

Meno a priezvisko:
Škola: Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium
Školský rok/blok:
Predmet: Fyzika
Skupina:
Trieda:
Dátum:

Teória

2 Mechanika hmotného bodu

2.2 Dynamika

2.2.1 Úvod do dynamiky

Dynamika je ďalšia časť mechaniky, ktorá sa zaoberá príčinami pohybového stavu telies. Inými slovami povedané: skúma PREČO (z akého dôvodu, príčiny) sa telesá pohybujú.

Základy dynamiky tvoria tri Newtonove (pohybové) zákony, ktoré formuloval britský fyzik Isaac Newton (1643-1727) koncom 17. storočia, a ktoré sú založené na pojme **sila**.

V súvislosti so štúdiom dynamiky Newton vybudoval v tej dobe nový matematický aparát, ktorý sa dnes nazýva diferenciálny a integrálny počet. Štúdium „nekonečne malých“ fyzikálnych veličín (napríklad časový interval, prírastky dráhy, ...) mu umožnilo lepšie a presnejšie opísať fyzikálne javy a deje, ktoré skúmal.

Mechanika skúma najjednoduchšiu formu pohybu – mechanický pohyb. Pod mechanickým pohybom rozumieme zmenu polohy objektu v čase. Takým objektom môže byť hmotný bod, teleso, sústava bodov či telies, ale aj kvapalina, plyn a pod.

Mechanika sa delí na kinematiku a **dynamiku**. Kinematika skúma pohyb v priestore a čase, ale pritom si nevšímá príčiny, ktoré ho vyvolávajú. **Dynamika skúma pohyb v súvislosti s príčinami, ktoré ho spôsobujú. Využíva princíp príčinnosti (kauzality) – každý jav má svoju príčinu.**

Ústrednou veličinou dynamiky je **sila**. Silu považujeme za príčinu zmien pohybového stavu telies. **Sila opisuje veľkosť vzájomného silového pôsobenia telies a polí.** Z metodického hľadiska sa dynamika rozdeľuje na dynamiku hmotného bodu a na dynamiku sústavy hmotných bodov a telesá.

Výsledkom vzájomného silového pôsobenia telies môže byť **deformácia** týchto telies alebo **zmena ich pohybového stavu**.

Teleso, ktoré je od všetkých ostatných telies v dostatočnej vzdialenosti a nepôsobí naň žiadne pole, nazýva sa **izolované teleso**. Ak neprihliadame na rozmery telesá a zanedbáme ich, hovoríme a **izolovanom hmotnom bode**.

2.2.2 Sila a jej účinky

Pojem sila poznáme z bežného života: silou svojich rúk dvíhame rôzne predmety, manipulujeme s nimi, rozpohybujeme ich, deformujeme ich, ...

Sila sa vždy prejavuje pri vzájomnom pôsobení telies.

To znamená, že ak chceme do obrázku namaľovať silu (opisovať situáciu z bežného života, ...), vždy je nutné si uvedomiť, medzi ktorými dvoma telesami sila pôsobí. Každá sila musí mať dvoch „partákov“, medzi ktorými pôsobí. Nemožno hovoriť o sile bez toho, aby sme poznali telesá, medzi ktorými sila pôsobí.

Sila pôsobí na telesá:

1. **pri priamom styku** – telesá sa navzájom dotýkajú

Nesenie nákupnej tašky (človek-taška), roztlačenie auta (človek-auto), deformácia lopty (lopta-podložka, na ktorú dopadla), spomalovanie padáku vo vzduchu (padák-vzduch),

2. **prostredníctvom silového poľa** – telesá nie sú vo vzájomnom dotyku; sila pôsobí prostredníctvom poľa (gravitačná, magnetická, elektromagnetická, elektrostatická, ...).

Chceme vysvetliť pojem **sily** na dvoch analógiách, ktoré by ju mohli lepšie charakterizovať.

Interakciu dvoch telies prostredníctvom silového poľa si možno predstaviť pomocou pavúka, ktorý chytil do svojej pavučiny muchu. Pavúk nepôsobí na muchu priamo, ale prostredníctvom pavučiny – tým, ako pavučinou trhá, sa prenáša tento pohyb na muchu. Jedno teleso (pavúk) tak pôsobí pomocou prostredníka (pavučiny) na druhé teleso (muchu). Analogicky pôsobí naša Zem na kameň padajúci zo skaly: kameň sa Zeme nedotýka, ale Zem na neho napriek tomu pôsobí.

