. Proto je dobré o jejich významu vědět..

Já si skládání dvou nebo i více vektorů představuji tak, jako by šlo o jednotlivá posunutí a mým úkolem je najít výsledné posunutí, to je spojit počátek prvního o konec posledního.

Příklad: Jakými silami jsou napínány pružiny?



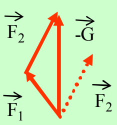
Známe směry, ve kterých leží síly $\vec{F}_1$ a $\vec{F}_2$.

Jsou to směry prodloužení pružin.

Těleso je v klidu, a proto výslednice všech sil musí být nulová. Na těleso působí tři síly:

1) Tíha G a dvě pružné síly F_1 a F_2 .
2) Vektorový součet součet sil F_1 a F_2 musí být roven -G, aby výslednice byla nulová.

$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{G} = 0$



Rozklad síly do daných směrů nám bude často pomáhat při řešení různých problémů.

50

2. Newtonův zákon

2.NZ

Druhý Newtonův zákon napíšeme ve tvaru matematického vzorce. Přesněji řečeno ve tvaru vektorové rovnice

$$\vec{\Delta v} = \vec{F}\,\frac{\Delta t}{m}$$

kde $\vec{\Delta v}$ je přírůstek vektoru rychlosti za dobu Δt, m je hmotnost pohybujícího se tělesa a $\vec{F}$ je výslednice všech vnějších sil.

To znamená, že přírůstek vektoru rychlosti má stejný směr jako vnější síla!

Ano, to je velice důležitý závěr z tohoto vzorce. Když si budeme toto pamatovat, můžeme stejnou rovnici napsat pro velikost vektorů

$$\Delta v = F\,\frac{\Delta t}{m}$$

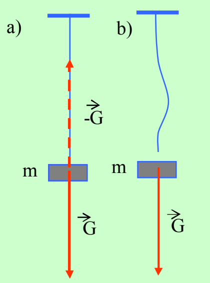
To já si pamatovat budu!

Je důležité si ještě uvědomit, že v této rovnici nikde nevystupuje ani vektor rychlosti tělesa, ani její velikost. Podle ní můžeme vždy vypočítat jen přírůstek rychlosti, uvědomit si směr přírůstku a ten pak vektorově připočítat k rychlosti tělesa.

Já bych to lépe pochopil na nějakém příkladu z praxe.

51

Volný pád tělesa



a) Těleso o hmotnosti m zavěšené na niti se nepohybuje, protože výslednice vnějších sil je nulová.

b) Po přestřihnutí nitě přestane působit síla pružnosti nitě a výslednice vnějších sil je tíha $\vec{G}$. V okamžiku přestřižení je jeho rychlost nulová.

Protože známe hmotnost tělesa a vnější sílu, můžeme podle 2.NZ předpovědět, jaká bude jeho rychlost např. na konci 3 sekundy jeho pádu.

To předpovídání se mi líbí.

Vyjdeme ze vzorce 2. NZ: $\Delta v = F\,\frac{\Delta t}{m}$ a dosadíme za sílu F výraz pro tíhu G = m g. Dostaneme

$$\Delta v = mg\,\frac{\Delta t}{m} = g\Delta t$$

Dále víme, že g = 10 N/kg a Δt = 3 s. Dostáváme tedy Δv = 10*3 = 30 m/s

To znamená, že rychlost tělesa se zvětšila o 30 m/s. Protože žádnou rychlost těleso na začátku pádu nemělo, tak jeho výsledná rychlost je teď 30 m/s a vektor rychlosti míří dolů!

A jakou rychlost by mělo těleso za další 3 s ?

… sím, to je jasné. Přírůstek bude zase 30, takže celková rychlost bude 30 + 30 = 60 m/s.

52

Rychlost pádu všech těles je stejná

Já jsem si ve vašem výpočtu přírůstku rychlosti všiml, že přírůstek rychlosti při při volném pádu nezávisí na hmotnosti tělesa. Jako by list papíru padal stejně rychle po 3 s jako třeba dlažební kostka. To je přece v rozporu s praxí!

To máš pravdu! V rozporu s praxí však není 2.NZ, ale naše minulá úvaha. My jsme totiž nevzali do úvahy všechny vnější síly, které na těleso působí!

Ale o žádných jiných silách než o tíze a síle pružnosti jsme dosud nemluvili.

Zatím známe jen dva zákony sil. Postupně se seznámíme s dalšími. Jedna síla nám však bude v praxi výpočty a experimenty v mechanice komplikovat. To je síla tření a odpor prostředí.

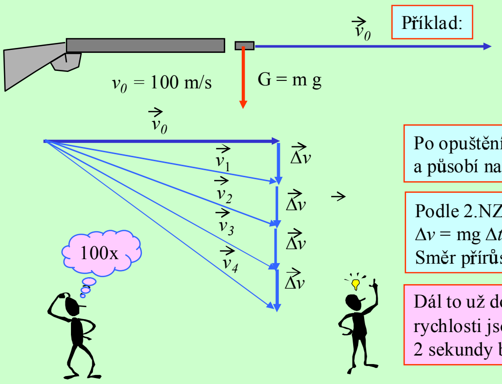
A my jsme tuto sílu nepřipočítali k tíze. Takže náš výpočet rychlosti pádu tělesa platí jen pro případ, kdy nepůsobí odpor prostředí. Tato síla, kterou jsme nevzali v úvahu tedy odpovídá za to, že papír padá pomaleji než dlažební kostka.

Ano přesně tak. Ve vzduchoprázdnu, říká se ve vakuu, by obě tělesa, jak papír, tak dlažební kostka, padala stejně rychle.

To bych chtěl někdy vidět!

53

Výstřel z pušky ve vodorovném směru



Příklad:

Nyní pomocí 2.NZ předpovíme, jak se bude měnit velikost i směr rychlosti střely po každé sekundě. Pro grafické znázornění si zvolíme, že 10 m/s odpovídá 1 cm.

Po opuštění hlavně má střela rychlost v_0 = 100 m/s a působí na ni jen tíha. Odpor prostředí zanedbáme.

Podle 2.NZ vypočteme přírůstek rychlosti za Δt = 1 s
Δv = mg Δt/m = g Δt = 10 * 1 = 10 m/s
Směr přírůstku je stejný jako tíže. $\vec{v}_1 = \vec{v}_0 + \vec{\Delta v}$

Dál to už dokážu předpovídat sám. Přírůstky rychlosti jsou pořád stejné. Takže rychlost na konci 2 sekundy bude zase o vektor $\vec{\Delta v}$ větší $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{\Delta v}$

Jak se dívám na ten obrázek vektorového sečítání, tak se mi z toho točí hlava! To znamená 100 krát opakovat sečítání, když budu chtít znát rychlost po 100 s ?

Ano, to se musí 100x opakovat! Nezapomeň, že dnešní počítače takový jednoduchý výpočet provedou prakticky okamžitě.

54

Trajektorie střely

To pořád mluvíme jen o rychlosti, ale mne by zajímalo, jaká bude trajektorie střely?

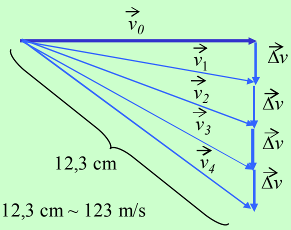
Tak to si vzpomeň na definici rychlosti: $v = p / t$. Když tuto rovnici vynásobíme t dostaneme vzorec pro výpočet velikosti posunutí. Přitom zase víme, že směr posunutí je stejný jako smět rychlosti. $p = v\,t$

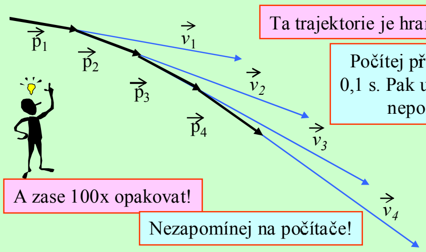
To bych ale velikost vektoru rychlosti musel vždy odměřit z našeho obrázku.

Proč ne, to je praktické řešení. Je třeba jen přesně rýsovat vektory rychlosti.

Jenže, jak to posunutí kreslit, posunutí za první vteřinu je $p_1 = v_1 * 1\text{ s} = 101 * 1 = 101\text{ m}$

V tomto případě zvol pro kreslení posunutí takové měřítko, že 100m odpovídá 1cm





Ta trajektorie je hranatá

Počítej přírůstky po 0,1 s. Pak už hranatost nepoznáš!

A zase 100x opakovat!

Nezapomínej na počítače!

55

Univerzální metoda výpočtu

A skutečně se tak dá vypočítat rychlost a trajektorie každého tělesa? Třeba i Měsíce nebo družice?

Ano, jde o univerzální metodu! Ve fyzice často používanou i v jiných oborech. Jediná potíž spočívá v tom, abychom znali všechny síly, které na těleso působí a znali jeho rychlost v nějakém okamžiku, od něhož pak měříme čas. Je zde jedno důležité pravidlo: naše předpověď bude tím přesnější, čím menší časové intervaly pro výpočet zvolíme. Počítačům to nevadí!

Nejhorší je asi odpor prostředí. Z praxe vím, ten závisí i velikosti a tvaru střely. Teď už střely nemají tvar koule jako ve středověku a proto také doletí dál. Taky auta mají tvar karoserie takový, aby byl malý odpor vzduchu. Dříve měli auta tvar jako koňský kočár!

Síly odporu prostředí a síla tření dělají opravdu největší potíže.

Nechápu potom, jak mohl Newton na ty své zákony přijít, když v praxi se tření nemůžeme zbavit!

Jak na ně přišel, to nevíme. Velkou úlohu však při ověřování sehrály planety a měsíc. Ty se pohybují ve vzduchoprázdnu a tak tam tření odpadá. V té době už astronomové věděli, že planety se pohybují kolem Slunce, věděli za jakou dobu je oběhnou jednou dokola a že se pohybují přibližně po kružnicích. Nikdo ale nevěděl, proč to tak je. Domnívali se, že to tak zařídil Bůh.

A Newton ty trajektorie podle svých zákonů vypočítal ?

Ano! Tak ukázal, že pohyb nebeských těles se řídí stejnými zákony jako třeba volný pád nebo střela z pušky na Zemi. Objevil přitom ještě tak zvaný gravitační zákon. Ale o tom až později.

56

Auto a síly v zátočině

…sím, já bych se chtěl zeptat, jestli z druhého Newtonova zákona se dá taky vypočítat velikost síly?

Samozřejmě! Z každého fyzikálního vzorce mohu vypočítat libovolnou veličinu, která v něm vystupuje. Musím ale znát hodnoty zbývajících veličin.

To je prima! Mne by totiž zajímalo, jak velká byla ta síla, která působila na naše auto při průjezdu zatáčkou a kde se vzala ?

To je jednoduché. Vždyť my jsme už dříve vypočítali přírůstek rychlosti auta při průjezdu zátočinou .

…sím, ano. Bylo to 20 km/hod = 20/3,6 m/s = 5,6 m/s a směr byl kolmo na vektor rychlosti auta.

Pro neznámou sílu dostaneme z 2.NZ vztah $F = \Delta v\, m / \Delta t$. Hmotnost vašeho auta i s pasažéry odhaduji na 900 kg. Dosadíme tedy a dostaneme $F = 5{,}6 * 900 / 5 = 1000$ N.

Když 1 kg má tíhu 10 N, tak tam na nás působila síla, která se rovnala tíze 100 kg. To je neuvěřitelné! A tato síla měla směr dovnitř zátočiny! Kde se vzala? Volant se přece otáčí lehce.

Zeptám se tě. Bylo by možné tu zátočinu tak projet, kdyby bylo náledí?

To určitě ne! To by nás to vyneslo ze zátočiny ven! Takže je to zase tření mezi pneumatikou a vozovkou!

Kdyby tření nebylo, tak byste se pohybovali podle 1.NZ přímočaře, to je ven ze zátočiny!

