

4 Fyzikálne polia

4.1 gravitačné pole

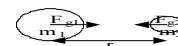
- forma hmoty, ktorej základným prejavom je silové pôsobenie na všetky hmotné objekty

4.1.1 Newtonov gravitačný zákon

- *Newtonov gravitačný zákon*: Dva hmotné body sa navzájom priťahujú rovnako veľkými silami, ale opačného smeru.

$$\circ \vec{F}_{g1} = -\vec{F}_{g2} \Rightarrow F_g = |\vec{F}_{g1}| = |\vec{F}_{g2}|$$

- veľkosť gravitačnej sily je priamo úmerná hmotnosti m_1 , m_2 hmotných bodov a nepriamo úmerná druhej mocnine ich vzdialeností r



$$\circ F_g = |\vec{F}_g| = \chi \frac{m_1 m_2}{r^2}, \text{ kde } \chi \text{ je } \mathbf{gravitačná konštanta} (\chi = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2})$$

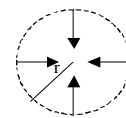
- keďže hodnota gravitačnej konštanty je veľmi malá, vzájomné gravitačné sily medzi telesami bežných hmotností sú veľmi malé, gravitačné sily sa prejavujú iba vtedy, keď hmotnosť aspoň jedného telesa je veľmi veľká

4.1.2 intenzita gravitačného poľa

- intenzita gravitačného poľa charakterizuje silové pôsobenie gravitačného poľa v danom mieste poľa

- definuje sa ako podiel gravitačnej sily \vec{F}_g , ktorá pôsobí na teleso s hmotnosťou m v danom mieste poľa a hmotnosti m tohto telesa

$$\circ \vec{K} = \frac{\vec{F}_g}{m}, [K] = \text{N} \cdot \text{kg}^{-1} = \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$



- intenzita gravitačného poľa je vektorová veličina, má rovnaký smer ako gravitačná sila, ktorou gravitačné pole pôsobí v danom mieste poľa na teleso

- pre intenzitu gravitačného poľa Zeme platí:

$$\circ K = \chi \frac{M_Z}{(R_Z + h)^2}, \text{ kde } h \text{ je výška nad zemským povrchom, v ktorej sa teleso nachádza}$$

- z definície intenzity a podľa druhého pohybového zákona platí

$$\circ \vec{F}_g = m \cdot \vec{K} \wedge \vec{F}_g = m \cdot \vec{a}_g \Rightarrow \vec{K} = \vec{a}_g$$

- o intenzita gravitačného poľa v danom mieste sa rovná gravitačnému zrýchleniu v danom mieste

4.1.3 gravitačný potenciál

- charakterizuje gravitačné pole
- definuje sa ako podiel gravitačnej potenciálnej energie telesa v tomto bode poľa a hmotnosti tohto telesa (podiel práce, ktorú vykoná gravitačná sila pri premiestnení telesa z daného bodu poľa na povrch Zeme a hmotnosti tohto telesa)

$$\circ \varphi_g = \frac{E_p}{m} = \frac{W}{m}, [\varphi_g] = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

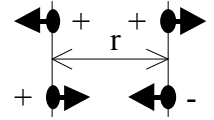
- body gravitačného poľa s rovnakou hodnotou gravitačného potenciálu tvoria **hladinu potenciálu (ekvipotenciálnu plochu)**

4.2 elektrostatické pole

- časť elektromagnetického poľa prejavujúca sa silovým pôsobením na všetky nabité hmotné objekty

4.2.1 Coulombov zákon

- dve elektricky nabité telesá pôsobia na seba vzájomnými príťažlivými alebo odpudivými silami. V dôsledku elektrostatickej indukcie pôsobia na seba príťažlivými silami aj elektricky nabité a elektricky nenabité telesá. Keďže príčinou síl je elektrický náboj, nazývajú sa **elektrické sily**.
- v elektrostatike sa zavádza pojem **bodový náboj**, ktorý si predstavujeme ako hmotný bod, ktorého elektrický náboj je rovnako veľký ako náboj na zelektrizovanom telese
- **Coulombov zákon**: Veľkosť F_e elektrickej sily je priamo úmerná súčinu bodových nábojov Q_1, Q_2 a nepriamo úmerná druhej mocnine ich vzdialenosti r .