Druhá analógia je výrazne drsnejšia, ale pojem vysvetľuje. Silové pôsobenie Zeme na okolité predmety (kameň padajúci zo skaly, družica obiehajúca okolo Zeme, Mesiac, ...) si možno predstaviť tak, že Zem „ťahá“ tieto predmety neviditeľnými „ručičkami“ k sebe. Zem pri tom „ručičky“ vystrkuje do všetkých smerov tak, že „dosiahnu“ na predmety v rôznych smeroch a rôznych vzdialenostiach. S rastúcou vzdialenosťou predmetu od Zeme ale sila ručičiek slabne – pre Zem je stále obtiažnejšie predmet pritiahnuť k sebe.

V súvislosti s poľom je dobré si uvedomiť aj historický vývoj názorov na prenos informácií prostredníctvom poľa.

V 17. storočí skúmal Isaac Newton **gravitačné pole** – najjednoduchšie a najbežnejšie pole, s ktorým sa stretávame. Pri jeho opise predpokladal tzv. pôsobenie na diaľku. To znamená, že ľubovoľný vzruch (informácia, ...), ktorý sa objaví v jednej časti poľa, sa okamžite rozšíri do celého poľa.

Michael Faraday, ktorý v 18. storočí skúmal magnetické pole a jeho súvislosti s poľom elektrickým, opravil túto predstavu šírenia rozruchu v poli na pôsobenie na blízko: rozruch sa šíri poľom postupne (ako napríklad vlna na vodnej hladine) a preto vzniká určité časové oneskorenie medzi vznikom rozruchu v poli a rozšírením rozruchu do určitého miesta v poli. Túto koncepciu plne potvrdila aj Einsteinova teória relativity.

Sila môže mať na teleso rôzny účinok:

1. **deformačný (statický)** – pôsobenie sily má za následok deformáciu telesa
Rozbitie vajíčka, roztrhnutie nite, pretrhnutie trampolíny,
2. **pohybový (dynamický)** – sila má za následok zmenu pohybového stavu telesa
Roztlačenie auta, zastavenie lopty, zmena smeru pohybu loďky na rybníku,

Na deformačnom účinku sily je založené meranie sily pomocou silomeru: Teleso zavesíme na pružinu, ktorá sa vplyvom pôsobiacej sily natiahne (deformuje) a pomocou okalibrovannej stupnice môžeme odčítať veľkosť pôsobiacej sily.

Účinky sily závisia od jej veľkosti, smeru a polohy pôsobiska.

Sila $\vec{F}$ je vektorová fyzikálna veličina. Účinok sily závisí od jej veľkosti, smeru a polohy pôsobiska. **Jednotkou sily je $\vec{F}$ je**

$$[F] = N = kg \cdot \frac{m}{s^2} \quad [\text{newton}]$$

Vektor sily má rovnaký smer ako okamžité zrýchlenie.

Fakt, že sila je daná veľkosťou, smerom a svým pôsobiskom je možné jednoducho vyskúšať v praxi. Stačí položiť niekoľko predmetov na stôl, na ktorý budete pôsobiť rôznymi silami

(rôzne veľkými, rôzne orientovanými, s rôznym pôsobiskom). Predmety na stole sa budú správať podľa toho, aká sila na ne (resp. na stôl) pôsobí.

Ak pôsobí na jedno teleso viacero síl, je možné ich vektorovo sčítať a nahradiť ich výslednicou, ktorá má na teleso rovnaký účinok ako všetky pôsobiace sily.

Pre zjednodušenie sa definuje pojem izolované teleso:

Izolované teleso je teleso, na ktoré nepôsobí žiadna vonkajšia sila (resp. pôsobia sily tak, že ich výslednica je nulová).

Izolované telesom sa definuje opäť ako model skutočného telesa preto, aby sme pri výpočtoch nemuseli brať do úvahy odporové a trecie sily, ktoré je možné niekedy zanedbať.

Puk, ktorý sa pohybuje po hladkom ľade je dobrým príkladom izolovaného telesa (síce sa za určitý čas zastaví, ale spočiatku je možné ho za izolované teleso považovať). Hoblík hobľujúci drevo bude izolovaným telesom vtedy, pokiaľ naň budeme pôsobiť opačne orientovanou ale rovnako veľkou silou ako je trecia sila medzi hoblíkom a drevom.

2.2.3 Newtonove zákony dynamiky

Sú to tri zákony, na ktorých stojí celá stavba klasickej mechaniky. Platia pre inerciálne vzťažné sústavy.

Izolované teleso (hmotný bod) je také teleso, na ktoré nepôsobia žiadne sily. Izolované teleso, ktoré je v danej vzťažnej sústave v pokoji v pokoji aj zotrúva.

