

MODUL 3. ELEKTROMAGNETICKÉ POLE

3.1. ELEKTROSTATIKA

3.1.1. ELEKTRICKÝ NÁBOJ



SHRNUTÍ

Stavební jednotkou látky je atom. Skládá se z protonů, elektronů a neutronů. Elektrony a protony jsou nositeli **elementárního elektrického náboje**. Náboj elektronu byl označen jako **záporný** a náboj protonu jako **kladný**. Náboje stejného znaménka **se odpuzují**, náboje opačného znaménka **se přitahují**. Těleso se stejným množstvím obou druhů náboje je **elektricky neutrální**. Těleso, ve kterém náboj není v rovnováze, je **elektricky nabité**. Elektrický náboj **se zachovává**: celkový počet jak kladných, tak i záporných nábojů se v izolované soustavě nemění. Jednotkou náboje je **coulomb (C)**.

Vodičem je každá látka, která obsahuje volné elektrické náboje. Ty se mohou ve vodiči volně pohybovat. **Nevodičem (izolátorem)** je každá látka, která neobsahuje volné elektricky nabité částice nebo jich má velmi málo.



ZTO 3.1.1.-1

Atom, který jeden elektron odevzdal **má náboj**

- a) kladný
- b) záporný

ZTO 3.1.1.-2

Atom, který jeden elektron přijal **má náboj**

- a) kladný
- b) záporný

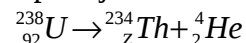
ZTO 3.1.1.-3

Uvažujte atom uranu ${}_{92}\text{U}^{238}$. **Atom má 238**

- a) protonů
- b) neutronů
- c) nukleonů, tj. protonů + neutronů
- d) elektronů + protonů

ZTO 3.1.1.-4

Aplikujte zákon zachování náboje v případě této radioaktivní přeměny:



Uran se může měnit na thorium a α částici (tj. jádro helia). Protonové číslo thoria. **Z =**

- a) 90
- b) 94

ZTO 3.1.1.-5

Molekulu vody tvoří vodík ${}_1\text{H}^1$ a kyslík ${}_8\text{O}^{16}$. **Kolik protonů** je v molekule vody H_2O ?

- a) 9
- b) 17

- c) 10
- d) 18

ZTO 3.1.1.-6

Jaký je **náboj α** částice (tj. jádra hélia ${}_2\text{He}^4$)? „e“... představuje elementární náboj

- a) $+2e$
- b) $+4e$
- c) $-2e$
- d) $-4e$

ZU 3.1.1.-1

Těleso je nabito kladným nábojem $20\ \mu\text{C}$. Kolik elektronů musíme dodat k jeho vybití?

ZU 3.1.1.-2

Vypočtete kolik elektronů tvoří náboj $1\ \text{C}$.

ZU 3.1.1.-3

Kolik protonů, neutronů a elektronů má atom kyslíku ${}_8\text{O}^{16}$.

ZU 3.1.1.-4

Jaký celkový náboj v coulombech by mělo $75\ \text{kg}$ elektronů?

ZU 3.1.1.-5

Jak velký kladný náboj v coulombech má atom uranu ${}_{92}\text{U}^{238}$?

3.1.2. COULOMBŮV ZÁKON

SHRNUTÍ



Velikost elektrostatické síly, která působí mezi dvěma bodovými náboji Q_1 a Q_2 , které jsou v klidu ve vzdálenosti r je

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Elektrostatickou sílu definuje **Coulombův zákon**. Tato síla může být přitažlivá nebo odpuzivá.

Konstanta „ k “ v Coulombově zákonu je

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

kde ϵ_0 je permitivita vakua.

Pokud uvažujeme více než dva náboje, platí uvedený vztah pro každou dvojici nábojů. Výsledná síla působící na každý náboj je dána vektorovým součtem sil, kterými na náboj působí všechny ostatní přítomné náboje.



ZTO 3.1.2.-1

Která z uvedených tvrzení **jsou správná** ?

Síla, kterou na sebe působí dva bodové náboje

- a) je přímo úměrná součtu obou nábojů
- b) je přímo úměrná součinu obou nábojů
- c) klesá se čtvercem vzdálenosti obou nábojů
- d) roste se čtvercem vzdálenosti obou nábojů

ZTO 3.1.2.-2

Jsou-li dva bodové náboje umístěny ve vzdálenosti r , působí na sebe silou F . Jakou silou F_1 budou tyto náboje na sebe působit, je-li jejich vzdálenost $r/2$ (za jinak stejných podmínek) ?

