

Meno a priezvisko:

Škola:

Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium

Školský rok/blok:

Predmet:

Skupina:

Trieda:

Dátum:

Teória

2 Mechanika hmotného bodu

2.1 Kinematika

2.1.0 Úvod do kinematiky

Najstarším odvetvím fyziky, ktoré sa začalo rozvíjať bola **mechanika**. Jej základy vybudoval taliansky učenec Galileo Galilei (1564-1642) a anglický fyzik, matematik a astronóm Isaac Newton (1642-1727). Mechanika sa zaoberá štúdiom najjednoduchšieho fyzikálneho javu, ktorý každý pozná z vlastnej skúsenosti – **mechanický pohyb**. Podľa toho, o aké charakteristiky pohybu sa zaujíname, delíme mechaniku na dve odvetvia:

1. **Kinematika** – zaoberá sa opisom pohybu (trajektória, dráha, rýchlosť, ...), teda skúma **ako** sa príslušné teleso či hmotný bod pohybuje.
2. **Dynamika** – zaoberá sa príčinami pohybu (sily pôsobiace na daný hmotný bod či teleso), teda skúma **prečo** sa príslušné teleso či hmotný bod pohybuje.

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 nevšíma príčiny**, ktoré ho vyvolávajú. **Dynamika** skúma pohyb **v súvislosti s príčinami**, ktoré ho spôsobujú.

Cieľom mechaniky je opísať a skúmať najjednoduchšie typy pohybov a vysvetliť fyzikálne zákonitosti mechanických pohybov v oblasti makrosveta. Ako najjednoduchší mechanický pohyb sa ukazuje **pohyb tzv. hmotného bodu**. V aproximácii hmotného bodu, si zavedieme základné pojmy a základné zákonitosti klasickej mechaniky, v ktorej sa hmotný bod pohybuje **dáľe menšími rýchlosťami ako je rýchlosť svetla**.

Definujeme si základné kinematické veličiny: polohový vektor $\vec{r}$, rýchlosť $\vec{v}$ a zrýchlenie $\vec{a}$. Taktiež budeme skúmať dva základné typy pohybov: **pohyb po priamke a pohyb po kružnici, z ktorých možno zložiť ľubovoľný všeobecný pohyb**. Podstatou pohybu a príčinou vzniku pohybov sa zaoberá dynamika, ktorej venujeme druhú kapitolu. Základ tvoria tri Newtonove zákony. S pôsobením sily v inerciálnej a neinerciálnej sústave súvisia i veličiny: práca, impulz a energia.

Potrebné vedomosti

Na zvládnutie tejto kapitoly je vhodné naštudovať rozdelenie fyzikálnych veličín, poznať základné a odvodené jednotky fyzikálnych veličín v SI sústave. Za nevyhnutné považujeme dobre ovládať základy vektorového počtu: vyjadrenie vektora vo zvolenej súradnicovej sústave, základné matematické operácie s vektormi, skalárny a vektorový súčin dvoch (troch) vektorov, zmiešaný súčin vektorov, ich význam a uplatnenie vo svete okolo nás. Hladké zvládnutie učiva predpokladá priemerné znalosti z matematiky týkajúce sa riešenia najmä rovníc.

Uloha: Pochopiť pojmy pokoj a pohyb. Pohyb ako vlastnosť hmoty. Pochopenie pojmov dráha a trajektória a ich súvislosti. Pojmy okamžitá a priemerná rýchlosť. Zdôrazniť grafické metódy v kinematike. Pohyby a ich grafické závislosti. Čítanie grafov. Zrýchlený pohyb ako kvadratická funkcia. Grafické riešenie úloh. Význam brzdení dráhy v doprave. Relatívnosť pokoja a pohybu. Premena jednotiek.

2.1.1. Základné pojmy v kinematike: teleso, hmotný bod, mechanický pohyb, relativnosť pokoja a pohybu

Kinematika sa zaoberá určením polôh bodov a ich zmien v čase. Kinematika pohyb telesa opisuje, nezaobera sa príčinami pohybu. Pri teoretickom štúdiu mechanického pohybu (proces, pri ktorom sa mení poloha jedného telesa vzhľadom na iné teleso) sa zavádza pojem hmotný bod.