- $F_e = |F_e| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$, kde ϵ_0 je **permitivita vákua** ($\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

- ak majú náboje rovnaké znamienko, sila \vec{F}_e je silou, ktorou sa náboje odpudzujú. Ak majú opačné znamienko, je sila príťažlivá.

4.2.2 intenzita elektrického poľa

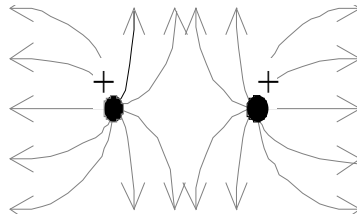
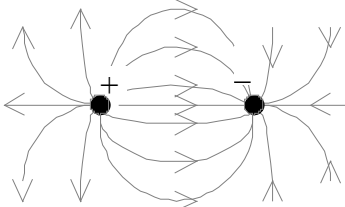
- charakterizuje silové pôsobenie elektrického poľa v danom mieste poľa
- pre intenzitu elektrického poľa platí:

- $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q}$, $[E] = \text{N} \cdot \text{C}^{-1} = \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$

- intenzita elektrického poľa je vektorová veličina rovnakého smeru ako elektrická sila, ktorá v danom mieste poľa pôsobí na kladný bodový náboj Q'
- pre intenzitu elektrického poľa vo vzdialenosti r od bodového náboja platí:

- $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$

- elektrické pole môžeme znázorniť pomocou matematického modelu, ktorý sa nazýva **vektorové pole**
- **siločiara**, ktorá prechádza istým bodom elektrického poľa, je myšliená čiara, ktorej dotyčnica zostrojená v tomto bode určuje smer intenzity elektrického poľa
- siločiaru elektrického poľa majú tieto vlastnosti:
 - sú spojité, začínajú sa na kladnom náboji a končia sa na zápornom; pri osamotenom náboji alebo pri dvojici nábojov s rovnakým znamienkom sa rozbiehajú do nekonečna
 - sú kolmé na povrch nabitého telesa
 - navzájom sa nepretínajú



4.2.3 elektrický potenciál

- elektrický potenciál v danom bode poľa sa definuje ako podiel elektrickej potenciálnej energie kladného elektrického náboja Q' v tomto bode a veľkosti tohto náboja

- pretože $E_p = W$, môžeme povedať: Elektrický potenciál v danom bode poľa je určený pomerom práce, ktorú vykonajú sily elektrického poľa pri premiestnení kladného náboja Q' z daného miesta na povrch Zeme a veľkosti tohto náboja

$$\circ \varphi_e = \frac{E_p}{Q'} = \frac{W}{Q'}, [\varphi_e] = J.C^{-1} = V$$

- Zem a telesá vodivo spojené so Zemou sú miestami s **nulovým elektrickým potenciálom**
- v homogénnom poli medzi dvoma rovnobežnými vodivými platňami má kladne nabitá platňa vzhľadom na uzemnenú platňu potenciál:

$$\circ \varphi_e = |\vec{E}|d, \text{ kde } d \text{ je vzdialenosť platní}$$

- elektrický potenciál je skalárna veličina
- určením elektrického potenciálu každého bodu elektrického poľa utvárame ďalší matematický model poľa – skalárne pole)
- množina bodov elektrického poľa s rovnakým potenciálom tvorí **hladinu potenciálu** alebo **ekvipotenciálne plochy**

4.2.4 elektrické napätie

- elektrické napätie sa definuje ako absolútna hodnota rozdielu potenciálov medzi dvoma bodmi elektrického poľa

$$\circ U = |\varphi_1 - \varphi_2|$$

- keď zmeriame elektrické napätie U medzi dvoma rovnobežnými vodivými platňami, môžeme vypočítať veľkosť intenzity elektrického poľa. Potenciál kladne nabitej platne je $\varphi_e = |\vec{E}|d$ a potenciál uzemnenej platne je nulový, potom pre napätie medzi platňami platí:

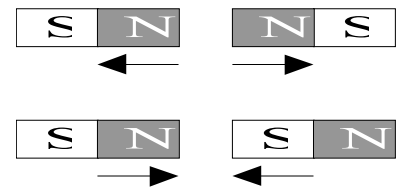
$$\circ U = \varphi_1 - \varphi_2 = |\vec{E}|d \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{U}{d}$$