$F_1 =$

- a) $2.F$
- b) $4.F$
- c) $F/2$
- d) $F/4$

ZTO 3.1.2.-3

Jednotka náboje je coulomb (C). Je to základní jednotka soustavy SI?

- a) ano
- b) ne

ZTO 3.1.2.-4

Dva náboje $Q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ a $Q_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ jsou umístěny ve vakuu ve vzdálenosti 3m. Jak velkou silou na sebe náboje působí? $F =$

- a) $4 \cdot 10^{-3} \text{ N}$
- b) $3 \cdot 10^{-6} \text{ N}$
- c) $12 \cdot 10^{-3} \text{ N}$
- d) $12 \cdot 10^{-27} \text{ N}$

ZTO 3.1.2.-5

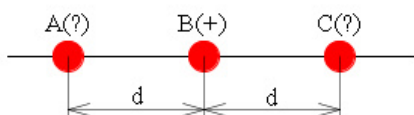
Konstanta úměrnosti „k“ v Coulombově zákonu má přibližně velikost $9 \cdot 10^9$. Jaká je její jednotka?

- a) $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$
- b) $\text{C}^2 \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
- c) jinak než ve variantách a) ,b)

ZTO 3.1.2.-6

Na obrázku O 3.1.2.- 4 jsou tři částice A,B,C. Náboje těchto částic mají stejnou velikost. Náboj částice B je kladný. Jaký náboj mají částice A a C aby výsledná elektrostatická síla působící na částici B byla nulová?

- a) A(+) C(+)
- b) A(-) C(+)
- c) A(+) C(-)
- d) A(-) C(-)

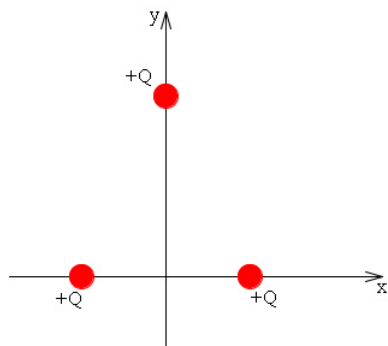


O 3.1.2.- 4

ZTO 3.1.2.-7

Na obrázku [O 3.1.2.-5](#) jsou tři identické částice ($+Q, m$). Částice na ose x jsou stejně vzdáleny od osy y . **Jaký je směr** výsledné elektrostatické síly působící na prostřední částici? Tato výslednice má směr

- a) kladné osy x
- b) záporné osy x
- c) kladné osy y
- d) záporné osy y

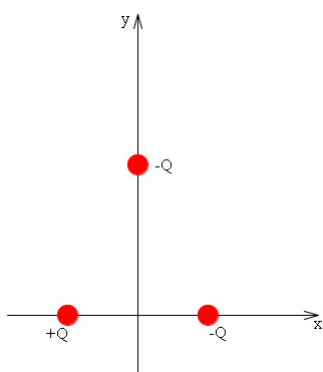


[O 3.1.2.-5](#)

ZTO 3.1.2.-8

Na obrázku [O 3.1.2.-7](#) jsou tři částice s nábojem $+Q$ a $-Q$. Částice na ose x jsou stejně vzdáleny od osy y . **Jaký je směr** výsledné elektrostatické síly působící na prostřední částici? Tato výslednice má směr

- a) kladné osy x
- b) záporné osy x
- c) kladné osy y
- d) záporné osy y



[O 3.1.2.-7](#)

ZU 3.1.2.-1

O reálnosti elektrického náboje velikosti 1 C si udělejte představu z následujícího výpočtu. Určete jakou silou na sebe působí dva bodové náboje $Q_1 = Q_2 = 1\text{C}$ ve vakuu ze vzdálenosti $r = 1\text{ m}$.

ZU 3.1.2.-2

Jaká musí být vzdálenost mezi dvěma bodovými náboji $Q_1 = 5 \cdot 10^{-4}\text{ C}$ a $Q_2 = 1 \cdot 10^{-4}\text{ C}$, aby elektrostatická síla, která mezi nimi působí, měla velikost 18 N ?

ZU 3.1.2.-3

Dva stejné ionty ve vzdálenosti $5 \cdot 10^{-10}\text{ m}$ se odpuzují silou velikosti $3,7 \cdot 10^{-9}\text{ N}$.

- Jaký je náboj každého iontu?
- O kolikamocné ionty jde?

ZU 3.1.2.-4

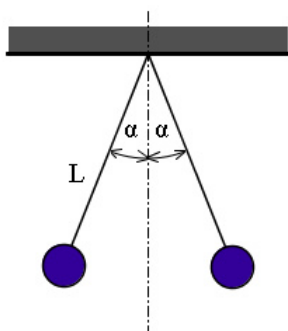
Uvažujte dva náboje $+Q$ a $-Q$ ve vzdálenosti L . Vypočítejte velikost síly, kterou tyto dva náboje působí na náboj $+q$, který leží uprostřed mezi náboji $+Q$ a $-Q$.