Hmotný bod je model telesa, pri ktorom sa hmotnosť telesa zachováva, ale jeho rozmery sa zanedbávajú. Je to objekt, ktorého rozmery sú zanedbateľné vzhľadom na geometrické dimenzie, z hľadiska ktorých pohyb posudzujeme, ale jeho hmotnosť je konečná a nezanedbateľná a treba s ňou počítať.

Hmotný bod je každé teleso, ktorého rozmery sú vzhľadom k rozmerom zvolenej vzťažnej sústavy zanedbateľné. Je charakterizovaný len hmotnosťou telesa. Nezaujíma sa o jeho vnútornú štruktúru. Zavedením hmotného bodu si opis fyzikálnej situácie zjednodušujeme, aby sme nemuseli uvažovať detaily (vnútorné zloženie, tvar, ...), ktoré pohyb neovplyvnia vôbec (alebo len zanedbateľne). Hmotným bodom môže byť ping-pongová loptička, ale aj slon alebo planéta Zem. Závisí na voľbe vzťažnej sústavy. Slona prehánajúceho sa na prérii môžeme považovať za hmotný bod, ale slona v klietke nákladného auta, ktoré ho preváža z jednej ZOO do druhej, za hmotný bod považovať nemožno !

Na opis mechanického pohybu sa zavádza **vzťažný bod** a **vzťažná sústava**, vzhľadom na ktorú určujeme polohu telesa a jej zmenu v závislosti od času.

Mechanický pohyb - ak telesá alebo ich časti menia svoju polohu vzhľadom na iné telesá, hovoríme o mechanickom pohybe - pohyb sa deje v priestore a čase. Mechanický pohyb je najjednoduchšia forma pohybu.

Pokoj alebo pohyb môžeme určovať len vzhľadom na vzťažnú sústavu – relativnosť pokoja a pohybu (**relativnosť mechanického pohybu znamená, že opis pohybu závisí od voľby vzťažnej sústavy**).

Vzťažná sústava je súbor (sústava) telies, ktoré sú vzájomne v pokoji a voči nim pohyb opisujeme. Vzťažnou sústavou môžu byť skutočné telesá (strom pri ceste, divák na atletických závodoch, ...) alebo myslené telesá (súradnicová sústava, ...). Pokoj alebo pohyb je vždy relatívny – závisí na voľbe vzťažnej sústavy: Na diaľnici ide v pravom pruhu Škoda Favorit a v ľavom pruhu rovnakou rýchlosťou Škoda Felícia. Felícia je vzhľadom na Favorit v pokoji, zatiaľ čo vzhľadom k stromom popri ceste sa pohybuje.

2.1.2 Poloha hmotného bodu a jej vyjadrenie pomocou súradníc; Trajektória a dráha; Posunutie; Klasifikácia pohybov

Pri fyzikálnych úvahách opisujeme pohyb vždy vzhľadom na určitú súradnicovú sústavu, v ktorej polohu bodu všeobecne určujú jeho tri súradnice. Najčastejšie ide o karteziánsku (pravouhlú) pravotočivú súradnicovú sústavu, v ktorej je poloha bodu určená súradnicami x , y , z .

Ak je bod v pokoji, sú jeho súradnice x , y , z v čase nepremenné – konštantné. Pri pohybe sú súradnice bodu funkciami času, takže platí $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$. Stručne môžeme povedať:

pokoj x , y , z sú konštanty

pohyb $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ sú funkcie času

Mechanický pohyb vo všeobecnosti môže vyzeráť veľmi rozmanito. Existujú dva jednoduché typy mechanického pohybu: **translačný pohyb hmotného bodu (častice) po priamke** a **rotačný pohyb po kružnici**, ktoré majú tú vlastnosť, že akýkoľvek mechanický pohyb možno rozložiť na konečný počet týchto dvoch pohybov.