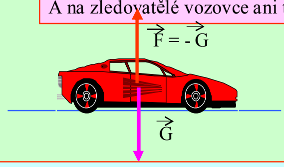
57

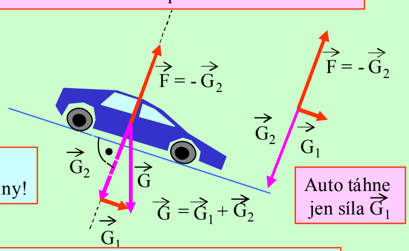
Auto a Newtonovy zákony

Mě se to pořád nějak nezdá, že by se auto na náledí pohybovalo podle 1.NZ. Vždyť na něj působí stále vnější síla a to jeho tíha!

V 1. a 2. Newtonově zákoně se mluví o **výslednici všech vnějších sil**. To slůvko **výslednice** je velice důležité. Proti tíze auta působí stejně velká síla pružnosti vozovky. Součet těchto dvou sil je vždy nulový.

S tím bych nesouhlasil! Když auto zastaví na cestě s kopce, tak se musí dobře zabrzdit! A na zledovatělé vozovce ani to nepomůže a klouže dolů. To z praxe znám.





Auto táhne jen síla $\vec{G}_1$

Pružná síla vozovky působí jen kolmo na povrch. To je vlastnost této síly. Vzpomeň na působení pružiny!

Jaksi se to komplikuje, ale souhlasí to s praxí.

Na šikmé vozovce musíme proto tíhu $\vec{G}$ rozložit do dvou směrů: do směru kolmého k vozovce $\vec{G}_2$ a rovnoběžného s vozovkou $\vec{G}_1$. Vozovka pak reaguje jen na sílu $\vec{G}_2$. Výsledná vnější síla je pak dána vektorovým součtem tří sil: $\vec{G}_1 + \vec{G}_2 + \vec{F} = \vec{G}_1 + \vec{G}_2 + (-\vec{G}_2) = \vec{G}_1$

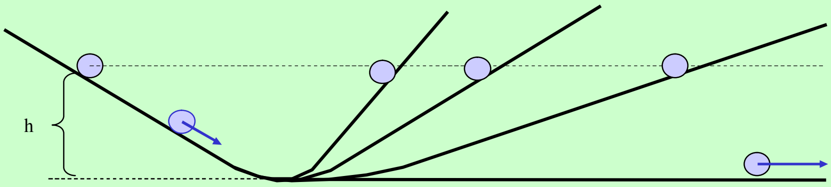
58

Objev 1. Newtonova zákona

Na první Newtonův zákon vlastně přišel Galileo. To byl první velký experimentátor. Dělal pokusy s volným pádem a s pohybem těles na nakloněné rovině.

O tom jsem slyšel, že pouštěl předměty ze šikmé věže v městě Pise. Chtěl vědět jak rychle padají.

Na základě mnoha experimentů dovedl rozpoznat, jaký vliv má na pád těles odpor prostření a tak mohl dobře odhadnou, co by se dělo, kdyby odpor prostředí vůbec nebyl.



Galileo pouštěl koule z jedné nakloněné roviny na druhou. Všiml si, že koule se vždy dokutálela do stejné výšky, bez ohledu na náklon druhé roviny, ale ve směru vodorovném to bylo vždy dál a dál.

Jo, už rozumím. Když místo druhé nakloněné roviny byla už jen vodorovná rovina, tak by se vlastně koule nikdy nezastavila. Samozřejmě, kdyby nebylo tření. Pohybovala by se stále stejnou rychlostí po vodorovné přímce.

59

Síla tření

Mě nejsou stále jasné ty síly působící na těleso na nakloněné rovině.
Z praxe víme, že tíha míří svisle dolů, pružná síla ve směru obráceném než je prodloužení, ale proč síla pružnosti podložky míří vždy ve směru kolmém na podložku?

Ono to stlačení podložky není prakticky vidět, ale vždy existuje. A síla pružnosti má opačný směr než stlačení nebo prodloužení. Představ si, že stojíš na trampolíně. Ta se hodně prohne.

Na trampolíně si směr síly pružnosti dovedu jasně představit. Ale už mnohokrát jsme mluvili o tření, nebo odporu prostředí, ale žádný vzoreček jsme si neuvedli.

Síla tření je dvojí: Mluvíme jednak o **smykovém tření**, jednak o **valivém tření**. My si zatím všimneme jen smykového tření. Dokud se těleso nepohybuje mluvíme o přilnavosti (adhezi) teprve až se dá do pohybu mluvíme o smykovém tření. Přilnavost je vždy větší než smykové tření.

Síla smykového tření

Síla smykového tření je dána vztahem $F_t = f N$, kde f je koeficient smykového tření, který najdeme v tabulkách pro různé dvojice matriálů, které se po sobě třou a N je síla kolmá na třecí plochu. Tou silou jsou třecí plochy k sobě přitlačovány. Síla tření má opačný směr než rychlost a její působiště je mezi třecími plochami.

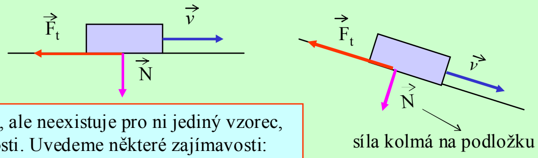
To jsem netušit, že pro sílu tření platí tak jednoduchý vzorec!

60

Vlastnosti síly tření

Proč najednou mluvíme o působišti síly tření. Doposud jsme si všímali jen jejich velikosti směru..

Přesněji si to vysvětlíme až později, až budeme mluvit rovnováze těles. Jak víme z praxe tělesa se nejen posunují, ale také otáčejí. Newtonovy zákony platí i pro otáčivý pohyb, ale je to trochu složitější. Zatím si toho nevšímejme.



Síla tření je v praxi velice důležitá, ale neexistuje pro ni jediný vzorec, který by postihl přesně její vlastnosti. Uvedeme některé zajímavosti:

1) nezávisí na obsahu styčné plochy ani na rychlosti
2) koeficient tření závisí na materiálech obou styčných ploch a na jejich drsnosti.

Co je příčinou tření?

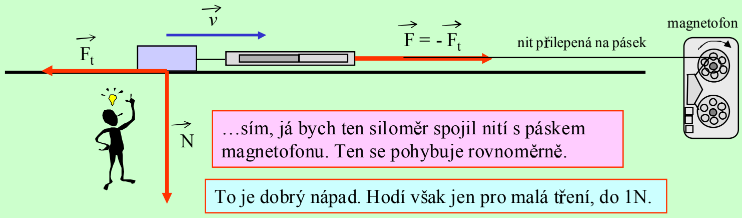
Příčinou vzniku tření je existence mezimolekulárních sil, to je sil, které drží tělesa pohromadě. V některých bodech dotyku se molekuly obou těles tak přiblíží, tam vznikne chemická vazba. Když se mezi plochy dá např. olej, pak se molekuly těles k sobě dostatečně nepřiblíží chemická vazba nevznikne a tření určuje především olej a drsnost povrchů.

61

Jak změřit sílu tření?

K měření vlastností libovolných sil se využívá 3. a 1. NZ podobně jako u měření síly pružnosti.

Na příklad: Přes siloměr táhneme vnější silou těleso rovnoměrnou rychlostí po podložce. Pokud se těleso pohybuje rovnoměrně po přímce, výslednice vnějších sil je nulová a siloměr ukazuje velikost síly tření.



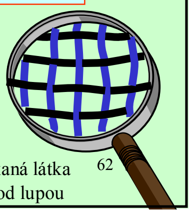
…sím, já bych ten siloměr spojil nití s páskem magnetofonu. Ten se pohybuje rovnoměrně.

To je dobrý nápad. Hodí však jen pro malá tření, do 1N.

Kdyby tření nebylo, to by bylo prima. Vše by bylo jednodušší!

To je velký omyl Všetečko! Auta by se nerozjela, ta která jsou zaparkována na svahu by se dala do pohybu, ty by ses nemohl hnout z místa, dokonce i většina tkaných látek drží pohromadě jen třením. Ty by se rozpadly na hromádku nití. Všechny šrouby a matice by se povolily!

Takže vlastně by nastal nepředstavitelný zmatek!



tkaná látka pod lupou

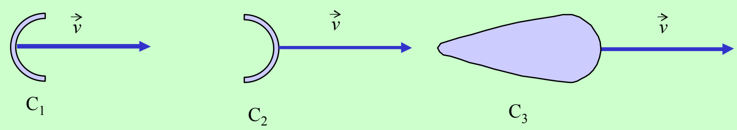
62

Síla odporu prostředí

Kromě síly tření působí proti pohybu ještě síla odporu prostředí.

Síla odporu prostředí

Pro sílu odporu prostředí platí vztah $F_p = C\,S\,\rho\,v^2$, kde v je rychlost tělesa, ρ je hustota prostředí v němž se těleso pohybuje, S obsah jeho průřezu a C je koeficient, který souvisí s profilem tělesa.



Mezi koeficienty těchto profilů těles platí nerovnost: $C_1 > C_2 > C_3$. Jsou to bezrozměrné veličiny. Průřez S se dosazuje v m^2, hustota ρ v kg/m^3, rychlost v m/s a síla vyjde v N.

O tom že odpor prostředí závisí na hustotě jsme už mluvili. To těleso vlastně musí před sebou rozhrnovat vzduch, nebo vodu (ta má tisíckrát větší hustotu než vzduch).

Nejde jen o to rozhrnování prostředí, ale také o to, že prostředí se začne pohybovat, vířit a podobně. No a to víření způsobuje právě důsledek odporu prostředí. Tělesa, která mají aerodynamický tvar, způsobují nejmenší víření.

63

Silové pole

Některé síly působí na těleso na dálku, tak se chová například tíha. Jiné síly působí na těleso jen při dotyku. Mezi takové síly patří síla pružnosti, odpor prostředí, síla tření a jiné síly o nichž budeme ještě mluvit.

…sím, já ještě znám magnetickou sílu, která působí na dálku, ale jen na železné předměty.

O takových silách, které působí na dálku, říkáme, že kolem sebe vytvářejí silové pole. To se popisuje intenzitou pole. Pro gravitační pole Zeměkoule je síla působící na jeden kilogram. Na všech místech směřuje intenzita do středu Země. Protože je Zeměkoule tak velká, zdá se nám, že v našem okolí jsou všechny svislice rovnoběžné a tíha nezávisí na tom, jak vysoko je těleso. Přitažlivost tělesa k Zemi, tedy intenzita gravitačního pole však klesá, když se těleso od Země vzdaluje. Abychom to prakticky poznali, museli bychom se vzdálit aspoň o několik stovek kilometrů od povrchu. Přesně to vyjadřuje zákon gravitačních sil.

Ale magnetická síla klesá mnohem rychleji se vzdáleností.

Tak jednoduše se obě pole srovnávat nedají. Ale o tom budeme mluvit až později. Nám zatím stačí, že intenzita gravitačního pole při povrchu Země je asi 10 N/kg.

Ty molekulární síly jsou ještě záhadnější. Jejich intenzita klesá ještě rychleji než u magnetického pole.

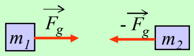
Dá se to tak přibližně říci. Musíme mít na paměti taky to, jak jsou molekuly malé ve srovnání s tvým magnetem i zeměkoulí.

64

Gravitační síla

Mezi další velké Newtonovy objevy patří nalezení přesného matematického tvaru zákona gravitačních sil. Je to nejpřesnější matematické vyjádření zákona sil, jaký známe.

Gravitační zákon



Dvě tělesa jsou k sobě přitahována silou, která je dána vztahem

$$F_g = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

kde m_1 a m_2 jsou hmotnosti obou těles (dosazuje se v kg), r jejich vzdálenost (v metrech) a $\kappa = 6{,}67 * 10^{-11}$ Nm^2/kg^2 je gravitační konstanta.

A to s k sobě opravdu přitahují všechna tělesa, třeba i já a můj soused Jarda?

Ano, i vy dva se přitahujete k sobě, ovšem tak malou silou, že se nedá ani prakticky změřit Ale můžeme ji vypočítat, když dosadíme do uvedeného vztahu ($m_1 = m_2 = 60$ kg,, $r = 1$ m) F_g $6{,}67*10^{-11}$ $*60$ $*60$ $/1^2 = 2{,}4$ $*10^{-7}$ N, což je přibližně tíha 10 zrníček písku o velikosti 0,1 x 0,1 x 0,1mm^3.