ZU 3.1.2.-5

Uvažujte dva náboje $-Q$ a $-Q$ ve vzdálenosti L . Vypočítejte velikost síly, kterou tyto dva náboje působí na náboj $+q$, který leží uprostřed mezi náboji $-Q$ a $-Q$.

ZU 3.1.2.-6

Dvě identická tělíska, každé hmotnosti 3,2 g, jsou zavěšena v jednom bodě na vláknech délky $L = 1,2\text{ m}$ (viz obrázek O 3.1.2.-3). Vypočítejte náboj tělísek v případě, že úhel $\alpha = 25^\circ$.



O 3.1.2.-3

ZU 3.1.2.-7

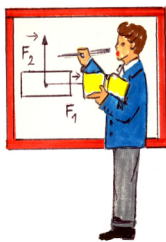
Vyjádřete obecně poměr velikosti Coulombovy síly F_C a gravitační síly F_g , kterou na sebe působí dva protony ze vzdálenosti r . Náboj protonu označte e a jeho hmotnost m_p . $F_C : F_g =$

ZU 3.1.2.-8

Uvažujte atom vodíku ${}_1H^1$. Vypočítejte Coulombovu sílu, kterou na sebe působí jádro a elektron. Vzdálenost elektronu a protonu je $0,5 \cdot 10^{-10}\text{ m}$.

BU 3.1.2.-9

Bodové náboje $Q_1 = 5 \cdot 10^{-4}\text{C}$ a $Q_2 = 1 \cdot 10^{-4}\text{C}$ jsou lokalizovány v rovině polohovými vektory $\vec{r}_1 = 3\vec{j}\text{ m}$ a $\vec{r}_2 = 4\vec{i}\text{ m}$. Určete vektor elektrické síly působící na náboj Q_2 .



BŘU 3.1.2.-10

Nabitá tyčinka (obrázek O 3.1.2.-9a) je umístěna v ose x tak, že její konce mají souřadnice $x_1 = 0$, $x_2 = L$. Lineární hustota náboje na tyčince je $+\tau$. Vypočítejte velikost síly, kterou tyčinka působí na bodový náboj $+Q$ umístěný na ose x ve vzdálenosti R od počátku souřadnic.

Řešení:

Předpokládejme, že tyčinku nelze považovat za bodový náboj a proto nelze použít Coulombův zákon ve tvaru $F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$

Na tyčince si vybereme libovolný element dx ve vzdálenosti x od $+Q$ (obrázek O 3.1.2.-9b). Protože lineární hustota náboje na tyčince je $\tau = dq/dx$ je $dq = \tau \cdot dx$

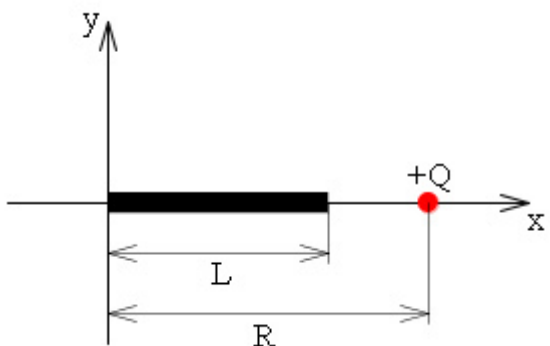
Náboj dq , který přísluší elementu dx již lze považovat za bodový. Náboj dq působí na náboj Q ze vzdálenosti x silou

$$dF = k \frac{Q \cdot dq}{x^2} = k \frac{Q \cdot \tau \cdot dx}{x^2}$$

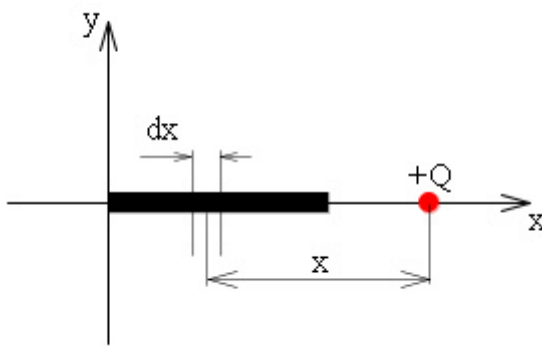
Nabitá tyčinka bude odpuzovat náboj Q silou