Ak chceme popísať pohyb, musíme v každom časovom okamihu poznať polohu bodu. Polohu bodu v trojrozmernom priestore určujeme najčastejšie karteziánskymi súradnicami x, y, z (bod A na obr. 2.1.1.1). Rovnocenné je určenie polohy polohovým vektorom

$$\vec{r} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k} \quad (2.1.1.1)$$

Polohový vektor

Polohu hmotného bodu možno udať aj jeho polohovým vektorom $\vec{r}$. Je to vektor, ktorého začiatkový bod je v začiatku súradnicovej sústavy a koncový bod v mieste, kde sa hmotný bod práve nachádza.

Keď chceme priateľovi ukázať lietadlo pohybujúce sa vo veľkej výške, ukážeme mu rukou smer, v ktorom ho vidíme. Ak by sme však chceli určiť jeho polohu jednoznačne, museli by sme udať ešte aj jeho vzdialenosť od nás. Tým by sme však vlastne určili polohový vektor lietadla vychádzajúci zo začiatku (miesta, v ktorom sa nachádzame) a končiaci tam, kde sa práve nachádza lietadlo. Uvedený vektor sa však v čase mení.

Stručne:

Pokoj $\vec{r}$ je konštantný vektor
pohyb $\vec{r}(t)$ je vektor závislý od času

Funkcia $\vec{r}(t)$ je vektorová funkcia skalárneho argumentu t .

Pre polohový vektor $\vec{r}$ platí

$$\vec{r} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k}$$

kde $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ sú jednotkové vektory rovnobežné so súradnicovými osami karteziánskej súradnicovej sústavy a x, y, z príslušné karteziánske súradnice. Vektory $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ tvoria bázu tejto sústavy. Súradnice polohového vektora, a teda vektor $\vec{r}$ pri pohybe častice sa postupne menia, sú funkciami času: $\vec{r} = x(t) \cdot \vec{i} + y(t) \cdot \vec{j} + z(t) \cdot \vec{k}$. Polohový vektor možno rozložiť do zložiek v tvare

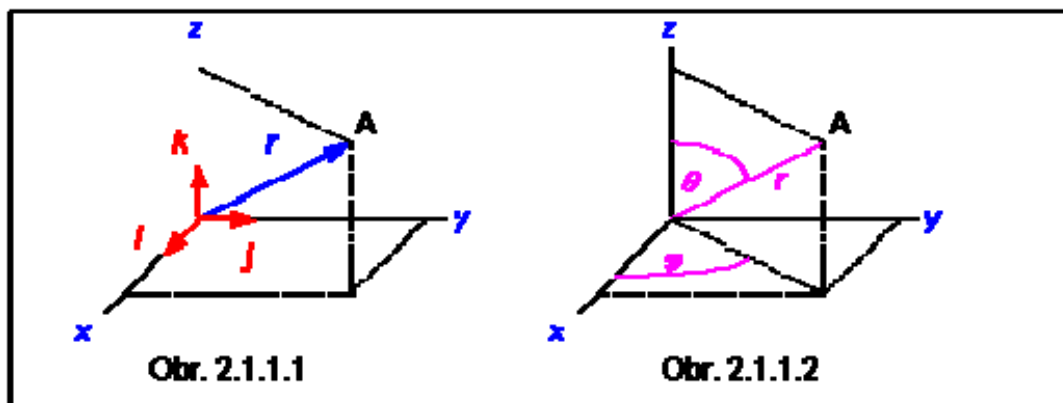
$$\vec{r} = \vec{r}_x + \vec{r}_y + \vec{r}_z \quad (2.1.1.2)$$

kde veľkosť polohového vektora je určená vzťahom

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (2.1.1.3)$$

Vektorová funkcia $\vec{r}(t)$ je ekvivalentná s tromi skalárnymi funkciami $x(t), y(t), z(t)$. Jednotkou polohového vektora je vektor daného smeru, ktorého veľkosť je jeden meter.