Izolované teleso, ktoré je v pohybe má stále rovnakú rýchlosť, pohybuje sa rovnomerným priamočiarym pohybom.

Izolovaná sústava je taká sústava, kde medzi silami telies nepôsobia sily z vonka.

2.2.3.1 Prvý Newtonov pohybový zákon - zákon zotrúvnosti

Z praxe vieme, že ak chceme rozpohybovať vozík, je potrebné naň rukou pôsobiť silou; pre odpal golfovej loptičky je nutné na loptičku pôsobiť golfovou palicou, pre rozbeh cyklistu na bicykli musí začať cyklista šliapať do pedálov;

Pokiaľ na telesá nepôsobíme silou, zostávajú v relatívnom pokoji. Teda: Každé teleso zotrúva v relatívnom pokoji, pokiaľ nie je silovým pôsobením iného telesa uvedené do pohybu.

Vozík sa pohybuje ďalej aj keď sila ruky už nepôsobí, tak isto letí aj golfová loptička aj keď sa jej palica už nedotýka, cyklista na vodorovnej ceste zotrúva v pohybe i keď prestane šliapať.

Všeobecne možno vyvodiť z týchto poznatkov záver: **Ak nepôsobí na teleso iné telesá silou, zotrúva dané teleso v rovnomernom priamočiarom pohybe.**

Ale vieme na základe každodennej skúsenosti, že vozíček sa zastaví, cyklista (ak nezačne opäť šliapať) postupne zastaví tiež, čo je spôsobené **odporovou silou vzduchu a trecou silou o podložku.**

Silovým pôsobením sa mení nielen veľkosť rýchlosti, ale aj jej smer. Ako príklady môžeme spomenúť odraz puku od mantinelu na štadióne, úder raketou do tenisovej loptičky,

Môžeme formulovať **prvý Newtonov pohybový zákon**, ktorý hovorí o dôležitej vlastnosti telies – o zotrúvnosti. Preto býva často označovaný ako **zákon zotrúvnosti**.

Každé teleso (hmotný bod) zotrúva v relatívnom pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe dovtedy, pokiaľ nie je prinútené vonkajšími silami tento stav zmeniť.

Inými slovami: Ak nepôsobí na teleso sila, pohybuje sa bez zrýchlenia.

Poznámka - Prvý Newtonov zákon zotrvačnosti v originále: *Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.*

Tento zákon je základným predpokladom pre potvrdenie, že daná sústava je inerciálna. Dôsledkom tohoto zákona je rovnomerný priamočiary pohyb, ktorý charakterizuje nulové zrýchlenie. V praxi sa rovnomerne priamočiary pohybujú sondy v medziplanetárnom priestore, pretože na ne nepôsobia sily dosť veľké na to, aby ich znateľne spomalili. Na Zemi dosiahneme rovnomerný priamočiary pohyb tak, aby výslednica síl pôsobiaca na teleso bola rovná nule. **Výslednica síl** je taká sila, ktorá má na teleso (hmotný bod) rovnaký účinok ako všetky sily naň pôsobiace.

Je vhodné poznamenať, že podľa Aristotelovho názoru na udržanie pohybu je potrebná sila (voz sa pohyboval, iba ak ho kôň ťahal). Takýto názor vznikol na základe laickej skúsenosti. Newton však dokázal abstrahovať pohyb do podmienok bez trenia, bez pôsobenia iných telies (síl) aj napriek tomu, že takéto podmienky sa na Zemi fakticky nedajú vytvoriť.

Zotrvačnosť telies v praxi:

1. **Zotrvačnosť telies v pokoji** – každé uvedenie telesa do pohybu
V rozbiehajúcom autobuse máme tendenciu zotrvať v pokoji – preto padáme proti smeru rozbiehania.
2. **Zotrvačnosť telies v pohybe** – náhle brzdenie telies, náhla zmena smeru rýchlosti
Ak autobus prudko zabrzdí, padáme v smere pohybu. Rovnako tak (pokiaľ sa nedržíme alebo nesedíme) padáme, ak autobus prechádza cez „ostrú“ zákrutu.

Podľa prvého pohybového zákona sú pokoj a rovnomerný priamočiary pohyb ekvivalentné. Oba typy pohybov sú pohyby s nulovým zrýchlením. Vzťažné sústavy, v ktorých zostávajú izolované telesá v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe (teda sústavy, v ktorých platí prvý Newtonov zákon), sa nazývajú **inerciálne sústavy**. Sústavy, v ktorých prvý pohybový zákon neplatí, sa nazývajú **neinerciálne sústavy**.