- pre veľkosť práce vykonanej pri prenesení náboja Q medzi dvoma bodmi, medzi ktorými je napätie U , platí:

$$\circ W = |\vec{E}|Qd = \frac{U}{d}Qd = QU$$

4.3 magnetické pole

- časť elektromagnetického poľa, ktorá sa prejavuje silovým pôsobením na pohybujúce sa elektricky nabitú časticu
- zdrojom **stacionárneho magnetického poľa** je nepohybujúci sa vodič s konštantným prúdom alebo nepohybujúci sa permanentný magnet



- magnetické pole sa prejavuje silovým pôsobením
- na opis priestorového rozloženia magnetického poľa zavádzame sústavu orientovaných kriviek, ktoré sa nazývajú **magnetické indukčné čiary**. Magnetická indukčná čiara je priestorovo orientovaná krivka, ktorej dotyčnica v danom bode má smer osi veľmi malej magnetky umiestnenej v tomto bode. Smer od južného k severnému pólu magnetky určuje orientáciu indukčnej čiary
- orientáciu magnetických indukčných čiar určujeme pomocou **Ampérovho pravidla pravej ruky**: Naznačíme uchopenie vodiča do pravej ruky tak, aby palec ukazoval dohodnutý smer prúdu vo vodiči; potom prsty ukazujú orientáciu magnetických indukčných čiar.
- magnetické pole, ktorého indukčné čiary sú rovnobežné priamky, nazývame homogénne magnetické pole

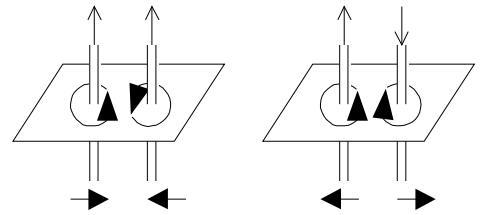
4.3.1 silové pôsobenie dvoch vodičov s prúdmí

- v okolí vodiča s prúdom vzniká magnetické pole

- dva rovnobežné vodiče s prúdom, ktorých vzdialenosť je oveľa menšia ako ich dĺžka, pôsobia na seba silou, ktorej veľkosť je priamo úmerná súčinu prúdov I_1 a I_2 , dĺžke vodičov l a nepriamo úmerná vzdialenosti vodičov d :

- $F = k \frac{I_1 I_2}{d} l$

- ak sú smery prúdov rovnaké, vodiče sa priťahujú, ak sú rozdielne, odpudzujú sa



- konštanta úmernosti k závisí od voľby sústavy jednotiek a od prostredia:

- $k = \frac{\mu}{2\pi} = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi}$, kde μ_0 je **permeabilita vákua** ($\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-1}$) a μ_r je **relatívna permeabilita** (udáva, koľkokrát väčšia (menšia) je permeabilita istého látkového prostredia ako permeabilita vákua)

- pre veľkosť pôsobiacej sily platí:

- $F = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l$

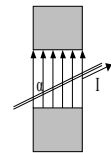
- pre veľkosť magnetickej indukcie v bodoch, ktorých vzdialenosť od priameho vodiča s prúdom je d , platí:

- $B = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I}{d}$

4.3.2 magnetická indukcia

- slúži na kvantitatívny opis magnetického poľa a j každom jeho bode
- pre homogénne magnetické pole môžeme magneticú indukciu definovať na základe silových účinkov magnetického poľa na vodič s prúdom

- uvažujeme o priamom vodiči s prúdom I , ktorého časť s dĺžkou l (aktívna dĺžka vodiča) je v homogénnom magnetickom poli
 - veľkosť sily F_m pôsobiacej v homogénnom poli na priamy vodič s prúdom je priamo úmerná jeho aktívnej dĺžke l , prúdu I a závisí aj od magnetického poľa a od polohy vodiča v ňom (keď je vodič rovnobežný s indukčnými čiarami magnetického poľa, je sila F_m nulová, kým v polohe kolmej na indukčné čiary dosahuje maximum)



- pre veľkosť magnetickej sily platí:

- $F_m = B l \sin \alpha$, kde B je **magnetická indukcia** a charakterizuje silové pôsobenie magnetického poľa