$$F = \int dF = k \cdot Q \cdot \tau \int_{R-L}^R \frac{dx}{x^2} = kQ\tau \left[-\frac{1}{x} \right]_{R-L}^R$$

$$F = kQ\tau \left(\frac{1}{R-L} - \frac{1}{R} \right)$$



O 3.1.2.-9a



O 3.1.2.-9b

3.1.3. INTENZITA ELEKTRICKÉHO POLE



SHRNUTÍ

Elektrostatické působení nabitých těles vysvětlujeme tím, že každý náboj budí v prostoru kolem sebe **elektrické pole**. **Intenzita** elektrického pole $\vec{E}$ je rovna síle, kterou elektrické pole působí na jednotkový kladný náboj v tomto poli umístěný. Velikost intenzity je dána vztahem

$$E = \frac{F}{Q_0}$$

Jednotkou intenzity je $N \cdot C^{-1}$.

Intenzita elektrického pole je vektor a proto je definována **velikostí a směrem**. K zobrazení velikosti a směru elektrického pole slouží **elektrické siločáry**. Siločáry začínají v kladných nábojích (nebo v nekonečnu) a končí v záporných nábojích (nebo v nekonečnu).

Velikost intenzity buzené **bodovým nábojem** je

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

Pole buzené bodovým nábojem je pole **radiální**.

Intenzita pole nekonečně velké nabitě roviny je

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

kde σ je plošná hustota náboje. Pole buzené nabitou rovinou je pole **homogenní**. Je to pole, které je charakterizováno konstantní intenzitou $\vec{E}$.

Soustava dvou nábojů, které mají stejnou velikost, ale opačné znaménko tvoří **elektrický dipól**.

Gaussův zákon elektrostatiky vyjadřuje vztah mezi intenzitou elektrického pole na (uzavřené) Gaussově ploše P a celkovým nábojem, který se nachází uvnitř této plochy. Tok elektrické intenzity Gaussovou plochou P je

$$\Phi_e = \oint_P \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

a je úměrný celkovému počtu siločar procházejících touto plochou. Vztah mezi tokem Φ_e a celkovým nábojem Q obklopeným Gaussovou plochou P vyjadřuje Gauss takto:

$$\Phi_e = \oint_P \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$



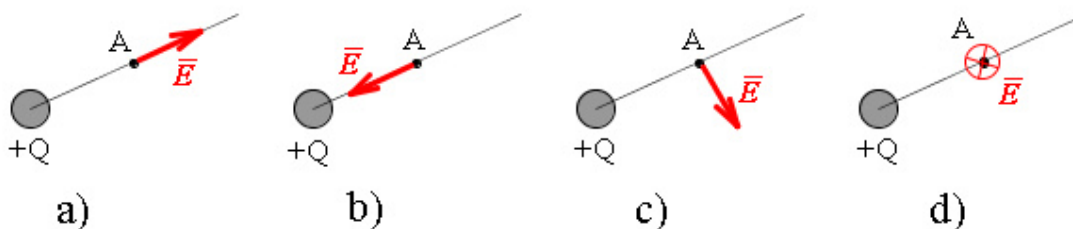
ZTO 3.1.3.-1

Intenzita elektrického pole $\vec{E}$ je

- rovna síle, kterou pole v daném místě působí na jednotkový kladný náboj
- rovna síle, kterou pole v daném místě působí na náboj Q
- rovna práci, potřebné k přemístění náboje Q v elektrickém poli
- vektor, její jednotka je N/C

ZTO 3.1.3-2

Bodový náboj +Q vytváří elektrostatické pole. Na kterém obrázku O 3.1.3.-24 a),b),c),d) je **nakreslen správně** vektor intenzity $\vec{E}$ v bodě A? (symbol $\otimes$ znamená, že vektor míří kolmo do obrázku)

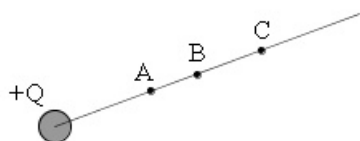


O 3.1.3.-24 a),b),c),d)

ZTO 3.1.3.-3

Náboj $+Q$ vytváří elektrické pole. V tomto poli uvažujte tři body A,B,C. (viz obr. O 3.1.3.-25). Intenzity elektrického pole v těchto bodech označíme $\vec{E}_A$, $\vec{E}_B$, $\vec{E}_C$. Která z následujících tvrzení jsou správná ?