A to se opravdu všechna tělesa jen přitahují, žádná se neodpuzují? U magnetů ale je to jinak, tam se některé póly přitahují, jiné odpuzují. To jsem si vyzkoušel.

Gravitační síla je skutečně jen přitažlivá. To je velká záhada přírody. Podle tohoto zákona se řídí pohyb planet a vlastně pohyb celého vesmíru!

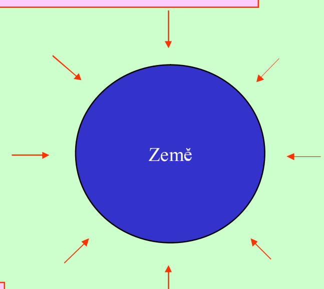
65

Intenzita gravitačního pole na Zemi

…sím, já bych chtěl vypočítat, jakou silou je přitahováno těleso o hmotnosti 1 kg k naší Zemi. To by vlastně mělo vyjít, že je to přibližně 10 N, že?

Ano, přesně tak. Hmotnost Země i její poloměr najdeme v Tabulkách. Poloměr proto, že my žijeme na jejím povrchu a Země má tvar koule.

To já znám, já jsem viděl fotografii Země, kterou pořídili kosmonauti, když se vraceli z Měsíce. Na snímku se jevila jako modrá koule.



Síla přitažlivosti míří do středu Země

Tak tedy vezmi kalkulačku a dosazuj:
$m_1 = m_z = 5{,}98 *10^{24}$ kg, r = 6 378 km = 6, 378 $*10^6$ m.
To je $F_g = 6{,}67 *10^{-11}$ $5{,}98*10^{24} * 1 / (6{,}378*10^6)^2 = 9{,}83$ N

To je fuška dosazovat taková čísla do kalkulačky. Já v tom mám zatím malou praxi. Musel jsem to počítat třikrát, než jsem si byl jistý výsledkem. Ale vychází to!

Výsledek je opravdu zajímavý. I z gravitačního zákona vychází, že 1 kg je přitahován k Zemi silou asi 10 N. Z porovnání dvou vzorců pro sílu přitažlivosti tělesa o hmotnosti m k Zemi, dostaneme pro intenzitu gravitačního pole na Zemi výraz $g = \kappa\, m_z / r^2$.

66

Auto v zátočině

To jem rád, že se i tomu praktickému příkladu vracíme. Mě se takové příklady z praxe líbí.

Teď, když už známe sílu smykového tření a 2.NZ, můžeme se pokusit odpovědět na otázku, jakou největší rychlostí byste mohli projet tou zátočinou. Koeficient smykového tření mezi pneumatikami a vozovkou bývá 0,3 až 0,6 . Mezi pneumatikami a vozovku nesmí dojít ke smyku, to je k prokluzování. Přilnavost (koeficient asi 1,0) je větší než síla smykového tření.

Přilnavost je větší než smykové tření, ale to tak bereme pro jistotu. My jsme už vypočítali, že přírůstek vektoru rychlosti byl 5,5 m/s o podle .NZ nás táhla do středu zátočiny síla 1000 N.

Teď vypočítáme sílu smykového tření mezi pneumatikou a vozovkou. Podle vztahu platí:
F_t = k N = k g m = 0,3 * 10*900 = 2700 N
Za koeficient tření jsme dosadili pro jistotu tu menší hodnotu, protože silně závisí na stavu vozovky, jestli je suchá nebo mokrá a na stavu pneumatik.

Ten výpočet potvrzuje, že jsme mohli jet ještě rychleji a přitom by auto nedostalo smyk. Jinak řečeno, auto jelo ještě tam, kam volant natočil přední kola. Mě by zajímalo, jestli by se dalo předpovědět, že se vybouráme, když bychom tu zátočinu projeli dvojnásobnou rychlostí.

To znamená, že usek 100 m mezi patníky byste projeli za 2,5 s, přírůstek rychlosti by byl 2*5,6 m/s = 11,2 m/s. Síla, která takové zakřivení dráhy způsobila je podle .NZ rovna
F = $\Delta v\, m/\Delta t$ = 11,2 m/s *900/2,5 =4032 N. Síla smykového tření je menší. Havarovali byste!

To by záviselo na stavu vozovky a přilnavosti pneumatik. Kdybychom pro výpočet vzali větší koeficient tření, třeba 0,5, tak by to mohlo dopadnout dobře.

67

Auto se zrychluje

Když známe koeficient smykového tření pro auto, můžeme zjistit, jestli jste se mohli tak rychle rozjet z rychlosti 30 km/hod na 120 km/hod, jak Všetečka uváděl.

To jsem zvědavý, co se dá fyzikou zjistit!

Musíme se vrátit k naší tabulce, která udávala přírůstky rychlosti na každém 100 m úseku.

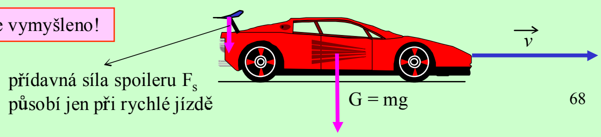
…sím, největší přírůstek rychlosti byl 8,3 m/s za dobu 3 s.

Tak zase dosadíme do 2.NZ a vypočítáme silu potřebnou k tomu, aby se auto tak zrychlovalo.
F = $\Delta v\, m/\Delta t$ = 8,3 * 900/3 = 2490 N
Opravdu, auto se tak mohlo zrychlovat, protože pneumatiky ještě nemohly prokluzovat. Maximální přilnavost pneumatik je 2700 N a ta překročena nebyla.

To je zajímavé, co ta fyzika dovede zjistit! Proč, ale závodní auta požívají spoilery?

Do výpočtu maximální přilnavosti, to je síly tření, i do 2.NZ jsme dosazovali hmotnost auta i s pasažéry. Zvyšovat sílu tření zvyšováním hmotnosti tedy nikam nevede. Spoiler ale funguje tak, že auto přitlačí k vozovce a tím se zvýší síla tření (maximální přilnavost). N = G + F_s

To je chytře vymyšleno!



68

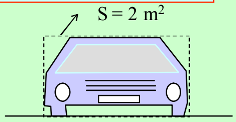
Auto a odpor prostředí

Ještě nerozumím tomu, jak ovlivňuje rychlost auta odpor prostředí.

Chceme-li si o tom udělat představu, je třeba vyjít z matematického vzorce. To je nejlepší. $F_o = CS\rho v^2$. Moderní osobní auta mají už aerodynamický tvar a konstanta C = 0,15 .

hustota vzduchu $\rho = 1 kg/m^3$

$F_o = 0{,}15*2*1*10^2 = 30$



rychlost m/s	rychlost km/hod	odporová síla N
10	36	30
20	72	120
40	144	480

Když se rychlost zdvojnásobila, tak odporová síla vzrostla 4x! Proto mají rychlá auta ten aerodynamický tvar. U traktoru, který jezdí maximálně třicítkou, nehraje tvar karoserie žádnou roli.

Cyklista jedoucí na kole rychlostí 36 km/hod musí stále překonávat odporovou sílu 50 N (C = 0,5 , S = 1 m², ρ = 1kg/m³ , v = 10 m/s)

Když se na kole při rychlé jízdě přikrčím, tak vlastně zmenším průřez S. Závodníci mají i speciální přilby aerodynamického tvaru a tím zmenšují koeficient C.

Když auto jede rovnoměrně, tak motor auta musí překonávat odpor prostředí, sílu valivého tření a sílu tření rychlostní skříně, ložisek kol a podobně.

69

Pohyb rakety

Ty Newtonovy zákony jsou opravdu dobrá pomůcka pro vysvětlení pohybů různých těles, když na ně působí vnější síla. Ale na rakety ve vesmíru žádná síla nepůsobí a ony se mohou zrychlovat nebo i zpomalovat. To přece odporuje 2.NZ. Změnu (přírůstek) vektoru rychlosti může způsobit jen vnější síla.

Na první pohled to odporuje a je proto třeba to vysvětlit. 2.NZ platí za předpokladu, že se nemění hmotnost tělesa během pohybu. A pro raketu to neplatí .

…sím to já znám. Raketa to spálené palivo velkou rychlostí vyhazuje z rakety ven, za sebe.

Když na těleso (nebo na skupinu těles) nepůsobí žádná vnější síla, tak za této situace platí, že **součin vektoru rychlosti a hmotnosti je stále konstantní**, v každém časovém okamžiku. Tomuto součinu se říká **hybnost tělesa** a tomuto zákonu zákon zachování hybnosti. Je to velice důležitý zákon fyziky, ale tím se zabývají až pokročilejší studia.

Ty zajímavé důsledky **zákona zachování hybnosti** plynou z toho, že hybnost je vektorová veličina. Uvedu příklad s lodí. Sedíš na loďce na rybníku a loďka je v klidu. Součin $m\vec{v} = 0$. Ted co největší rychlostí $\vec{v}_1$ vyhodíš veslo o hmotnosti m_1. Platí stále $0 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$

$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = 0$

$\vec{v}_1$ $\vec{v}_2$

$m_1 < m_2$

loďka bez vesla se teď pohybuje rychlostí $\vec{v}_2$

To je podobné jako u rakety

70

Kinetická energie tělesa

S pohybem tělesa je spojena ještě jedna důležitá fyzikální veličina a to kinetická energie.

Pojem energie já znám, kdo má moc energie , udělá hodně práce.

S tou prací to souvisí. Matematicky je definována takto:

Kinetická energie

Kinetická energie $E_k = mv^2/2$, kde m hmotnost tělesa (dosazujeme v kg), v je rychlost (m/s) a jednotkou energie je Joul (čte se džaul) ve zkratce J.

To je divná definice? Proč je tam ta dvojka ve jmenovateli? Proč tam není třeba trojka?

Ta je tam proto, aby platilo, že kinetická energie je rovna vykonané práci. Na přesné objasnění je potřeba vyšší matematika. Důležité je si všimnout, že energie je skalární veličina.

Mě vrtá hlavou jedna věc. Když jedu v autě, jakou mám vlastně kinetickou energii? Oproti silnici se pohybuji třeba rychlostí 20 m/s, ale oproti autu jsem v klidu? Jakou rychlost tam mám dosadit?

To je důležitá otázka! My jsme to dosud nezdůraznili, ale rychlost je typická relativní veličina. Její hodnota záleží na tom, vzhledem k čemu ji určuji. Jestli vzhledem k silnici, nebo vzhledem k autu. Tak je třeba se také dívat na kinetickou energii. Vzhledem k autu je tvoje E_k nulová, ale vzhledem k silnici je při tvé hmotnosti 60 kg rovna $E_k = 60 * 20^2 /2 = 12000$ J.

To je divné, jsem zvědavý, k čemu to bude dobré!

71

Práce vnějších sil

Práce je fyzikální veličina, která na jedné straně souvisí s kinetickou energií, na straně druhé se sílou, která působí na pohybující se těleso podél trajektorie.

Definice práce

Práce je matematicky definována takto:
$A = F_r\, p$, kde F_r je složka síly do směru posunutí tělesa (dosazuje se v N) a p (m) je to posunutí. Jednotkou práce je 1Jaul (1J) jako pro energii.

To, že energie a práce mají stejné jednotky znamená, že se mohou sečítat?

Matematicky to znamená, že se mohou sečítat a odčítat, a fyzikálně to znamená, že práce se může přeměnit v kinetickou energii a obráceně, kinetická energie v práci.

To přeměňování je zajímavé, ale nedovedu si to vůbec představit!

Objasníme si to na příkladě: Představme si auto v klidu. Začne na ně působit síla F, podle 2.NZ se začne pohybovat a každou sekundu vzroste jeho rychlost o 1 m/s. Za 10 s bude mít rychlost 10 m/s. Při hmotnosti auta 600 kg bude mít kinetickou energii $E_k = 600*10^2 /2 = 30\,000$ J.