Pre bežné výpočty môžeme považovať našu Zem za inerciálnu sústavu, pri letoch do vesmíru možno za inerciálnu sústavu považovať aj sústavu spojenú so Slnkom či hviezdami, pretože zrýchlenie týchto sústav je veľmi malé.

Vzťažné sústavy

- A. **Inerciálne vzťažné sústavy** sú vzťažné sústavy, v ktorých izolované hmotné body zostávajú v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe (izolované hmotné body majú vlastnosť zotrvať v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe). Zmenu pohybového stavu hmotných bodov môže v inerciálnej sústave spôsobiť len ich vzájomné pôsobenie s inými objektmi v rámci tejto sústavy.

Inerciálnu vzťažnú sústavu používame pre pohyby prebiehajúce na povrchu Zeme alebo v jej blízkosti, vzťažná sústava je spojená so zemským povrchom. Platí tu mechanický princíp relativity – Galileiho princíp relativity a Newtonove zákony. Zákony mechaniky sú rovnaké vo všetkých neinerciálnych sústavách. Rovnice, ktoré ich vyjadrujú majú rovnaký tvar.

Príklad: Ak cestujeme vlakom, ktorý sa pohybuje priamočiarým rovnomerným pohybom a nemáme možnosť vidieť von, nepozorujeme, či je daná sústava vzhľadom na povrch Zeme v klude alebo v pohybe.

Všetky inerciálne vzťažné sústavy sú pre opis mechanických dejov rovnocenné.

- B. **Neinerciálne vzťažné sústavy** sú vzťažné sústavy, v ktorých zmena pohybového stavu hmotného bodu môže nastať bez vzájomného pôsobenia s inými objektmi (vzťažné sústavy, ktoré sa vzhľadom na niektorú inerciálnu vzťažnú sústavu pohybujú so zrýchlením). Izolované hmotné body v nich nezostávajú v pokoji alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe. V neinerciálnej vzťažnej sústave neplatia Newtonove zákony.

Neinerciálna vzťažná sústava je taká sústava, ktorá sa vzhľadom k inej inerciálnej vzťažnej sústave pohybuje inak ako rovnomerne priamočiary. Najjednoduchšia je tá, ktorá sa vzhľadom k inerciálnej vzťažnej sústave pohybuje rovnomerne zrýchleným priamočiarým pohybom s konštantným zrýchlením. V neinerciálnej vzťažnej sústave neplatia pohybové zákony.

Príklad: Ak cestujeme vlakom, ktorý sa pohybuje priamočiarym rovnomerne zrýchleným pohybom a nemáme možnosť vidieť von, pozorujeme, či je daná sústava vzhľadom na povrch Zeme v klude alebo v pohybe pomocou jednoduchého mechanického pokusu (gulička na podlahe vagónu). Na guličku pôsobí sila: $\vec{F}_z = -m \cdot \vec{a}$. Táto sila sa nazýva zotrvačná sila.

V neinerciálnych vzťažných sústavách nezostáva izolované teleso v klude alebo v rovnomernom priamočiarym pohybe. Na teleso v neinerciálnej vzťažnej sústave pôsobí zotrvačná sila $\vec{F}_z = -m \cdot \vec{a}$, vznikajúca ako dôsledok zrýchleného pohybu sústavy. Zotrvačné sily existujú len v neinerciálnych vzťažných sústavách.

Zotrvačná sila sa prejavuje pri rozbiehaní alebo zastavovaní vlaku. Ten má voči Zemi zrýchlenie $\vec{a}$. Pri rozbiehaní vlaku sa bude gulička pohybovať dozadu vagónu a pri zastavovaní dopredu. Rovnako to budú počítať i cestujúci.

Sústava sa môže vzhľadom k Zemi pohybovať i rovnomerne zrýchlene v zvislom smere, napríklad kabína výťahu. Aj tu sa prejavuje pôsobenie zotrvačnej sily. Zrýchlenie smerom hore pri rozbehu nahor a brzdenie smerom nadol sa prejavuje úbytkom tiaže. Pri voľnom páde sa telesá vo výťahu ocitajú v stave beztiaže (na telesá pôsobí tiaž a zotrvačná sila, ktoré sa navzájom vyrušia).

2.2.3.2 Druhý Newtonov pohybový zákon - zákon sily

Ak začne na teleso v inerciálnej sústave pôsobiť iné teleso, zmení sa pohybový stav daného telesa. Teleso sa bude pohybovať so zrýchlením.

Z bežného života vieme, že ak chceme roztláčiť prázdny a plný vozík, musíme pôsobiť na plný vozík väčšou silou, aby sa oba vozíky pohybovali s rovnakým zrýchlením.

