

4 Fyzikálne polia

4.1 gravitačné pole

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

4.1.1 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
 - o $\vec{K} = \frac{\vec{F}_g}{m}$, $[K] = N \cdot kg^{-1} = m \cdot s^{-2}$
- 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:
 - o $K = \chi \frac{M_Z}{(R_Z + h)^2}$, kde h je výška nad zemským povrchom, v ktorej sa teleso nachádza
- z definície intenzity a podľa druhého pohybového zákona platí
 - o $\vec{F}_g = m \cdot \vec{K} \wedge \vec{F}_g = m \cdot \vec{a}_g \Rightarrow \vec{K} = \vec{a}_g$
 - o intenzita gravitačného poľa v danom mieste sa rovná gravitačnému zrýchleniu v danom mieste

4.1.2 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)
 - o $\varphi_g = \frac{E_p}{m} = \frac{W}{m}$, $[\varphi_g] = J \cdot kg^{-1}$
- body gravitačného poľa s rovnakou hodnotou gravitačného potenciálu tvoria **hladinu potenciálu (ekvipotenciálnu plochu)**

4.2 elektrostatické pole

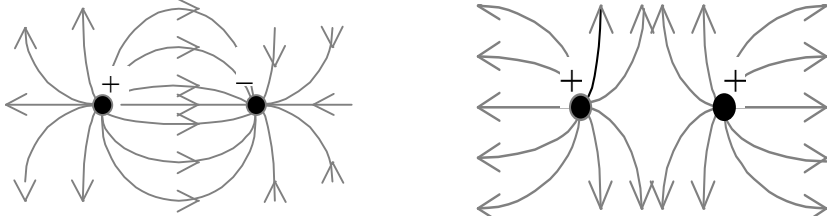
- časť elektromagnetického poľa prejavujúca sa silovým pôsobením na všetky nabité hmotné objekty

4.2.1 intenzita elektrického poľa

- charakterizuje silové pôsobenie elektrického poľa v danom mieste poľa
- pre intenzitu elektrického poľa platí:
 - o $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q}$, $[E] = N \cdot C^{-1} = V \cdot m^{-1}$
- 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:

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

- elektrické pole môžeme znázorniť pomocou matematického modelu, ktorý sa nazýva **vektorové pole**
- **siločiara**, ktorá prechádza istým bodom elektrického poľa, je myslená čiara, ktorej dotyčnica zostrojená v tomto bode určuje smer intenzity elektrického poľa
- siločiarly elektrického poľa majú tieto vlastnosti:
 - o 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
 - o sú kolmé na povrch nabitého telesa
 - o navzájom sa nepretínajú



4.2.2 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

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

- 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

4.2.3 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 nabitých platne je $\varphi_e = |\vec{E}|d$ a potenciál uzemnenej platne je nulový, potom pre napätie medzi platňami platí:

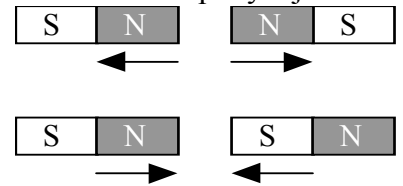
$$\circ U = \varphi_1 - \varphi_2 = |\vec{E}|d \Rightarrow |\vec{E}| = \frac{U}{d}$$

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

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

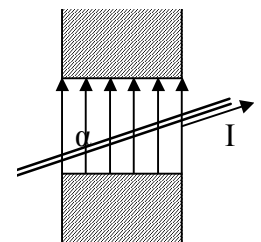
4.3 magnetické pole

- 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 magnetická indukcia

- slúži na kvantitatívny opis magnetického poľa v každom jeho bode
- pre homogénne magnetické pole môžeme magnetickú indukciu definovať na základe silových účinkov magnetického poľa na vodič s prúdom
 - o uvažujeme o priamom vodiči s prúdom I , ktorého časť s dĺžkou l (aktívna dĺžka vodiča) je v homogénnom magnetickom poli
 - o 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:
 - o $F_m = BIl \sin \alpha$, kde B je **magnetická indukcia** a charakterizuje silové pôsobenie magnetického poľa
 - o tento vzťah sa volá aj **Ampérov zákon**
- pre magnetickú indukciu platí:
 - o $B = \frac{F_m}{Il \sin \alpha}$, $|B| = \frac{N}{A \cdot m} = T$, jednotkou magnetickej indukcie je **tesla**
 - o magnetická indukcia v blízkosti permanentných magnetov má veľkosť približne 0,001 T až 0,5 T
- magnetická indukcia závisí od tvaru telesa a od prostredia:
 - o 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** $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$
 - o **dlhý priamy vodič**:
 - $B = \frac{\mu I}{2\pi d}$, kde d je vzdialenosť od priameho vodiča s prúdom I
 - o **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 magneticú 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

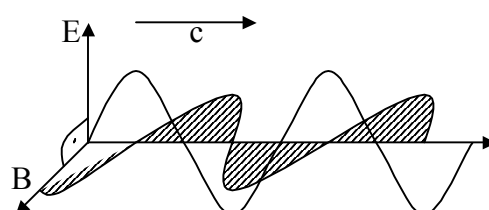
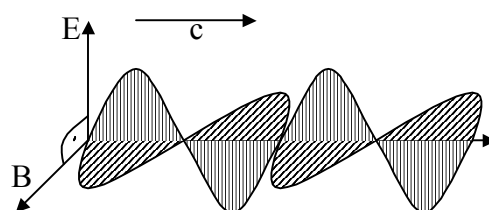
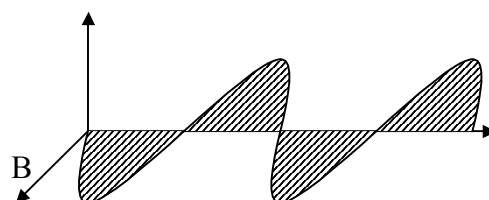
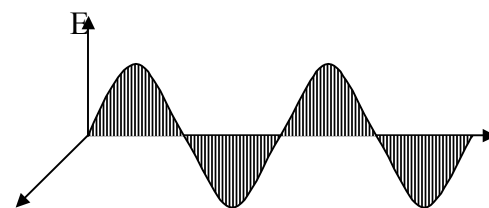
- pri elektromagnetickom vlnení pri prenose elektromagnetickej energie vzniká medzi vodičmi vedenia časovo premenné silové pole, ktoré má jednak elektrickú, jednak magneticú zložku a nazýva sa **elektromagnetické pole**. Energia sa neprenáša vodičmi, ale elektromagnetickým polom medzi nimi. Tento dej 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:

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

- keď obvodom preteká elektrický prúd i , tak v okolí vodičov sa vytvorí časovo premenné magnetické pole; jeho magneticá indukcia \vec{B} má najväčšiu hodnotu v miestach, ktorými prechádza v danom okamihu najväčší prúd. Hodnoty magnetickej indukcie pozdĺž vedenia vyjadruje sínusoida:

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

- 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 premenné 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 *siločiaru* poľa, na základe potenciálu *ekvipotenciálne plochy*. Siločiaru 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 vlastností 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.