- tento vzťah sa volá aj **Ampérov zákon**

- pre magneticú indukciu platí:

- $B = \frac{F_m}{l \sin \alpha}$, $|B| = \frac{N}{Am} = T$, jednotkou magnetickej indukcie je jeden **tesla**

- magneticá indukcia v blízkosti permanentných magnetov má veľkosť približne 0,001 T až 0,5 T

- magneticá indukcia závisí od tvaru telesa a od prostredia:

- závislosť magnetickej indukcie od prostredia vyjadruje **permeabilita prostredia μ** ; zavádza sa **relatívna permeabilita μ_r** , pre ktorú platí:

- $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$, kde μ_0 je **permeabilita vákua** $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$

- **dlhý priamy vodič:**

- $B = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I}{d}$, kde d je vzdialenosť od priameho vodiča s prúdom I

- **v strede kruhovej slučky:**

- $B = \mu \frac{I}{2r}$, kde r je polomer slučky

- **v strede dlhej valcovej cievky:**

- $B = \mu \frac{NI}{l}$, kde l je dĺžka cievky a N je počet závitov. Podiel $\frac{N}{l}$ je tzv. hustota

závitov, ktorá vyjadruje počet závitov pripadajúcich na jednotku dĺžky cievky

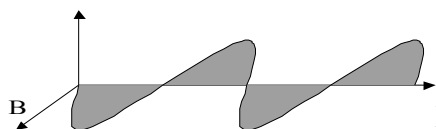
- magnetická indukcia je vektorová veličina; smer vektora magnetickej indukcie v istom bode poľa je zhodný so smerom súhlasne orientovanej dotyčnice k indukčnej čiare v tomto bode
- sila \vec{F}_m , ktorá pôsobí na priamy vodič s prúdom v homogénnom magnetickom poli s magnetickou indukciou \vec{B} , je kolmá na vodič aj na magneticкую indukciu
 - smer pôsobiacej sily môžeme určiť pomocou **Flemingovho pravidla ľavej ruky**: Keď položíme otvorenú ľavú ruku na vodič tak, aby prsty ukazovali smer prúdu a indukčné čiary vstupovali do dlane, natiiahnutý palec ukazuje smer sily, ktorou pôsobí magnetické pole na vodič s prúdom

4.4 elektromagnetické pole

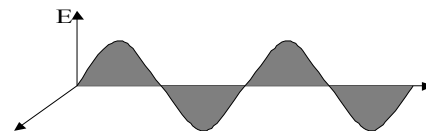
- pri elektromagnetickom vlnení pri prenose elektromagnetickej energie vzniká medzi vodičmi vedenia časovo premenné silové pole, ktoré má jednak elektrickú, jednak magneticкую zložku a nazýva sa **elektromagnetické pole**. Energia sa neprenáša vodičmi, ale elektromagnetickým poľom medzi nimi. Tento dej má charakter vlnenia
- napätie v rôznych miestach vedenia je rozličné, a tak ani náboj nie je na povrchu vodiča rozložený rovnomerne. Preto je rozličná aj intenzita elektrického poľa medzi vodičmi. Priebeh hodnôt intenzity \vec{E} časovo premenného elektrického poľa pozdĺž vedenia v istom časovom okamihu vyjadruje sínusoida:

- $\vec{E} = \vec{E}_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$

- keď obvodom preteká elektrický prúd i , tak v okolí vodičov sa vytvorí časovo magnetická v miestach, najväčší prúd. Hodnoty magnetickej indukcie pozdĺž vedenia vyjadruje sínusoida:

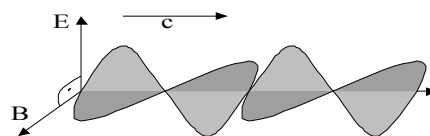


premenné magnetické pole; jeho indukcia \vec{B} má najväčšiu hodnotu ktorými prechádza v danom okamihu



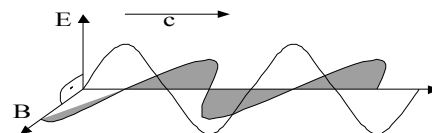
- $\vec{B} = \vec{B}_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$

- pri **postupnej elektromagnetickej vlne** napätie a prúd vo vedení majú rovnakú fázu, a preto rovnakú fázu majú aj sínusoidy v grafe intenzity elektrického poľa a magnetickej indukcie pozdĺž vedenia. Vektory intenzity elektrického poľa a indukcie magnetického poľa sú navzájom kolmé a súčasne sú kolmé na smer šírenia elektromagnetickej vlny.