Používanie karteziánskej sústavy nie je vždy optimálne. Napríklad pri opise sústav s guľovou symetriou, je výhodné použiť **sférickú** súradnicovú sústavu, v ktorej sa používajú *sférické* súradnice s označením r, θ, φ . Pritom r predstavuje vzdialenosť bodu od začiatku súradnicovej sústavy, θ uhol medzi polohovým vektorom $\vec{r}$ a osou z , a φ uhol medzi osou x a priemetom vektora $\vec{r}$ do roviny (xy) . Súradnice vidno na obrázku 2.1.1.2, na základe ktorého možno overiť vzťahy medzi karteziánskymi a sférickými súradnicami bodu A.



$$z = r \cdot \cos \theta ; y = r \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi ; x = r \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi \quad (2.1.1.4)$$

a opačne:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} ; \cos \theta = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} ; \sin \varphi = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (2.1.1.5)$$



Trajektória je množina (súhrn) všetkých polôh, v ktorých sa hmotný bod pri pohybe vyskytuje, dĺžka trajektórie sa nazýva **dráha**.

Ak trajektória hmotného bodu je časť priamky, koná bod priamočiary pohyb, v ostatných prípadoch je to krivočiary pohyb.

Pri pozorovaní mechanického pohybu sledujeme zmeny polohy telesa v čase vzhlľadom na vzťažné teleso. Pokoj alebo pohyb môžeme zisťovať len vzhlľadom na vzťažnú sústavu. V tomto zmysle hovoríme o relatívnosti pokoja a pohybu.

Posunutie

Zmenou polohy hmotného bodu vo fyzike určujeme orientovanou úsečkou, ktorá spája začiatočnú a koncovú polohu hmotného bodu. Veličina, ktorú tato orientovaná úsečka predstavuje, nazýva sa orientovane posunutie alebo vektor posunutia.

Dĺžka úsečky AB znázorňuje v zvolenej mierke vzdialenosť jeho začiatočného a koncového bodu pri pohybe a nazýva sa veľkosť posunutia, smer polpriamky AB určuje smer posunutia.

Skladať dve po sebe nasledujúce posunutia hmotného bodu znamená, že do koncového bodu prvého posunutia umiestnime začiatočný bod druhého posunutia. Výsledné posunutie je určené začiatočným bodom prvého posunutia a koncovým bodom druhého posunutia.

Zložením niekoľkých posunutí rovnakého smeru vznikne posunutie takého istého smeru a jej veľkosť sa rovná súčtu veľkosti jednotlivých posunutí.

Klasifikácia pohybov

Mechanický pohyb vo všeobecnosti môže vyzeráť veľmi rozmanito. Existujú dva jednoduché typy mechanického pohybu: **translačný pohyb hmotného bodu (častice) po priamke** a **rotačný pohyb po kružnici**, ktoré majú tú vlastnosť, že akýkoľvek mechanický pohyb možno rozložiť na konečný počet týchto dvoch pohybov.

A. Trajektórie: priamočiare

krivočiare

B. Závislosti veľkosti rýchlosti od času:

rovnomerne
nerovnomerne

C. Zrýchlenia:

priamočiary rovnomerne zrýchlený
rovnomerný pohyb po kružnici

Kontrolné otázky

1. Ako je definovaná karteziánska súradnicová sústava?
2. Ktorá časť mechaniky sa zaoberá len opisom pohybu?
3. Čo je predmetom štúdia kinematiky?
4. Čo je predmetom štúdia dynamiky?
5. Akou rýchlosťou sa môže pohybovať hmotný bod, resp. teleso, aby sme jeho pohyb skúmali pomocou klasickej mechaniky?
6. Ktorá časť mechaniky sa zaoberá podstatou pohybu a príčinou vzniku pohybov?
7. Definujte pojem vzťažná sústava.
8. Definujte pojem hmotný bod a uveďte príklady, kedy môžeme teleso považovať za hmotný bod.
9. Aké základné dva druhy mechanického pohybu rozlišujeme?
10. V akých vzťažných sústavách najčastejšie skúmame pohyb?
11. Definujte pojem polohový vektor hmotného bodu a napíšte jeho matematické vyjadrenie. Vysvetlite význam jednotlivých veličín.