Tiež vieme, že automobil s výkonnejším motorom, ktorý vyvinie väčšiu ťažnú silu, sa rozbieha s väčším zrýchlením (pri rovnakej hmotnosti).

Zrýchlenie telesa je priamo úmerné pôsobiacej sile: $a \approx F$

Plne naložený automobil sa rozbieha pomalšie (teda s menším zrýchlením) ako ten istý automobil, ktorý je prázdny.

Zrýchlenie je nepriamo úmerné hmotnosti telesa pri rovnakej pôsobiacej sile: $a \approx \frac{1}{m}$

Môžeme formulovať **druhý Newtonov pohybový zákon – zákon sily**:

Veľkosť zrýchlenia hmotného bodu je priamo úmerná veľkosti výslednice síl pôsobiacich na hmotný bod a nepriamo úmerná hmotnosti telesa $a = \frac{F}{m}$. Smer

zrýchlenia je zhodný so smerom výslednice síl, teda $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

Druhý Newtonov pohybový zákon môžeme tiež formulovať aj takto:

Stála sila $\vec{F}$, ktorá pôsobí na teleso s hmotnosťou m uvedie teleso do rovnomerne zrýchleného pohybu so zrýchlením $\vec{a}$; pritom platí $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, resp. $F = m \cdot a$.

Poznámka - Druhý Newtonov pohybový zákon v originále: *Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae et fieri secundam lineam rectam qua vis illa imprimitur.*

Hovorí o zrýchlení, ktorým sa v inerciálnej sústave pohybuje teleso, ak naň pôsobí vonkajšia sila. V tomto vzťahu vystupujú dva ústredné pojmy dynamiky - **sila** a **hmotnosť**.

Zrýchlenie $\vec{a}$ telesa je priamoúmerné pôsobiacej sile $\vec{F}$ a nepriamo úmerné jeho hmotnosti m

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Smer zrýchlenia je zhodný so smerom výslednice síl pôsobiacich na teleso (hmotný bod). Ak začnú na teleso pôsobiť iné telesá (polia) silami, zmení sa pohybový stav telesa. Teleso sa začne pohybovať so zrýchlením.

Na základe druhého pohybového zákona môžeme definovať jednotku sily – jeden newton: $[F] = N = kg \cdot \frac{m}{s^2}$.

Sily udeľujú telesu zrýchlenie podľa druhého pohybového zákona nezávisle na tom, či bolo teleso pôvodne v pohybe alebo v pokoji. Zvláštnym prípadom je situácia, kedy výslednice síl pôsobiacich na teleso je nulová. Také teleso sa pohybuje s nulovým zrýchlením.

Ak budeme tlačiť automobil silou, ktorej veľkosť bude rovnaká ako súčet veľkostí odporových a trecích síl pôsobiacich proti pohybu, bude sa automobil pohybovať rovnomerným pohybom (t.j. s nulovým zrýchlením).

Z druhého pohybového zákona v tvare $F = m \cdot a$ vyplýva prvý pohybový zákon. Aj je totiž $F = 0N$, je aj $a = 0.m.s^{-2}$ (hmotnosť telesa nemôže byť nulová). To znamená, že sa teleso pohybuje rovnomerným priamočiarym pohybom alebo je v pokoji (v danej vzťažnej sústave).

Druhý pohybový zákon tiež umožňuje dynamické meranie hmotnosti telesa: ak poznáme veľkosť výslednice síl pôsobiacich na teleso a zmeriame zrýchlenie, je možné hmotnosť telesa určiť pomocou vzťahu: $m = \frac{F}{a}$.

Dôsledkom tohoto zákona je, že na všetky telesá na Zemi pôsobí tiažová sila

$$\vec{G} = \vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$$

Táto sila pôsobí rovnako ako tiažové zrýchlenie - zvisle dole.