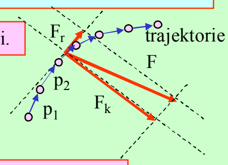
Už to mám! Na tutu energii se přeměnila práce té síly F tím, že působila na auto po celou dobu rozjezdu. Podle 2.NZ ta síla F musela mít velikost $F = \Delta v\, m/\Delta t =$ 1m/s *600 kg / 1s = 600 N . Jestliže práce $A = E_k = 30\,000$ J. Podle definice práce pak platí $p = 30\,000 /F = 30\,000/600 =$ 50 m. To znamená, že auto se rozjelo na trajektorii dlouhé 50 m! Ta práce je užitečná!

72

Výpočet práce

Při prvních úvahách o Newtonových zákonech jsme došli k závěru, že přírůstek velikosti rychlosti způsobí jen síla F_r, která je rovnoběžná s trajektorií. Naproti tomu síla F_k, která je kolmá na trajektorii, způsobuje její zakřivení.

Každou sílu přece můžeme rozložit na tyto dvě síly. To jsme už dělali.



Důležité je si všimnout, že ve vzorci pro práci, vystupuje jen ta složka síly, která je rovnoběžná s trajektorií, tedy F_r, nikoliv celá vnější síla F.

To je jasné, jen tato složka vyvolá změnu velikosti rychlosti a tady i změnu kinetické energie. Jednoduché je to v případě, kdy se těleso pohybuje po přímce. Jak ale najdu směr kolmý nebo rovnoběžný, když to není přímka?

Trajektorie se přece skládá z posunutí a ta jsou přímková. Na každém posunutí je práce rovna $A = F_r p$ a práce na celé trajektorii je rovna součtu všech prací na každém posunutí.

To je ale složité!

Je to složité u křivočarých trajektorií, ale u přímkových ne. Nejjednodušší výpočet je pro přímkovou dráhu, když se složka F_r nemění. Pak je to součin celkové délky trajektorie a F_r. Těmi složitými případy křivočarých pohybů se zabývat nebudeme.

73

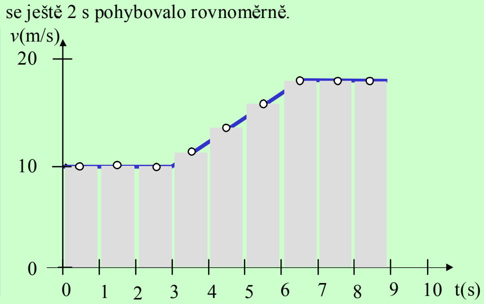
Výpočet délky trajektorie

Výpočet délky trajektorie z rychlosti je podobný, jako výpočet práce. Celková délka trajektorie je součet velikostí jednotlivých posunutí. Když ke každému posunutí známe rychlost v a dobu t pak vypočteme velikost každého posunutí $p = v\,t$ a ty potom sečteme. Tento postup platí i pro případ, že se rychlost podél trajektorie měnila.

Příklad:

Jaká je délka trajektorie, když se těleso pohybovalo první 3 s rychlostí 10 m/s, pak 4 s rychlost rostla vždy o 2m/s každou sekundu a pak se ještě 2 s pohybovalo rovnoměrně.

t (s)	Δv (m/s)	v (m/s)	p (m)
1	0	10	10
2	0	10	10
3	0	10	10
4	2	12	12
5	2	14	14
6	2	16	16
7	2	18	18
8	0	18	18
9	0	18	18
		celkem	126 m



Trajektorie je vlastně plocha pod grafem závislosti rychlosti na čase.

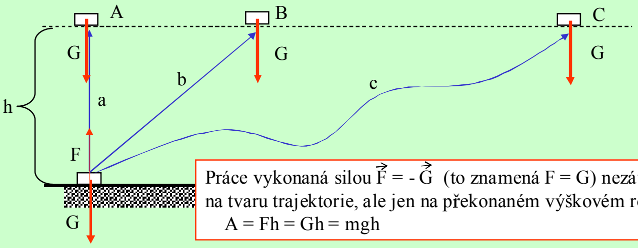
Je to zajímavé, ale složité !

74

Práce v gravitačním poli

Gravitační pole má zajímavou vlastnost. Objasníme si ji na tomto příkladě:

Těleso hmotnosti m leží na zemi a my máme vypočítat práci potřebnou k jeho vyzvednutí do výšky h nad povrch. Na obr. jsou vyznačeny tři trajektorie a, b, c.



Práce vykonaná silou $\vec{F} = -\vec{G}$ (to znamená F = G) nezávisí na délce, ani na tvaru trajektorie, ale jen na překonaném výškovém rozdílu h.

$A = Fh = Gh = mgh$

V případě a) je tíha F stále rovnoběžná s posunutím: A = Fh = Gh

Trajektorii b) si mohu představit jako zvednutí do výše h a pak posunutí do bodu B. Na tomto úseku však síla $\vec{F}$ práci nekoná, protože je kolmá na směr posunutí. Celková práce je tedy zase A = G h.

Rovněž polohy tělesa v bodě C je možné dosáhnout zvednutím a pak posuvem do bodu C. Bez ohledu na tvar trajektorie je práce vykonaná proti tíze vždy stejná. Zajímavé zde rovněž je, že velikost práce síly F nezávisí vůbec na rychlosti přemísťování.

75

Lidská práce

Teď se mně z té teorie točí hlava! A navíc, je to celé v rozporu s praxí.
Když nesu 10kg brambor do 4. poschodí, tak cítím, že konám práci, jsem unavený!
Ale unavím se, i když je nesu po vodorovném chodníku. Tedy i tady konám práci!

Rozpor spočívá v tom, že ty mluvíš o lidské práci, o tvém pocitu, a my mluvíme o fyzikální veličině. Mají společné jen pojmenování, ale různý význam. Takových slov je v češtině více.

To je pravda. To já znám, např. mastné oko na polévce, lidské oko, oko z drátu a podobně. U té práce ale nějaká podobnost přece je. Po cestě na chodníku se unavím daleko méně, než kdybych ty brambory nesl stejně daleko po chodech nahoru.

Fyzika a biologie má pro tuto zkušenost toto vysvětlení: Pocit práce a následné únavy souvisí s napětím svalů. Jaké napětí a ve kterém svalu má vzniknout, řídí mozek prostřednictvím nervů. Ovládat tak můžeme jen svaly příčně pruhované, nikoliv hladké (např. svaly srdce). Má-li v nějakém svalu vzniknout napětí, musí nervy neustále dodávat patřičné signály. Kdyby se tak nedělo, sval se hned uvolní a taška s bramborami by ti vypadla z ruky.

To si mohu představit tak, jako že ten sval nemá paměť.

Ano přesně tak. Zkus přepažit a sledovat konečky prstů. Ruka se třese. Ona vlastně klesá a ty ji musíš stále vědomě zvedat do původní polohy. Při tom zvedání konáš práci i ve fyzikálním smyslu.

Když myslím na něco jiného než na polohu ruky, tak ta ruka klesá víc. Asi to tak je.

76

Přeměna práce v energii

Mně to není jasné. Každá síla když působí podél trajektorie, může se přeměnit v práci.

Ke vzniku práce jsou potřební dvě veličiny: síla působící podél trajektorie a délka trajektorie. Nemůžeme tedy říkat, že se síla přeměnila v práci, ale že síla vykonala práci.

Ano, to je i pro mě pochopitelnější, říkat, že síla vykonala práci. A teprve práce se může přeměnit v kinetickou energii. Tady to slovo přeměnit je v pořádku.

To slovo v pořádku je, to jen jedna možností, na co se práce síly může přeměnit, a to ne vždy.

Jak to? Vždyť mají stejné jednotky, udávají se obě veličiny v Joulech!

Nejasnost v naší diskusi spočívá v tom, že energie má mnoho forem a pouze jedna z nich se nazývá kinetická energie související s rychlostí pohybu. Jistě jsi už slyšel například o tepelné energii ...

…sím, ano. Slyšel jsem i o světelné energii, atomové energii a ještě i o jiných.

No a tak už to v přírodě je, že ne každá síla, tím že vykoná práci, se tato práce může přeměnit v libovolný druh energie. Například práce síly tření se může přeměnit pouze v tepelnou energii. nikdy se nepřemění v kinetickou energii. Každá přeměna práce v energii je spojena se zcela určitým fyzikálním procesem. Budeme o některých mluvit později. Pro praxi jsou velice důležité.

To chápu, že přeměnit atomovou energii na elektrickou je pro praxi důležité

77

Zákon zachování energie

…sím, ten já už znám: energie je nezničitelná, stejně jako hmota. To jsme brali v chemii.

Dá se to tak říct, ale aby zákon zachování energie měl pro nás ve fyzice praktický význam, musíme jej matematicky přesně formulovat. To zpřesnění se týká především procesů, při nichž se může jedna forma energie přeměnit v jinou formu a množiny těles, o nichž uvažujeme.

To je na mně moc teoretické povídání. Já bych tomu asi lépe porozuměl ve spojení s příkladem.

Jednoduchý příklad:
Vraťme se k autu, které jede z Brna do Prahy. Jakou má energii, když je v Brně? Jeho energie je ukrytá v benzínu (má formu chemické energie). V Brně ho bylo 25 litrů a v Praze jen 10 litrů. Energie auta se tedy nezachovala. Zákon zachování energie tedy pro auto neplatí. Proč?
Neuvážili jsme všechny možné procesy přeměny chemické energie během cesty!
Dá se ale napsat zákon zachování energie takto:
$E_{chem}(25\ l) = E_{chem}(10\ l)$ + práce síly tření + práce síly odporu prostředí + $E_{tepelná}$

Co se míní tou tepelnou energií? Vždyť na tepelnou energii se mění jen práce síly tření?

Na co má auto chladič?

…sím, já už vím. V motoru se benzín spaluje, on se tím ohřívá, a proto se musí chladit.

No a to množství energie, které se spotřebuje na ohřátí motoru a přes chladič i na ohřátí vzduchu kolem dálnice jsem označil jako $E_{tepelná}$.

78

Potenciální energie tělesa v gravitačním poli

Když těleso leží na podložce, tak se silou své tíhy nemůže dát do pohybu. Když je však zvedneme do výšky *h* a pustíme, tak působením tíhy (gravitační síly) se může dát do pohybu (bude padat) a získat tak kinetickou energii.

To je přece jasné. Při pádu působí na těleso síla gravitační a její práce při pádu z výšky *h* se přemění v kinetickou energii.

Velmi správně. Je tady jeden zajímavý moment, na který stojí za to upozornit. Tím, že jsme těleso zvedli do výšky, jsme si vlastně do jeho polohy jakoby schovali práci, kterou můžeme kdykoliv přeměnit v jinou energii, třeba v kinetickou. Této formě energie ukryté do své polohy v gravitačním poli, se říká **potenciální energie** tělesa. S podobnou formou energie se setkáme později i u elektrického pole.

Těleso, které leží na podložce tedy žádnou potenciální energii nemá. Ale kde se nachází ta podložka? Na chodníku, nebo v 5. patře? To je přece rozdíl!

Ať zvednu těleso do výšky *h* na chodníku, nebo v 5. patře, má vzhledem k podložce vždy stejnou potenciální energii. Na jeho zvednutí bylo třeba vynaložit v obou případech stejnou práci $A = Gh = mgh$.

To je podobné jako s mou kinetickou energii, když jedu v autě. Ta také závisí na tom, k čemu vztahuji svou rychlost, jestli k autu, nebo k silnici.

79

Potenciální energie vody

Úschova energie do potenciální energie těles má pro praxi velký význam. Atomové elektrárny potřebují ke snížení výkonu na 50% několik hodin. Proto se jejich výkon v noci nesnižuje, ale elektrická energie se uloží do potenciální energie vody.

… sím, to já znám. To se tak dělá v Dukovanech. Tam je Dalešická přehrada a v noci Kaplanova turbína funguje jako čerpadlo, které tlačí vodu do výšky 40 m a když je potřeba, tak ta voda teče zase dolů, roztáčí stejnou turbínu a ta vyrábí elektrický proud.

Velice správně. Aby začala turbína vyrábět elektrický proud, k tomu stačí, aby se jen roztočila, a na to není potřeba více, než několik minut. Zajímavé je, že lidstvo doposud nenašlo efektivnější způsob ukládání přebytečné energie.

…sím, v autě je uložena elektrická energie v akumulátoru.