Teleso konečných rozmerov

Pri štúdiu pohybu Zeme okolo Slnka môžeme Zem považovať za hmotný bod, pretože rozmery Zeme sú v porovnaní so vzdialenosťou od Slnka a vzhľadom na presnosť určenia tejto vzdialenosti zanedbateľne malé. Avšak ak skúmame otáčavý pohyb Zeme okolo jej osi, takéto zanedbanie rozmerov Zeme urobiť nemôžeme.

Vzťažné teleso

Vzťažná sústava môže byť viazaná i na viac telies, ktoré sú voči sebe v pokoji. Pohyb a pokoj sú potom veličiny relatívne. Vzhľadom na jednu vzťažnú sústavu teleso môže byť v pokoji, avšak vzhľadom na inú vzťažnú sústavu v pohybe a opačne. Pohyb auta obvykle skúmame vzhľadom na povrch Zeme, ktorú považujeme za nehybnú. (Skutočný pohyb Zeme v časovom intervale, v ktorom dej skúmame môžeme zanedbať.) Šofér v aute vzhľadom na auto je v pokoji, avšak vzhľadom na Zem je v takom istom pohybe ako auto. Pohyb šoféra vzhľadom na sústavu pevne spojenú napr. so Slnkom je už pohyb zložený.

Inerciálna sústava

Inerciálna vzťažná sústava - vzťažná sústava, v ktorej izolovaný hmotný bod (teleso, častica) zotrúva v pokoji, alebo v rovnomernom priamočiarom pohybe. Platia v nej Newtonove pohybové zákony.

Neinerciálna sústava

Sily v neinerciálnych sústavách

Skúmame pohyb častice (resp. hmotného bodu), na ktorý pôsobí sila $\mathbf{F}$. Ak skúmame pohyb častice z hľadiska absolútnej sústavy S , pre časticu platí Newtonova pohybová rovnica $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$. Chceme vedieť ako sa zmení pohybová rovnica tej istej častice, pohybujúcej sa za rovnakých podmienok, ale vzhľadom na neinerciálnu sústavu S' . Prv než pristúpime k matematickému riešeniu tohto problému, ozrejmime si ho na nasledujúcom experimente:

Predstavme si, že sme si urobili výlet do sveta našej slnečnej sústavy. Nasadli sme na raketoplán a naša Zem je už len maličkou hviezdou. Sme ďaleko od príťažlivých telies. Čo sa deje s našimi vecami v raketopláne, ak máme motor vypnutý? Teplomér je v divnej polohe, tak isto kyvadlo hodín sa zastavilo v akejsi polohe, rôznej od zvislého smeru. Predmety i naše meracie prístroje sa vznášajú v kabíne. Vysvetliť túto skutočnosť vieme, nenachádzame sa na Zemi, ale v medziplanetárnom priestore, v ktorom predmety stratili tiaž.

Čo sa stane, ak sa rozhodneme zapnúť motor raketoplánu a začne sa pohybovať rovnomerne zrýchleným pohybom? Predmety, ktoré sa vznášali okolo nás sa dali do pohybu. Akým smerom a akou rýchlosťou? Ak raketoplán sa pohybuje so zrýchlením $9,81 \text{ m.s}^{-2}$ cítime sa ako doma. Teplomer „spadol“, hodiny sa dali do vertikálnej polohy. Ak pustíme tenisovú loptičku a zmeriame, s akým zrýchlením padá, dospejeme k výsledku, že zrýchlený pohyb loptičky bude čo do veľkosti vždy taký, ako zrýchlenie nášho raketoplánu. Smer „padania“ loptičky bude vždy opačný ako smer pohybu raketoplánu. To platí pre všetky predmety vo vnútri lode. Ak sa pohybuje raketoplán dopredu, všetky predmety sa pohybujú smerom opačným - dozadu. Toto pozorovanie možno sformulovať nasledovne:

Ak sa raketoplán pohybuje s určitým zrýchlením, telesá v ňom začínajú mať „tiaž“. Pritom „príťažlivá sila“ má smer opačný ako vektor zrýchlenia raketoplánu a zrýchlenie voľného „pádu“ telies sa veľkosťou rovná zrýchleniu raketoplánu.