Silu možno merať napríklad z predĺženia pružiny, na ktorú sila pôsobí. V takomto prípade by sme silu definovali ako veličinu, ktorá je priamoúmerná predĺženiu pružiny. Za jednotkovú by sme potom mohli zvoliť silu, ktorá by konkrétnu pružinu predĺžila o definovanú dĺžku. Takáto definícia by však nedovoľovala merať ľubovoľne veľké sily, pre možnosť zničenia pružiny. Navyše starnutím materiálu pružiny by sa nekontrolovateľne menila veľkosť jednotky sily. Preto sa sila definuje na základe zrýchlenia, ktoré udelí telesu: podiel veľkostí dvoch síl F a F_1 rovná sa podielu zrýchlení a , a_1 , ktoré tieto sily udelia tomu istému (ale ľubovoľnému) telesu:

$$\frac{F}{F_1} = \frac{a}{a_1}$$

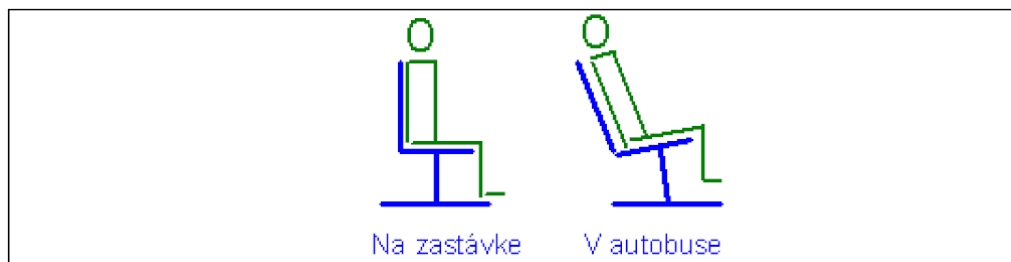
Hmotnosť je veličina, ktorá vyjadruje zotrvačné vlastnosti telies. Ak rovnakou silou urýchlujeme dve telesá (ich hmotnosti označíme m a m_2), zrýchlenie väčšieho ("ťažšieho") je menšie. Preto hmotnosť definujeme pomocou nepriamej úmernosti

$$\frac{m}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

Príklad:

Pri rozbiehaní dopravného prostriedku zrýchlením $\vec{a}$ cestujúci pociťuje, že do chrbta ho tlačí operadlo, pričom operadlo je počas rozbiehania mierne ohnuté. Za mieru sily pôsobiacej na cestujúceho môžeme považovať deformáciu operadla. Pozorovateľ tejto udalosti nachádzajúci sa v inerciálnej sústave (viazanej na autobusovú zastávku) vidí, že cestujúci sa pohybuje zrýchleným pohybom, čo si vysvetlí silou pôsobiacou na cestujúceho, pochádzajúcou z ohnutia operadla (keď si pravdaže odmyslíme autobus). Pozorovateľ viazaný na autobus, teda neinerciálnu sústavu, vidí, že cestujúci aj sedadlo sú v pokoji, jeho zrýchlenie je nulové, ale vidí, že operadlo je deformované. Preto usúdi, že na cestujúceho pôsobí sila, ktorá sa prenáša na operadlo, ale nepozná jej príčinu. Tá zodpovedá $-m \cdot \vec{a}$. Rovnako veľké,

spätne pôsobenie operadla na cestujúceho, udržiava ho v neinerciálnej sústave v pokoji. V inerciálnej sústave skutočná sila, ktorej pôvod je v deformácii operadla, vyvolá zrýchlenie cestujúceho, v neinerciálnej je kompenzovaná zotrvačnou silou. Pritom zotrvačná sila nemá pôvod v niektorej z vyššie uvedených fyzikálnych interakcií.

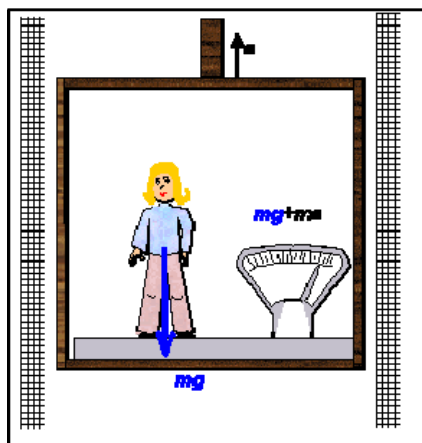


Keby na zastávke bolo podobné sedadlo s cestujúcim, nebol by dôvod na ohnutie operadla, lebo je vzhľadom na inerciálnu sústavu v pokoji. Ale pozorovateľ z rozbiehajúceho sa vozidla vidí, že vzhľadom na jeho sústavu sa čakajúci cestujúci spolu so sedadlom pohybuje zrýchleným pohybom. Ani on nepozoruje, že by operadlo sedadla bolo deformované. Pozorovateľ z neinerciálnej sústavy musí zrýchlený pohyb čakajúceho cestujúceho a jeho stoličky vysvetliť pôsobením zotrvačných síl, pričom nepozoruje reakciu na tieto sily.

Zotrvačné sily, ktorým hovoríme aj **fiktívne sily**, nemajú reakciu.