Pro uložení malého množství energie se akumulátor hodí, ale do Dalešické přehrady se jí dá schovat víc, než do všech akumulátorů v Evropě. Až probereme vlastnosti elektrického proudu, tak provedeme na toto téma praktický výpočet.

Na to jsem zvědavý. To ukládání energie je zajímavý problém!

Při ukládání energie je nejdůležitější omezit její ztráty, když se mění jedna její forma v jinou a pak zase zpět. Všude je totiž přítomné tření a tepelné ztráty.

80

Definice výkonu

To bude asi pro praxi důležitá veličina, protože když jedeme v autě do kopce, tak si táta stěžuje, že naše auto má malý výkon. V tom bych si chtěl udělat jasno.

Definice výkonu

Matematicky je výkon *P* definován takto: P = A/t, kde A je množství práce (dosazujeme v Joulech), která byla vykonána za dobu t (v sekundách). Výkon se uvádí ve watech (ve zkratce W). 1W = 1J/1s

Takto matematicky definovaný výkon, by se měl přesněji nazývat průměrný výkon za dobu *t* , protože práce může být vykonána i za mnohem kratší dobu. Práce je totiž skalární veličina a do vzorce dosazujeme součet všech prací vykonaných za dobu *t*.

…sím, ale jak je to s tou jízdou do kopce?

Felicie má motor, který má maximální výkon 40kW, to je 40 000 W, a když je plně obsazená tak má hmotnost asi 1000 kg. Vypočítejme výkon, který tato Felicie spotřebuje při jízdě do stoupání 10% rychlostí 72 km/hod = 20 m/s.
Při této rychlosti ujede 1000 m za t = 1000/20 s = 50 s a tím překoná výšku h = 100m.
Za dobu t = 50 s vykonalo auto práci A = mgh = 1000*10*100 =1000 000 J. Výkon motoru potřebný na překonání výšky tedy je P = A/t = 1000 000/50 = 20 000 W = 20 kW

To znamená, že polovinu výkonu motoru vlastně spotřebujeme na překonání výšky. To se nedivím, že na překonání tření a odporu vzduchu ho už moc nezbývá.

81

Definice účinnosti

Ten nadpis je nějaký nejasný. Já nevím, čeho se ta účinnost týká?

Účinnost se týká přeměny jedné formy energie v druhou formu. Jde například o přeměny chemické energie ukryté v benzínu na energii mechanickou v automobilovém motoru. Nebo účinnost procesu přeměny elektrické energie v potenciální energii vody pomocí Kaplanovy turbiny.

To je tedy pro praxi velice důležitá veličina, protože nějak vyjadřuje, jak velké jsou při té přeměně ztráty. Jak je tedy matematicky definována?

Definice účinnosti

Účinnost procesu přeměny energie z jedné formy na druhou η (označuje se řeckým písmenem "eta") definována takto: η = E(získaná)/E(vložená). Je to tedy veličina bezrozměrná, vždy menší než 1. Proto se často vyjadřuje v procentech.

Pro představu účinnost atomové elektrárny je asi 33%, parní lokomotivy 12% ,benzinového motoru 30 %, Kaplanovy turbiny jako čerpadla asi 60% (?), akumulátoru 90%.

To tedy není moc! To jistě stojí zato, přemýšlet, jak účinnost zlepšit. To by mě bavilo pracovat jako inženýr na snižování zrát při přeměnách energie.

82

Mechanická energie

Pod pojmem mechanická energie nazýváme energii kinetickou a energii potenciální. Ta může být ukryta jak v gravitačním poli, tak např. ve stlačené pružině. Někdy se pro výpočty používá tzv. zákon zachování mechanické energie.

Jestli jsem dobře porozuměl dosavadnímu výkladu, tak takový zákon je nesmysl! Přece jsme řekli, že každý mechanický pohyb je doprovázen třením a práce síly tření se nenávratně přemění v teplo. Účinnost přeměny potenciální energie v kinetickou je vždy menší než 1.

Máš stoprocentní pravdu Všetečko. Tento zákon má velký význam při předpovídání pohybu planet a jiných vesmírných těles, třeba měsíce, družic a podobně.

Na to jsem zapomněl! Já sem se na to díval jen z praktického hlediska.

Tento zákon zachování mechanické energie má význam i pro praxi. Tření a odpor prostředí velice komplikují výpočty podle Newtonových zákonů, protože konstanty v těchto zákonech sil známe s malou přesností. Někdy je ale jejich působení tak slabé, že je můžeme zanedbat. Pak zákon zachování mechanické energie je velice užitečný.

Mě se to nezdá. To by chtělo objasnit na nějakém příkladu z praxe.

83

Volný pád

Tím jsme se už jednou zabývali a to v souvislosti s 2.NZ!

Ano, a teď se na volný pád tělesa podíváme z hlediska zákona zachování mechanické energie. Těleso o hmotnosti m se nachází ve výšce h nad podložkou a ptejme se, jakou bude mít rychlost při dopadu, když odpor prostředí je zanedbatelný.

Aby odporová síla byla malá ve srovnání s tíhou tělesa, musí těleso mít malý průřez a nesmí padat z velké výšky, aby rychlost nebyla moc velká.

Ano, s tímto upřesněním podmínek souhlasím. Celková mechanická energie tělesa je součtem $E_k + E_p$. Ta se nemůže v žádném okamžiku změnit. Po celou dobu pádu musí být celková energie stejná, tedy i na konci, jako na začátku.
E_c(začátek) = mgh + 0
E_c(konec) = 0 + $mv^2/2$
Protože E_c(začátek) = E_c(konec) , dostáváme $mgh = mv^2/2$ a odtud se již snadno vypočítá rychlost při dopadu: $v = \sqrt{2hg}$

To je jednoduchý výpočet a ten zákon zachování mechanické energie je pro praxi užitečný. Je také zajímavé, že ta rychlost nezávisí na hmotnosti tělesa. To nám vyšlo i z 2. NZ. Mě se líbí, že oba postupy dávají stejný výsledek!

To je vlastnost přírodních zákonů!

84

Pohyb po kruhové trajektorii

Proč se zabýváme pohybem po kruhové trajektorii? Vždyť Newtonovy zákony mají přece univerzální platnost. Platí pro všechny trajektorie!

To je pravda. Pohyb po kruhové trajektorii má však velký praktický význam. Motory, turbíny, planety, vše se točí. Pro je třeba jej podrobně prozkoumat

Vidím, že to bude asi užitečné. Těch praktických příkladů je hodně.

Definice periody a frekvence

Pro kruhovou trajektorii je charakteristický její poloměr *r* a doba oběhu (perioda) T. To je doba, za níž se těleso dostane zase do stejného bodu na kružnici. Veličině f = 1/T se říká frekvence. Když se T dosadí v sekundách, vyjde frekvence v Hz (jednotka frekvence „hertz“) . 1Hz = 1/1s.

Za dobu T urazí tedy těleso trajektorii rovnou obvodu kružnice, to je $2\pi r$. Velikost rychlosti je tedy $v = 2\pi r/T = 2\pi rf$

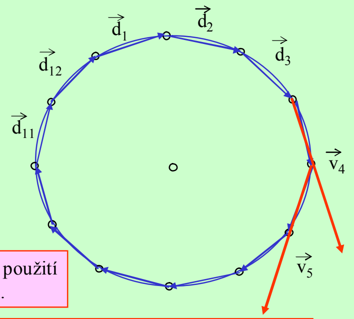
…sím, této veličině bychom spíš měli říkat průměrná rychlost, protože nevíme, jestli je na všech úsecích kružnice stejná.

To je správná poznámka. Kvůli jednoduchosti budeme předpokládat, že velikost rychlosti je na celé kružnici stejná. To nám usnadní všimnout si jen podstatných jevů spojených s tímto pohybem.

85

Vektor rychlosti při kruhovém pohybu

Některé zajímavé vlastnosti spojené s každým kruhovým pohybem nebudeme probírat obecně, ale ukážeme si je na příkladech.



Narýsujte kružnici o poloměru r a vepište do ní pravidelný 12 úhelník. Strany tohoto 12 úhelníka lze považovat za posunutí $d_1, d_2, \ldots, d_{12}$. Velikost stran je přibližně obvod $O/12 = 2\pi r/12$. Doba mezi příslušná každému posunutí je T/12.

…sím, já už vím, kam ten příklad směřuje. On směřuje k použití dříve probrané definici vektoru rychlosti a jeho velikosti.

Ano, správě. vektory rychlosti jsou $\vec{v}_i = \vec{d}_i/t_i$ a jejich velikosti $v_i = (2\pi r/12)/(T/12) = 2\pi r/T$ jsou všechny stejné.

Já bych chtěl ty vektory rychlosti nějak nakreslit, ale neví, jak? Směr bude stejný jako posunutí, ale nevím, jak tu šipku udělat dlouhou.

Její délku si můžeš u první šipky zvolit, ale pak už všechny ostatní musí být stejně dlouhé, protože mají stejné velikosti. Na obr. jsou vyznačeny $\vec{v}_4$ a $\vec{v}_5$ červeně.

86

Diagram vektorů rychlosti

Nyní si trocho pohrajeme s vektory rychlosti. Všechny vektory rychlosti v_1 až v_{12} nakresleme tak, aby vycházely z jednoho bodu S. Co vytvořily koncové body vektorů?

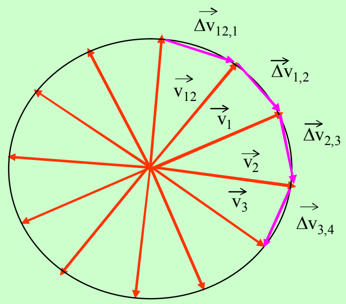
Koncové body vytvořily zase vrcholy pravidelného 12 úhelníka. Tyto body leží na kružnici o poloměru v =2πr/T.

Velikost rychlosti je stále stejná, jen směr se stále mění. Za dobu T/12 se změní o $\vec{\Delta v}_{i,i+1}$.

Ta změna vektoru rychlosti vlastně podle 2.NZ určuje směr působení vnější síly!

K tomu směru se ještě vrátíme. Zkusme vypočítat velikost $\vec{\Delta v}$.

…sím, přibližně to bude tak, že součet všech velikostí Δv bude roven obvodu, to je 2πv.



$\vec{v}_1 + \vec{\Delta v}_{1,2} = \vec{v}_2$, atd.

Ano, plyne to z podobnosti tohoto obrazce s trajektorií. Za dobu T/12 má má měna rychlosti velikost 2πv/12. Podle 2.NZ platí: Δv = F*Δt/m. Odtud F = m*Δv/Δt = m (2πv/12)/(T/12) = 2πmv/T .

87

Po dosazení za velikost rychlosti dostaneme: $F = (2\pi/T)^2 mr = mv^2/r$

Velikost vnější síly při kruhovém pohybu

Teď se mi nějak plete dohromady . Potřeboval bych to nějak znovu objasnit.

Podívejme se na pohyb po kruhové trajektorii takto:
Trajektorie není přímková, podle 1.NZ musí tedy na těleso o hmotnosti m působit vnější síla. Když má trajektorie poloměr r a periodu T, pak má rychlost v = 2πr/T. Takový pohyb tělesa je podle 2.NZ možný jen tehdy, když na něj působí vnější síla F, jejíž velikost je dána vztahem $F = (2\pi/T)^2 mr$, nebo $F = mv^2/r$

Tomuto již trochu rozumím, ale vůbec nevím, jaký má ta síla směr?

Teoreticky to víme, směr té síly je dán 2.NZ. Ten praví, že směr je dán přírůstkem vektoru rychlosti **Δv.** Musíme se tedy vrátit k nákresu trajektorie, příslušných posunutí, vektorů rychlostí a z nich plynoucí přírůstky rychlosti.

To jsem zvědav, co nám vyjde, když kruhovou trajektorii nahrazujeme obvodem 12 úhelníka.

K tomuto zjednodušení se ještě vrátíme .