Zaujímavosťou je, že pozorovaním nemôžeme odlíšiť zrýchlený pohyb systému od príslušnej príťažlivej sily. To znamená, že ak okná v raketopláne máme zakryté, nerozlíšime, či je raketoplán v pokoji, alebo sa pohybuje so zrýchlením $9,81 \text{ m.s}^{-2}$. Rozdiel však je v smeroch pôsobiacich zrýchlení. Na Zemi smeruje príťažlivá sila do stredu Zeme. To znamená, že smery zrýchlenia v dvoch rôznych bodoch na Zemi tvoria medzi sebou uhol. V raketopláne, ktorý sa pohybuje zrýchlene, sú smery príťažlivosti vo všetkých bodoch presne paralelné. Na Zemi sa mení zrýchlenie s výškou, v raketopláne so zrýchleným pohybom tento efekt nevzniká. Napriek týmto odlišnostiam možno považovať zrýchlenie a pôsobenie príťažlivej sily za ekvivalentné.

Takmer úplná rovnocennosť zrýchlenia a pôsobenia príťažlivej sily nazývame princíp ekvivalencie. Tento princíp umožňuje riešiť mnohé úlohy pomocou fiktívnej príťažlivej sily, ktorá sa javí v systémoch pohybujúcich sa zrýchlene. Uvidíme, že pohybovú rovnicu v neinerciálnom systéme je možné riešiť obdobne ako v inerciálnom systéme, ak k výslednici síl pôsobiacich na teleso pridáme sily fiktívne, súvisiace s neinerciálnosťou systému, ktoré nazveme spoločným názvom silami zotrvačnými.

Fyzikálne interakcie

Sily skutočné majú pôvod v jednej zo štyroch typov fyzikálnych interakcií: gravitačnej, elektromagnetickej, slabej a silnej interakcie. S výnimkou gravitačných síl, všetky sily, s ktorými sme sa zaoberali doteraz a ktoré určitým spôsobom vnímame napr. prostredníctvom tlaku, ťahu, trenia, pnutia a pod., majú podstatu elektromagnetickú. To znamená, že podstatou týchto síl je elektromagnetická interakcia medzi atómami. Pnutia v látke existujú ako dôsledok príťažlivých síl jednotlivých atómov.

Od roku 1979, kedy Sheldon Lee Glashow, Abdus Salam a Steven Weinberg získali Nobelovu cenu za model zjednocujúci slabé a elektromagnetické interakcie, dochádza k redukcii počtu fundamentálnych interakcií zo štyroch na tri. Glashow, Salam a Weinberg dokázali, že slabú interakciu, ktorá sa uplatňuje pri niektorých druhoch rádioaktívneho rozpadu a elektromagnetickú interakciu možno interpretovať ako dva rôzne aspekty jednej tzv. elektroslabej interakcie. K experimentálnemu potvrdeniu teórie elektroslabej interakcie rozhodujúco prispeli najmä Carlo Rubbia a Simon van der Meer- nositelia Nobelovej ceny za objav častíc W a Z sprostredkujúcich slabú interakciu v roku 1984.

Tým sa postupne realizuje myšlienka, ktorej mnohí fyzici veria, že príroda je v svojej podstate jednoduchá a počet fundamentálnych interakcií je ešte nižší. I Albert Einstein venoval svoje úsilie interpretácii existujúcich interakcií ako rôznych aspektov jedinej supersily. Budúcnosť ukáže, či sa tento cieľ fyzikom podarí dokázať.