- pri **stojatej elektromagnetickej vlne** je dochádza k fázovému posunu, pretože v okamihu, keď má napätie v kmitniach najväčšiu hodnotu, prúd v celom vedení sa rovná nule. Celá energia elektromagnetickej vlny sa premenila na energiu elektrického poľa. Naopak, keď je v kmitniach prúd najväčší, pozdĺž celého vedenia je nulové napätie. Energia elektromagnetickej vlny je sústredená v magnetickom poli. Stojatým elektromagnetickým vlnením sa energia neprenáša, len sa mení na energiu elektrického poľa a naopak. V stojatej elektromagnetickej vlne sú časovo

premenne vektory \vec{E} a \vec{B} fázovo posunuté o $\frac{\pi}{2}$ (tam , kde je intenzita elektrického poľa je maximálna, je indukcia magnetického poľa nulová a naopak).



4.5 porovnanie gravitačného a elektrického poľa

- **gravitačné a elektrické** pole sú **statické silové polia**. Gravitačné pole je v okolí každého telesa s hmotnosťou m , elektrické pole v okolí každého telesa s voľným elektrickým nábojom Q . Pritom predpokladáme, že teleso aj elektrický náboj sú vzhľadom na inerciálnu vzťažnú sústavu v pokoji
- gravitačné aj elektrické pole sa vyznačujú silovým pôsobením na iné telesá. Na teleso v gravitačnom poli pôsobí gravitačná sila, na teleso s elektrickým nábojom v elektrickom poli pôsobí elektrická sila.
- existencia gravitačného poľa sa viaže na hmotnosť telesa m , existencia elektrického poľa na elektrický náboj Q . Obidve polia sú jednou z dvoch základných foriem hmoty, ktoré existujú nezávisle od nášho vedomia.
- gravitačné a elektrické pole charakterizujú dve veličiny: *intenzita poľa* a *potenciál*. Intenzita gravitačného poľa \vec{K} a intenzita elektrického poľa \vec{K} sú určené na základe silového pôsobenia poľa. Gravitačný potenciál φ_g a elektrický potenciál φ_e sú určené na základe práce konanej pri premiestňovaní telesa alebo elektrického náboja v silovom poli.
- intenzita poľa je *vektorová* veličina, potenciál *skalárna* veličina. Pomocou prvej konštruujeme *vektorové pole*, pomocou druhej *skalárne pole*. Vektorové a skalárne polia sú matematické modely reálnych silových polí, ktoré znázorňujú ich isté vlastnosti, preto matematické modely nestotožňujeme so skutočnými poliami.
- na základe intenzity poľa definujeme *siločiar*y poľa, na základe potenciálu *ekvipotenciálne plochy*. Siločiar y a ekvipotenciálne plochy sú veľmi názorné matematické modely obidvoch silových polí.
- gravitačné a elektrické pole majú však aj vlastnosti, ktorými sa navzájom odlišujú:
 - o *rozdielny pôvod polí*: Gravitačné pole sa viaže na hmotnosť telesa, elektrické pole na elektrický náboj.
 - o *rozdiel v silovom pôsobení*: Gravitačné sily sú len príťažlivé, elektrické sú príťažlivé aj odpudivé, čo súvisí s dvoma druhmi elektrického náboja.
 - o *rozdiel vo veľkosti silového pôsobenia*: Gravitačné sily, ktoré pôsobia medzi hmotnými bodmi s jednotkovou hmotnosťou, sú pomerne malé, elektrické sily, ktoré pôsobia medzi bodovými nábojmi s jednotkovým nábojom, sú omnoho väčšie.
 - o *rozdiel v konštantách χ a k* : Gravitačná konštanta nezávisí od prostredia – je to univerzálna konštanta, konštanta k závisí od vlastnosti prostredia
 - o *rozdiel v platnosti silového pôsobenia*: Newtonov gravitačný zákon platí pre hmotné body alebo pre dve rovnorodé gule, Coulombov zákon iba pre dva bodové náboje.