Príklad:

Dievča s hmotnosťou m stojí na váhach, ktoré sú umiestnené v kabíne výtahu. Rozhodnite, či váha ukáže rovnakú výchylku, ak výtah



- je v klude,
- rozbíha sa so zrýchlením smerom nahor,
- pohybuje sa so spomalením smerom nahor,
- pohybuje sa so zrýchlením smerom nadol,
- so spomalením smerom nadol.

Kedy bude dievča relatívne najspokojnejšie so svojou hmotnosťou, ak dbá o svoju štíhlu líniu?

Riešenie

a) Výtah v pokoji predstavuje inerciálny systém, v ktorom jedinou pôsobiacou silou je tiažová sila $\vec{G}(0,0,m \cdot g)$. Váhy v pokoji ukážu výchylku, zodpovedajúcu tiaži dievčaťa $G = m \cdot g$.

b) Ak sa výtah pohybuje so zrýchlením $\vec{a}$ smerom nahor, jedná sa o neinerciálny vzťažný systém. Musíme k skutočnej tiažovej sile $G = m \cdot g$ pripočítať sily zotrvačné. Počas pohybu výtahu so zrýchlením $\vec{a}$ vzniká dodatočná príťažlivá sila smerom opačným ako zrýchlenie, ktoré ju vyvolalo.

Pohybová rovnica vo vektorovom tvare pre neinerciálny systém bude $m\vec{a} = \vec{G} + \vec{F}_0$. Sila zotrvačnosti (dodatočná príťažlivá sila) a zemská príťažlivosť majú smer v jednej priamke.

V prípade pohybu výtahu so zrýchlením $\vec{a}$ smerom nahor, bude zotrvačná sila smerom nadol $\vec{F}_0(0,0,a)$. Vektorová pohybová rovnica prejde na skalárny tvar

$$m \cdot a' = m \cdot g + m \cdot a = m \cdot (g + a)$$

Váha ukáže väčšiu výchylku, zväčšenú práve o súčin $m \cdot a$.

c) V prípade pohybu so spomalením $\vec{a}$ smerom nahor, vektor zrýchlenia neinerciálnej sústavy má smer nadol, takže $\vec{F}_0(0,0,-m \cdot a)$, a pohybová rovnica prejde na tvar

$$m \cdot a' = m \cdot g - m \cdot a = m \cdot (g - a)$$

Váha ukáže menšiu výchylku práve o súčin $m \cdot a$ vzhľadom na výchylku váh v stave, keď výťah je v kľude.

d) V prípade keď sa výťah pohybuje so zrýchlením $\vec{a}$ smerom nadol, dodatočná príťažlivá sila zotrvačnosti má smer opačný t.j. $\vec{F}_0(0,0,-m \cdot a)$ a pohybová rovnica bude

$$m \cdot a' = m \cdot g - m \cdot a = m \cdot (g - a)$$

Váha ukáže opäť menšiu výchylku práve o súčin $m \cdot a$.

e) V prípade pohybu výťahu so spomalením $\vec{a}$ smerom nadol, vektor zrýchlenia neinerciálnej sústavy má smer nahor, takže dodatočná príťažlivá sila zotrvačnosti je $\vec{F}_0(0,0,m \cdot a)$. Pohybová rovnica má tvar

$$m \cdot a' = m \cdot g + m \cdot a = m \cdot (g + a)$$

Váha ukáže väčšiu výchylku odpovedajúcu práve súčinu $m \cdot a$.

Dievča, ktoré dbá o svoju štíhlu líniu, bude „relatívne“ najspokojnejšie so svojou hmotnosťou m , ak sa bude vážiť buď v brzdiacom výťahu smerom nahor resp. v rozbiehajúcom sa výťahu smerom nadol. V oboch prípadoch váhy ukážu menšiu hodnotu, ktorá od skutočnej tiaže $m \cdot g$ sa zmenší o dodatočnú tiaž $m \cdot a$. V týchto prípadoch všetky telesá, ktoré sú vo výťahu, akoby boli ľahšie. Čím väčšie je zrýchlenie výťahu, tým väčšia je strata tiaže.

2.2.3.3 Tretí Newtonov pohybový zákon - zákon akcie a reakcie

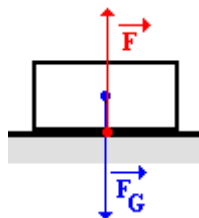
Ľubovoľné dve telesá na seba vzájomne pôsobia rovnako veľkými silami opačného smeru (jednej sile hovoríme akcia, druhej reakcia). Akcia a reakcia súčasne vznikajú a súčasne zanikajú.