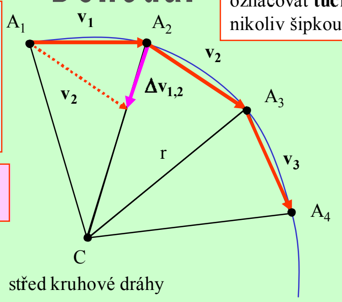
88

Síla dostředivá (vnější síla)

Dohoda:

Dále budeme vektory označovat **tučně** a už nikoliv šipkou

1) Body A_1, A_2, A_3, … jsou vrcholy našeho 12 úhelníka.
2) Červeně jsou vyznačeny příslušné vektory rychlosti. Jejich velikost si volíme. Zde jsme ji zvolili šikovně tak, že šipky jsou stejně velké jako posunutí.



Mě by tato volba nenapadla. Já bych je schválně volil tak, abych je rozlišil od posunutí.

Pokračujme:
3) vektor rychlosti $\mathbf{v}_2$ přeneseme do počátku vektoru $\mathbf{v}_1$.

Jé, už to mám! Abych dostal rychlost $\mathbf{v}_2$, musím k $\mathbf{v}_1$ vektorově připočítat $\Delta\mathbf{v}_{1,2}$ a tento přírůstek rychlosti míří do středu kruhové dráhy.

Ano, správně jsi provedl vektorové sčítání. Vnější síla podle 2.NZ míří tedy také do středu kruhové dráhy. Po kruhové dráze se může tedy těleso pohybovat jedině tehdy, když vnější síla míří do středu a má velikost $F = mv^2/r$. **Nazývá se síla dostředivá..**

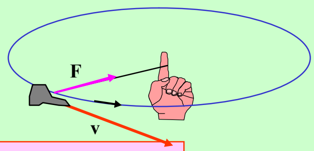
89

Těleso na provázku

Jedním z řady praktických příkladů, na nichž se můžeme přesvědčit, že právě provedená teoretická analýza pohybu tělesa po kružnici je správná je následující pokus: Asi na metrový provázek pevně uvážeme například botu. Po rozhoupání se nám jistě podaří na provázku botu roztočit.

To já znám! Ta bota ten provázek napíná.

Ano, tak se nám to jeví z našeho pohledu. Chceme-li, aby se bota pohybovala po kružnici, musíme ji stále táhnout směrem do středu.



Kdybychom část provázku nahradili pružinovým siloměrem, tak bychom mohli velikost té síly i změřit.

Důležité je uvědomit si, že bez působení vnějších sil se tělesa pohybují podle 1.NZ, to je rovnoměrně přímočaře. Nikoliv po kruhové trajektorii.

Kdyby se provázek přetrhl, tak se bude pohybovat ve směru rychlosti **v** a ta má směr strany 12 úhelníka.

Jenom přibližně!

Jak to?

90

Směr rychlosti při kruhovém pohybu

Vidím, že je na čase se vrátit k našemu 12 úhelníku, který jsme si zvolili pro přibližný a názorný popis kruhové trajektorie. Ve vzorci pro velikost vnější síly F však nikde číslo 12 nevystupuje.

To je pravda. Vyskytovalo se jen při dosazování do 2.NZ, ale tam se nakonec vykrátilo.

Na výsledek výpočtu velikosti síly **F** neměla tedy tato volba žádný vliv.

No úplně to tak není. Obvod našeho 12 úhelníka byl přece je menší než obvod kružnice jemu opsané. Daleko přesnější by bylo zvolit třeba 100 úhelník.

Když bychom zvolili 100 úhelník, výpočet velikosti síly F by se nezměnil. vektory posunutí by byly kratší a byly by téměř kolmé na spojnici středu kružnice s vrcholem 100 úhelníka.

Já už vím, to je zase stejná situace, jakou jsme měli při šikmém vrhu.Čím menší posunutí volíme, tím přesněji známe rychlost i její směr.

Ano, ano. Stále stejný způsob uvažování

91

Řetízkový kolotoč

To bude zajímavější příklad z praxe. Na takovém kolotoči jsem se už mnohokrát svezl.

Když se kolotoč neotáčí, působí na sedátko dvě vnější síly: Tíha **G** a řetízek silou **F,** která je stejně velká jako tíha, ale opačného směru. Výslednice těchto vnějších sil je nulová. Proto se sedátko nepohybuje.

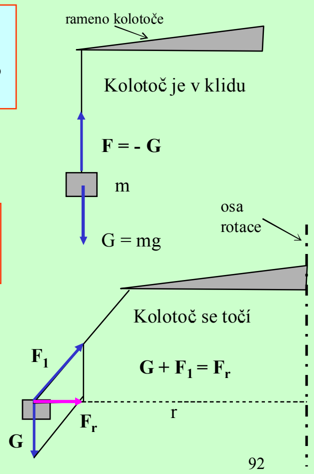
Když se kolotoč točí, ...

… sím, on se musí nejdříve pomalu roztáčet!

Tuto fázi pohybu musíme zatím vynechat pro složitost matematického popisu. My můžeme matematicky popsat jen stav, kdy se už točí rovnoměrně, se stálou periodou.

Když se kolotoč točí, tak na něj působí zase dvě síly: tíha **G** a přes řetízek síla $\mathbf{F_1}$, jejichž vektorový součet je roven síle $\mathbf{F_r}$,, která míří do středu rotace a odpovídá právě za to, že sedátko se pohybuje po kružnici.

Zajímavé je, že ta vnější síla $\mathbf{F_1}$ se na sedátko přenese jen prostřednictvím řetízku. Tíha žádný řetízek nepotřebuje.



92

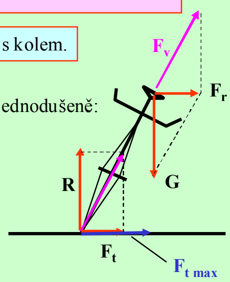
Cyklista v zátočině

Ty síly, které působí na sedátko, když se kolotoč točí, celkem chápu. Řetízek se sám nakloní do takového směru, aby výslednice vnějších sil $\mathbf{F_r}$ mířila k ose rotace. Ale když jedu na kole, tak směr jízdy určuji natočení řídítek.

To je jenom půl pravdy. Vzpomeň si přece, že se též nakloníš i s kolem.

To proto, abych udržel rovnováhu.

Zjednodušeně:



Fyzikálně objasnit rovnováhu při jízdě na kole je pro nás zatím ještě složitá úloha: Chybějí nám k tomu tyto například tyto pojmy: rovnováha tělesa v gravitačním poli, moment síly, moment hybnosti, zákon zachování momentu hybnosti.

To jsem netušit, že je to tak složité !

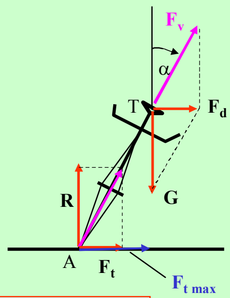
Snad si ale vzpomínáš, jak ses učil jezdit! Nenapadlo tě někdy, proč se na kole neudržíš, když stojíš, ale když jedeš, tak to není žádný problém?

Musím se přiznat, že nenapadlo. Já jsem se naučil jezdit na kole dříve, než jsem začal chodit do školy. Tehdy jsem o věcech ještě tak nepřemýšlel.

93

Cyklista v zátočině - zjednodušeně

Na cyklistu v zátočině působí tyto vnější síly:
1) Tíha cyklisty a kola **G** v těžišti T.
2) Reakce podložky na tíhu **R,** ta je vždy kolmá na podložku. působí v bodě dotyku kola s vozovkou A.
3) Síla tření (přilnavost) $\mathbf{F_t}$. Ta nemá definovanou velikost, je ale omezena svou maximální hodnotou $\mathbf{F_{t\,max}}$
4) Má-li se cyklista pohybovat po kruhové trajektorii o poloměru *r* rychlostí *v*, pak na něho musí působit síla $\mathbf{F_d}$ (dostředivá síla).



Cyklista si volí poloměr zátočiny *r* a rychlost *v* , jakou chce zátočinu projet tím že se naklání a volí úhel α .

Z obrázku a ze silových rovnoběžníků je jasné, že se mu to podaří, pokud $F_d < F_{t\,max}$. Při splnění této podmínky mu kolo nepodklouzne a zátočinou projede.

Podrobnější analýza statické i dynamické rovnováhy cyklisty vyžaduje hlubší fyzikální znalosti i znalosti konstrukce přední vidlice kola.

Když tak o těch silách přemýšlím, tak docházím k závěru, že místo provázku na kterém se otáčí těleso a kterým mohu na těleso působit, tady mám dvě síly, **G** a $\mathbf{F_v}$, a teprve jejich součet dává sílu dostředivou $\mathbf{F_d}$

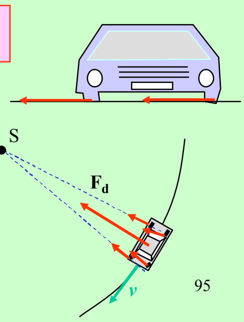
94

Auto v zatáčině

To bude asi jednodušší příklad, než jízda na kole.

Auto má tu vlastnost, že jede tam, kam jsou nasměrována přední kola.
To, že jede do tohoto směru je dáno přilnavostí pneumatik k vozovce.
Pokud síla dostředivá $F_d = mv^2/r$ nepřekročí přilnavost $F_t = k_p mg$, je vše v pořádku.
Připomeňme, že bylo zjištěno, že k_p je přibližně 1 pro pneumatiku a suchou vozovku, a že pro mokrou vozovku je až 10x menší.

To se mně nějak nezdá. Když jedeme s autě zátočinou, tak na mně působí síla právě opačná a ne síla dostředivá!



Je to tak. Na tebe musí tlačit stěny auta a ty vyvinou právě takovou sílu, jaká je potřebná pro jízdu danou rychlostí po kruhové trajektorii. Na kolotoči na tebe tlačí sedačka, na níž sedíš.

Co je to za sílu, kterou já cítím?

To je tak zvaná pseudosíla.

95

Pseudosíly

Pseudosíly nejsou vnější síly, které by mohly změnit rychlost nebo tvar trajektorie.Jsou spojeny s tělesem, u kterého se mění směr nebo velikost vektoru rychlosti. V autě je pociťujeme při rozjíždění, při brzdění, nebo při jízdě zátočinou.

S tím nesouhlasím. Ta pseudosíla v autě je tak silná, že kdybych v zátočině nebyl připoutaný, tak se budu v autě pohybovat. Podobně to dopadne, když prudce zabrzdíme.

Těmito úvahami se dostáváme k základům teorie relativity. A to jistě uznáš, že to pro nás zatím je hodně vysoko. Souvisí to s relativním charakterem vektoru rychlosti a s tím, že neumíme pokusem, to je prakticky, rozlišit mezi tíhou a pseudosílou.

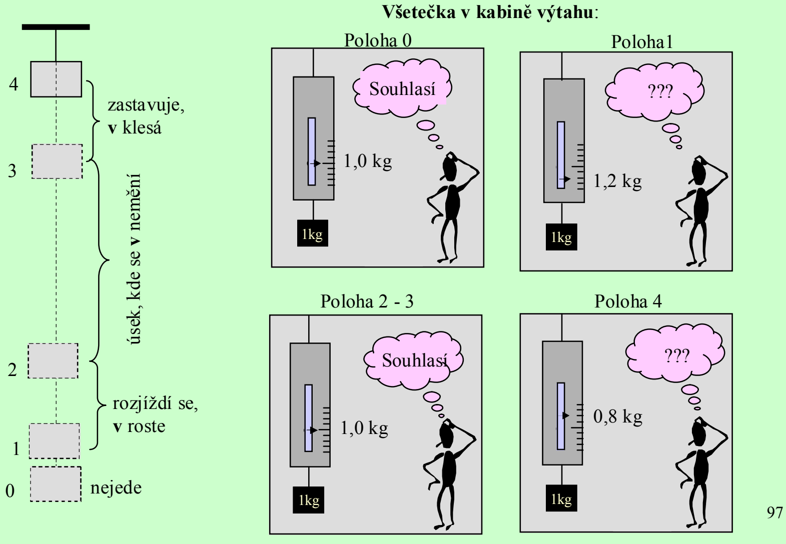
Není na to nějaký praktický příklad? Kde se ta síla bere?