Poznámka – Tretí Newtonov pohybový zákon v originále: *Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem; sive: corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.*

Napriek tomu sa nám môže javiť, že sa silové účinky oboch telies vzájomne rušia, nie je tomu tak.

Jednoduchý experiment nás o tom presvedčí: Ak dostanete od niekoho facku na tvár, na tvári sa objaví červený otlačok ruky, ktorá facku dala. Obe sily sa teda nemohli vzájomne vykompenzovať – ako by inak vznikol ten červený otlačok ?

Vzhľadom k tomu, že každá sila pôsobí na iné teleso, tak sa v svojich účinkoch nerušia.



Na knihu ležiacu na stole pôsobí tiažová sila $\vec{F}_G$ zvisle dole; táto sila (akcia) vyvolá reakciu stolu, ktorý pôsobí silou $\vec{F}$ zvisle nahor (pretože „kniha stôl neprelomí“).

Pôvod sily $\vec{F}$ je v deformácii stolu. Podľa veľkosti deformácie (tj. hmotnosti záťaže) stolu, stôl „pozná“ akou veľkou silou má pôsobiť smerom nahor.

Podľa druhého pohybového zákona udeľuje sila telesu zrýchlenie. To ale nezávisí len od sily, ale aj od hmotnosti telesa. Zrýchlenie telies, ktoré na seba vzájomne pôsobia akciou a reakciou, preto nie sú obvykle rovnako veľké.

Poznáme to i z praxe – dvaja kamarádi – jeden chudý a druhý zavalitý – stoja každý na svojom skejte a odrazia sa od seba. Na oboch pôsobí rovnaká sila, ale zavalitý sa bude pohybovať podstatne pomalšie (s menším zrýchlením) ako chudý.

Ak na seba pôsobia dve telesá, tak rovnakými silami opačného smeru, pričom pôsobia v jednej priamke. Tieto sily vznikajú a zanikajú súčasne.

Ak silu pôsobiacu na jedno teleso nazývame **akcia**, silu opačného smeru, pôsobiacu na druhé teleso, nazývame **reakcia**.

Dôsledkom tretieho zákona je zdanlivý paradox, že sila, ktorou pôsobí Zem na kameň je rovnako veľká, ako jej reakcia, teda sila, ktorou kameň pôsobí na Zem. Tieto dve sily sú rovnako veľké, ale rozdiel je v ich účinkoch - zrýchlenie kameňa pri voľnom páde je neporovnateľne väčšie ako zrýchlenie, ktorému podlieha Zem v dôsledku pôsobenia kameňa. Pomer týchto zrýchlení je nepriamo úmerný hmotnostiam týchto telies.

Záverom je vhodné ešte raz zdôrazniť, že akcia a reakcia nepôsobia na to isté teleso. Nemôžu sa teda ich účinky vzájomne vykompenzovať. Častou chybou takéhoto druhu je vysvetľovanie pohybu družice po kružnici okolo Zeme kompenzáciou dostredivej gravitačnej sily a odstredivej sily, ako reakcie na ňu. Ak by sily pôsobiace na družicu boli vykompenzované, musela by sa podľa prvého Newtonovho zákona pohybovať po priamke konštantnou rýchlosťou.

Princíp superpozície síl dopĺňa tri Newtonove zákony. Hovorí, že ak na časticu s hmotnosťou m pôsobí súčasne viac síl - $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$ a tieto sily pôsobia na časticu samostatne,

jej udeľia zrýchlenia $\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_1}{m}, \vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_2}{m}, \dots$, potom pri súčasnem pôsobení síl častica sa bude pohybovať so zrýchlením

$$\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \dots = \frac{(\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots)}{m}$$

Kontrolné otázky

1. Čo je predmetom štúdia dynamiky?
2. Kedy hovoríme o tzv. newtonovskej mechanike resp. o dynamike klasickej nerelativistickej mechaniky?
3. Zadefinujte pojem izolovaná vzťažná sústava.
4. Definujte inerciálnu vzťažnú sústavu. Uveďte príklady takýchto sústav.
5. Je sústava pevne spojená so Zemou inerciálna? Za akých podmienok ju musíme považovať za neinerciálnu sústavu?
6. Ktorá veličina patrí medzi najvýznamnejšie dynamické charakteristiky telies?
7. Definujte pojem sila a napíšte jej rozmer pomocou základných jednotiek sústavy SI.
8. Vyslovte základné zákony mechaniky.
9. Ako sa pohybuje teleso o hmotnosti m ak naň súčasne pôsobia tri sily?
10. Napíšte a formulujte princíp superpozície.
11. Vyslovte zákon akcie a reakcie.