Podobně, jako každá hmotnost má gravitační vlastnost, tak má i tak zvanou setrvačnou vlastnost. Kde se bere tíha?To nikdo neví. Připadá nám to přirozené. Uvedu tento příklad: Když jedeš rychlovýtahem, tak ten se zprvu rozjíždí, pak jede stálou rychlostí a třeba v desátém patře zastavuje. Když si sebou do kabiny vezmeš pružinový siloměr se závažím, tak při rozjezdu bude pružina ukazovat, že závaží má větší tíhu, pak bude mít zase tíhu stejnou, jako když se výtah nepohyboval, a při zastavování bude mít tíhu zase menší.
Kdybys žil stále ve velkém výtahu bez oken, který by jezdil nahoru a dolů, tak by sis myslel, že se intensita gravitačního pole se s časem stále mění. Připadalo by ti to přirozené.

To musím vyzkoušet! V obchoďáku takový výtah mají.

96

Hmotnost ve výtahu



97

Otáčivý účinek síly

To mě zajímá. V autě se točí motor a pohání je, jakoby šlo o vnější sílu. Tomu stále ještě nerozumím.

Auto uvádí do pohybu přilnavost pneumatik k silnici. Na ledě by se auto nerozjelo. No a přilnavost je vnější síla, která působí na auto v místě dotyku pneumatiky a silnice. Kdyby se kolo neotáčelo, tak místo dotyku bude stále stejné, auto nepojede.

Mám tomu rozumět tak, že v tom otáčení je ukrytá síla?

Dá se to tak říct. Aby se nějaké těleso roztočilo, nestačí, aby na ně působila síla, ale musí na ně působit moment síly vzhledem k ose otáčení, což je pro nás nová fyzikální veličina. Její definice není jednoduchá, protože jde o vektorovou veličinu.

Definice momentu síly

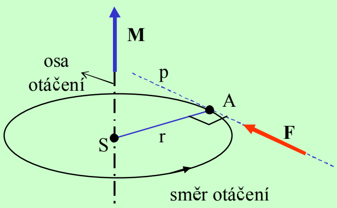
Velikost momentu síly je dána vztahem $M = r\,F$, kde r je rameno síly a F velikost síly. Vektor momentu síly je kolmý určenou ramenem a vektorem síly. Kam míří určíme podle pohledu na otáčející se ručičky hodinek. Když se bude těleso otáčet ve stejném smyslu jako ručičky, tak míří za ciferník, v opačném případě před ciferník.

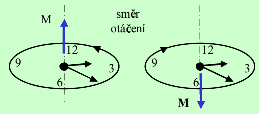
To je nějaké složité, já té definici nerozumím. A je vůbec potřeba zavádět zase novou fyzikální veličinu veličinu?

98

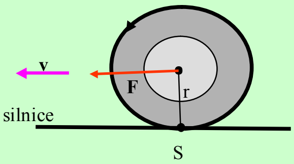
K definici momentu síly

p … přímka určená vektorem síly **F**
A … bod tělesa, jímž prochází přímka p
r … vzdálenost přímky od osy otáčení
M … vektor momentu síly **F**





M = 0, když F = 0, nebo r = 0 (síla protíná osu rotace)



Když na kolo působí moment síly **M,** který roztáčí kolo jak je naznačeno, pak při dotyku se silnicí v bodě S se kolo nezastaví, ale na osu bude působit síla ´F = M/r. Osa i s motorem a karoserií se dá do pohybu. Síla F však nesmí být větší než přilnavost pneumatik.

99

Jednotky momentu síly

Teď mám už lepší představu o momentu síly. Ty obrázky mi pomohly aspoň trochu tuto veličinu pochopit. Ale je mi divné, že tato veličina má stejné jednotky jako práce!

Je to pravda. Jak práce, tak i moment síly je součin velikosti síly a délkové veličiny. U práce je to délka trajektorii rovnoběžná se silou, ale u momentu síly je to vzdálenost osy od přímky v níž leží síla, tedy vzdálenost kolmá na směr síly. Aby se nám to lépe rozlišovalo, používá se pro práci jednotka Joul a pro moment síly se ponechává součin jednotek síly a délky, to je Nm (newtonmetr).

Mne zaujal ten vzorec F = M/r. Aby síla F nepřekročila přilnavost pneumatik, tak je lepší použít hnací kola o co největším průměru r. Teď chápu proč má traktor tak velká kola!

Výborně Všetečko! To je pěkný příklad o užitečnosti momentu síly pro praxi!

Já to doplním ještě tímto příkladem. Výrobci aut uvádějí v reklamách, při jakých otáčkách má motor největší kroutící moment. Ten kroutící moment, to není nic jiného, než jiný název (rozšířený mezi inženýry) pro moment síly. Podle velikosti kol si tak může řidič vypočítat maximální sílu svého auta.

Tak bych mohl vypočítat maximální výkon, protože síla krát rychlost je výkon.

Bylo by to správné, kdyby nebylo tření a tepelné ztráty závislé na rychlosti auta.

100

Hmotné body

Když jsme doposud mluvili o pohybu těles, mlčky jsme předpokládali, že tělesa sice mají hmotnost, ale že nemají žádný objem. Takovým tělesům se říká hmotné body.

To znamená, že naše dosavadní aplikace Newtonových zákonů byly chybné?

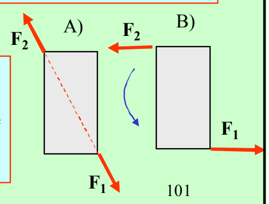
Ale kdež! Složitost praktických příkladů je tak velká, že jsi ani nepostřehl, že jsem někdy každý svůj krok podrobně nezdůvodnil. Nemůžeme se naučit všemu zajednou!

Jsem napnutý k prasknutí, v čem jsme si to tak zjednodušili. Já o ničem pořádně nevím!

Tak například, kdysi na začátku jsme řekli, že síly se skládají jako vektory. To je pravda! Ale když působí dvě síly na skutečné těleso, nikoliv jen na hmotný bod, tak je můžeme nahradit výslednicí jen tehdy, když leží na stejné přímce.

Nechápu proč to tak je!

Uvedu příklad: Představ si, že na protějších rozích lavice jsou upevněny provázky a ty se spolužákem budete za ně táhnou stejně velkou silou. Když budete táhnou podle situace A), lavice se nepohne. Výslednice sil bude totiž nulová.
Co se stane, když budete táhnou podle situace B)?



Lavice se bude otáčet, to si dovedu představit!

101

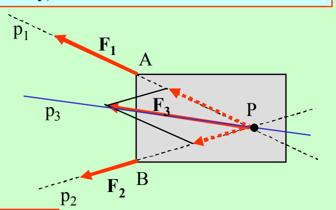
Tělesa a výslednice sil

Sečítat síly a nahradit je pak výslednicí můžeme jen tehdy, když nezměníme pohybový stav tělesa. Pro hmotný bod to šlo vždycky, bez dalších úvah. U skutečných těles však mohou stejně velké síly opačného směru způsobit rotaci, když neleží na jedné přímce.

A dá se nějak prakticky poznat , kdy mohu dvě síly působící na těleso nahradit působením jedné síly?

Z Newtonových zákonů se dá ukázat, že to je možné jen tehdy, když se obě síly leží na různoběžkách (když přímky p_1 a p_2 jsou různoběžky).

Síly působí na těleso v bodech A a B.
Jejich přímky se protínají v průsečíku P.
V silových přímkách můžeme síly posouvat.
V jejich průsečíku je vektorově sečteme a výslednicí $\mathbf{F_3}$ lze zase posunovat do libovolného bodu na přímce p_3. Tato výslednice bude mít na těleso stejný pohybový účinek, jako síly $\mathbf{F_1}$ a $\mathbf{F_2}$.



To jsem nevěděl, že to bude u těles tak komplikované!

Skládání sil je u těles složitější, ale pro praxi je to velice významné. Je na tom založena stabilita mostů, jeřábů, střechové konstrukce velkých hal a podobně. proto se tím budeme ještě trochu zabývat.

102

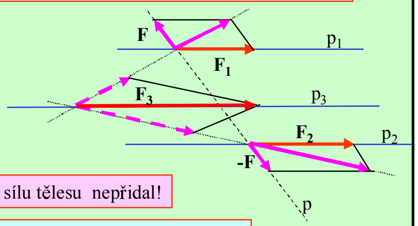
Skládání rovnoběžných sil v tělese

Ukážeme si některé geometrické triky (postupy), nám pomohou najít výslednici rovnoběžných sil.

Co je na tom těžkého?

No přece dvě rovnoběžky se neprotínají, takže je otázka jestli je lze vůbec nahradit jednou výslednou silou.

Celý trik spočívá v tom, že nejdříve k silám $\mathbf{F_1}$ a $\mathbf{F_2}$ přičtu síly $\mathbf{F}$ a $\mathbf{-F}$ ležící na stejné přímce p (jejich součet je tedy nula). Tak jsem součet rovnoběžných sil převedl na součet sil různoběžných a ten už vím, jak provést i pro těleso.



Ten trik se mi líbí. Já jsem tím vlastně žádnou sílu tělesu nepřidal!

Takových triků fyzika i matematika občas používá. Místo popisování nového postupu to trikem převedou na předcházející, už popsaný, případ.
Tak např. Jak se sečítají tři síly? To jsme nebrali?

Já už vím, sečtu první a druhou a tím to převedu na sčítání dvou sil!

Výborně!

103

Podmínky rovnováhy tělesa

Rovnováha

Těleso je v rovnováze (nezmění svůj pohybový stav), když na těleso nepůsobí 1)žádná vnější síla a 2) žádný moment vnějších sil vzhledem k libovolné ose otáčení.

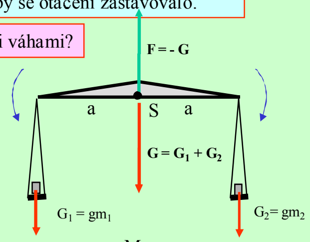
To je tak trochu doplněk k 1.NZ pro tělesa. Pro hmotné body stačí, když nepůsobí žádná vnější síla, pro tělesa je třeba doplnit ještě o moment sil, aby se těleso netočilo. Podmínky jsou tedy dvě.

Já jsem si myslel, že rovnováha nastává, když na těleso působí aspoň dvě síly, ale ty musí být stejně velké. Váhy jsou v rovnováze, když na obou miskách je stejná hmotnost.

Bylo by třeba dodat, že máš na mysli rovnoramenné váhy (kuchyňské, lékárnické apod.).
Kdyby nebyla splněna první podmínka, těleso jako celek, by měnilo svou rychlost.
Kdyby nebyla splněna druhá, těleso by se roztáčelo, nebo by se otáčení zastavovalo.

Já bych to lépe pochopil na příkladu. Třeba, jak je to s těmi váhami?

Misky jsou zavěšeny na stejně dlouhých ramenech délky a. Tíha závaží na miskách má výslednici $\mathbf{G}$ ležící přesně v ose otáčení S a je tedy její reakcí $\mathbf{F}$ kompenzována: $\mathbf{F + G = 0}$
Moment síly $\mathbf{G_1}$ má velikost M_1 a míří ven z obrazovky a moment síly $\mathbf{G_2}$ má velikost M_2 a míří do monitoru.
Vektory $\mathbf{M_1}$ a $\mathbf{M_2}$ leží na ose otáčení ramene, mají opačné směry a velikost jejich součtu je tedy $M = agm_1 - agm_2$.
Aby se rameno neotáčelo musí být M=0. To nastane, když bude hmotnost $m_1 = m_2$.



$\mathbf{M = M_1 + M_2}$

$M_1 = agm_1$
$M_2 = agm_2$

104

Rovnováha na jednoramenné páce

Já té rovnováze pořád ještě nerozumím. Je to nějaké složité.

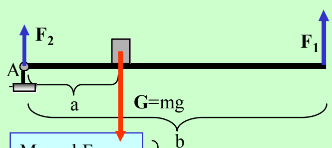
To máš pravdu. Ty dvě podmínky rovnováhy tvoří základ celého inženýrského oboru, kterému se říká statika. Umožní inženýrům vypočítat, jaké síly působí na pilíře mostu, jak rozmístit podpěry nesoucí střechu stadionu a jak je vyrobit, aby zatížení vydržely.

A to celý inženýrský obor je založen jen na těchto dvou podmínkách rovnováhy tělesa?

Ještě k tomu je třeba připojit nauku o pružnosti a pevnosti materiálu a je to vše. O ní se také ještě zmíníme někdy později. Jde o Hookův zákon.

Teď mne ta rovnováha začala zajímat mnohem více. Dal by se postup inženýrů ukázat na nějakém jednoduchém příkladu z praxe?

Na páce ve vzdálenosti a od osy otáčení leží těleso o tíze **G**. Jakou sílu $\mathbf{F_2}$ musí vydržet ložisko v bodě A a jakou silou $\mathbf{F_1}$ musíme táhnout nahoru, aby páka byla v rovnováze?



Musí platit dvě podmínky rovnováhy:
1) $\mathbf{F_1 + F_2 + G = 0}$ a 2) $\mathbf{M_1 + M_2 + M_g = 0}$

$$\left.\begin{array}{l} 3)\ F_1 + F_2 - mg = 0 \\ 4)\ bF_1 - amg = 0 \end{array}\right\}$$ Dvě rovnice o dvou neznámých F_1 a F_2

Řešení: $F_1 = amg/b$, $F_2 = (b-a)mg/b$

$$\left.\begin{array}{l} M_1 = bF_1 \\ M_2 = 0F_2 = 0 \\ M_g = -amg \end{array}\right\}$$ velikosti momentů

105

Jednoramenná páka (1)

Mě ten výpočet není vůbec jasný! Chápu to, že síly a momenty sil jsou vektory a že ty dvě podmínky jsou tedy napsány jako vektorové součty. Ale jak dostanu rovnici 3)? Proč je u mg najednou znaménko minus?

Všechny síly $\mathbf{F_1}, \mathbf{F_2}$ i **G** jsou rovnoběžné, ale **G** míří na opačnou stranu než $\mathbf{F_1}$ i $\mathbf{F_2}$. Když geometricky takové síly sečteme, pak velikost výslednice je dána právě rovnicí 3).

Ale kam míří ta výslednice. Tím zjistím jen její velikost.

Ty jsi Všetečko neuvěřitelně pozorný! Mám z tebe radost. Kdybychom uměli vektorovou algebru jako inženýři, žádný takový problém by nenastal. My použijeme tohoto postupu, který z vektorové algebry plyne:

Postup (dohoda)

Vektorový součet rovnoběžných vektorů převedeme na součet nebo rozdíl velikostí vektorů takto: 1) Jeden směr si zvolíme za kladný a opačný za záporný.
2) Příslušné znaménko před velikostí vektoru pak volíme podle předešlé volby.
3) Směr výslednice opět určíme podle znaménka před její velikostí podle volby 1).

Teď už těm rovnicím 3) a 4) rozumím. Při sčítání sil jsme si zvolili za kladný směr ten, který míří nahoru, a při sečítání momentů ten, který míří před obrazovku.

Protože veličiny a,m,g,b jsou kladné, je F_1 = amg/b kladné číslo a proto síla $\mathbf{F_1}$ bude vždy mířit nahoru, podle naší volby v kladném směru. Směr síly $\mathbf{F_2}$ určuje znaménko závorky (b-a), protože F2 = (b-a)mg/b. Pro b>a míří nahoru, pro b<a míří dolů.

106

Moment!

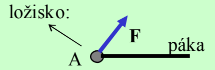
Jednoramenná páka (2)

Moment! Jak může síla $\mathbf{F_2}$ mířit dolů, když jsme ji namalovali nahoru?

Jedna důležitější otázka než druhá! Když jsme malovali obrázek, tak jsme jen věděli, kde na páce působí tíha **G** a že na jednom konci působí vnější síla $\mathbf{F_2}$ nahoru a na druhém konci že se páka otáčí kolem osy. Zcela právem jsme očekávali, že zde může na páku působit také vnější síla $\mathbf{F_2}$, ale kam bude mířit a jakou bude mít velikost jme nevěděli.

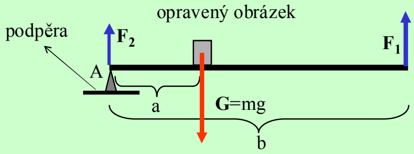
Tak proč jsme ji malovali orientovanou nahoru?

Tady se musím přiznat, že při formulaci tohoto praktického příkladu jsem si v duchu představoval, že v bodě A je páka jen *opřena* o vodorovnou podložku a že vnější síla působící na páku v tomto bodě je jen reakce podložky a ta míří jen kolmo na podložku. V bodě A tedy nemůže být ložisko.



Vnější síla **F** může mít libovolný směr. K řešení tohoto případu je třeba již znát vektorovou algebru

opravený obrázek

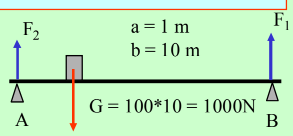


107

Jednoramenná páka (3)

Po této velice užitečné diskusi budeme příklad konkretizovat, abychom si udělali praktickou představu o užitečnosti jednoramenné páky. Těleso nechť má hmotnost 100kg a leží na trámku AB(jehož hmotnost zanedbáme) délky 10 m ve vzdálenosti 1 m od konce A.Jakou silou musíme působit na trámek v bodě A i v bodě B, abychom trámek i tělesem nadzvedli?

Teď už je to jednoduché, to se jen dosadí numerické hodnoty do uvedeného řešení. Já to provedu:
$F_1 = 1*1000/10 = 100N$
$F_2 = (10 - 1)*1000/10 = 900N$



V bodě B bych trámek nadzvedl, zato v bodě A nikoliv.

Přesněji řečeno, rovnováha nastane, když síly na obou koncích páky budou mít vypočtené hodnoty. Pokud chceme trámek nadzvednout, musíme působit silou aspoň o trochu větší než jsou vypočtené hodnoty.

To je pravda, protože při působení těchto sil na koncích trámku jsou výslednice vnějších sil a jejich momentů rovny nule a podle 1.NZ nemění svůj pohybový stav.

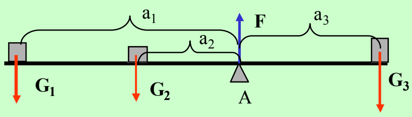
Mně by ale zajímalo, jak ten výpočet dopadne, když rovnováha nenastane!

Tak dobrá. Uvažme následující případ!

108

Rovnováha na dvojramenné páce

Na trámku jsou v uvedených vzdálenostech tělesa o uvedené tíži. Je takto zatížený trámek v rovnováze?



To se jen tak nepozná. Musíme zformulovat ony dvě podmínky pro rovnováhu.

$a_1 = 4$ m, $a_2 = 1$ m, $a_3 = 3$ m
$G_1 = 60$ N, $G_2 = 100$ N, $G_3 = 160$ N

Tak to zkus!

Podmínka rovnováhy sil říká: $\mathbf{G_1} + \mathbf{G_2} + \mathbf{G_3} + \mathbf{F} = 0$. Nyní zvolím kladný směr nahoru a dostanu: $G_1 + G_2 + G_3 + F = 0$. Síla **F** je reakce podložky a ta se sama nastaví tak, že $F = G_1 + G_2 + G_3$. Tato podmínka rovnováhy tedy je splněna. Taková síla **F** vždy existuje.

No a dále. Zatím je to přesné uvažování.

Páka se otáčí kolem osy A a proto moment síly F je roven nule. Aby byla rovnováha musí být vektorový součet momentů zbývajících tří vnějších sil také roven nule. Tedy $\mathbf{M_1} + \mathbf{M_2} + \mathbf{M_3} = 0$. Momenty sil $\mathbf{M_1}$ a $\mathbf{M_2}$ by způsobily rotaci proti směru ručiček hodinových, proto jejich beru se znaménkem plus, $\mathbf{M_3}$ se znaménkem minus. Tedy $M_1 + M_2 - M_3 = 0$. Dosadíme numerické hodnoty a dostáváme: 4*60 + 1*100 - 3*160 =340 - 480 = -140.

Výsledný moment má znaménko minus, a proto se trámek bude otáčet ve směru ručiček.

109

A rovnováha tedy nenastane!

Těžiště tělesa

Definice těžiště

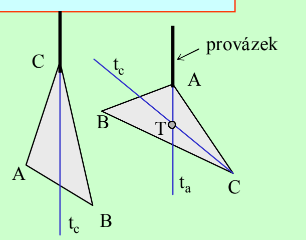
V každém tělese existuje bod, který má tu vlastnost, že je do něho jakoby soustředěna veškerá tíha tělesa. Tomuto bodu říkáme těžiště. Když těleso podepřeme v tomto bodě, je v rovnováze.

To znamená, že o těžišti má smysl mluvit, jen když je v gravitačním poli Země, že.

Zjednodušeně se to tak dá říct. Těžiště tělesa má velký význam zejména při výpočtu podmínek rovnováhy tělesa. V dosavadních příkladech na rovnováhu těles jsme hmotnost trámku zanedbávali.

A jak se tedy najde těžiště tělesa?

U plochých těles (plechy nebo desky různých tvarů) je najdeme pomocí zavěšení na provázek. Zavěsíme těleso v různých bodech, prodloužíme směry závěsů a kde se tyto protnou, tam je těžiště T.
Uvedeným přímkám se říká těžnice.



U trojúhelníka těžnice prochází vrcholem a středem protější strany.

Zavěšovat se může za jakýkoliv bod, nejen za vrcholy.

110

Těžiště a Newtonovy zákony

Uvedu praktický příklad. Když parašutista skočí z letadla, tak na něho působí jen tíha (gravitační síla) a působiště té síly je v jeho těžišti. Pohyb těžiště se řídí Newtonovými zákony a je tedy podobný vodorovnému vrhu (viz učebnice).

To se mi nějak nezdá, parašutisté dělají při seskoku všelijaké kotrmelce

To je důležitý postřeh! Kolem čeho se nejčastěji otáčejí?

Vypadá to, jakoby měli někde v břichu zapíchnutou osu rotace!

Člověk má totiž těžiště asi někde v břichu. A když tělesem neprochází žádná skutečná osa rotace, tak se těleso otáčí právě kolem těžiště.

…sím, oni nastavují všelijak ruce a tím se otáčejí a plachtí vzduchem. To jsem viděl v televizi.

Fyzikálně bychom řekli, že vnitřními silami se mění tvar tělesa a tím i rozložení sil odporu vzduchu. Tím mohou vzniknout momenty těchto sil vzhledem k těžišti a těleso se kolem těžiště roztočí a také vnější síly, které způsobí, že parašutista plachtí.

To je nějaké moc složité!

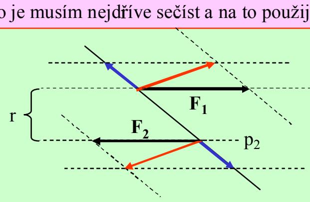
To máš pravdu, fyzikové se pohybem parašutistů nezabývají, protože jeho pohyb závisí na vůli člověka a ta se nadá předpovídat.

111

Moment dvojice sil

Z praktického hlediska je velice zajímavý případ, kdy na těleso působí dvě stejně velké síly, ale opačného směru ležící na dvou rovnoběžkách p_1 a p_2. Co se bude s tělesem dít?

To je musím nejdříve sečíst a na to použiji ten trik s přidáním dvou sil, jejichž součet je nula.



To je zajímavé, ty dvě síly nejde tím trikem sečíst.! Dostávám stále dvě rovnoběžné síly, sice různé velikosti a různě vzdálené od sebe, ale sečíst je nedají.

Já tě nebudu Všetečko dál trápit dalšími pokusy o součet těchto sil. Dá se ukázat, že takové dvě síly působí na těleso momentem dvojice sil.

Definice momentu dvojice sil

Velikost momentu dvojice sil je dána vztahem $M = Fr$, kde r je vzdálenost rovnoběžek, na nichž leží opačně orientované síly o velikosti F.

Velikost toho momentu je stále stejná. Nezáleží na tom, kde se nachází osa rotace.

To tvrzení o té ose je opravdu zajímavé! K čemu je to ale pro praxi dobré?

112