- a) vektory $\vec{E}_A, \vec{E}_B, \vec{E}_C$ leží na jedné vektorové přímce a mají stejnou velikost , tj. $E_A = E_B = E_C$
- b) vektory $\vec{E}_A, \vec{E}_B, \vec{E}_C$ leží na jedné vektorové přímce, ale mají různou velikost, $E_A < E_B < E_C$
- c) vektory $\vec{E}_A, \vec{E}_B, \vec{E}_C$ leží na jedné vektorové přímce, ale mají různou velikost, $E_A > E_B > E_C$
- d) vektory $\vec{E}_A, \vec{E}_B, \vec{E}_C$ mají různé směry i velikosti.

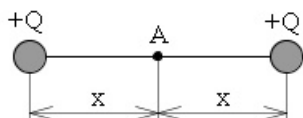


O 3.1.3.-25

ZTO 3.1.3.-4

Uvažujte dva stejné bodové náboje $+Q$ podle obr. O 3.1.3.-26. Jak velká je intenzita elektrického pole v bodě A ? $E =$

- a) $k \cdot 2 \cdot Q / (4x^2)$
- b) $k \cdot Q / (4x^2)$
- c) $k \cdot Q / x^2$
- d) 0 N/C



O 3.1.3.-26

ZTO 3.1.3.-5

Homogenní elektrické pole se vyznačuje tím, že v jednotlivých bodech tohoto pole má intenzita

- a) stejný směr, ale může mít různou velikost
- b) různý směr, ale stejnou velikost
- c) stejný směr i velikost

ZTO 3.1.3.-6

Uvažujte elektrické pole mezi dvěma rovnoběžnými deskami na kterých jsou náboje $+Q$ a $-Q$. Je-li vzdálenost desek d , je velikost intenzity pole mezi deskami E . Jaká bude velikost intenzity E' jestliže vzdálenost desek zdvojnásobíme (za jinak stejných podmínek) ? E' je

- a) stejná, tj. rovna E
- b) $2 \cdot E$
- c) $E/2$

ZTO 3.1.3.-7

Elektrický dipól tvoří dva náboje, jejichž vzdálenost je d (rameno dipólu). Náboje mají stejnou velikost a jsou

- a) oba kladné $(+Q, +Q)$
- b) oba záporné $(-Q, -Q)$
- c) jeden kladný a druhý záporný $(+Q, -Q)$

ZTO 3.1.3.-8

Jednotka intenzity je

- a) N/C
- b) C/N
- c) C
- d) J/C

ZTO 3.1.3.-9

V homogenním elektrostatickém poli intenzity E_1 působí na náboj $3 \mu\text{C}$ síla 6 mN .

V homogenním elektrostatickém poli intenzity E_2 působí na náboj $5 \mu\text{C}$ síla 10 mN .

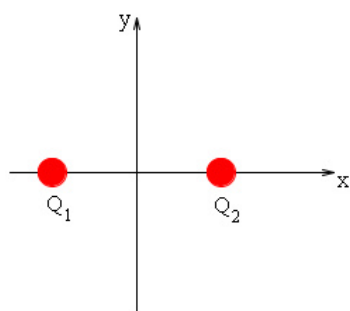
Na základě těchto údajů **lze tvrdit, že**

- a) $E_1 < E_2$
- b) $E_1 > E_2$
- c) $E_1 = E_2$

ZTO 3.1.3.-10

Na obrázku [O 3.1.3.-13](#) jsou dvě částice ve stejné vzdálenosti od počátku souřadnic. Náboje částic jsou $Q_1 = 2e$ a $Q_2 = -3e$. **Pro vektory intenzit $\vec{E}_1$ a $\vec{E}_2$** elektrostatického pole od obou částic v počátku souřadnic platí: oba vektory mají působiště v počátku souřadnic a

- a) vektor $\vec{E}_1$ je orientován ve směru $+x$, $\vec{E}_2$ je orientován ve směru $+x$
- b) vektor $\vec{E}_1$ je orientován ve směru $+x$, $\vec{E}_2$ je orientován ve směru $-x$
- c) vektor $\vec{E}_1$ je orientován ve směru $-x$, $\vec{E}_2$ je orientován ve směru $+x$
- d) vektor $\vec{E}_1$ je orientován ve směru $-x$, $\vec{E}_2$ je orientován ve směru $-x$

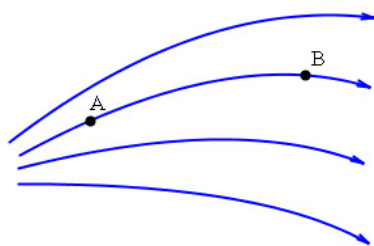


[O 3.1.3.-13](#)

BTO 3.1.3.-11

Na obrázku [O 3.1.3.-15](#) jsou elektrické siločáry. V poli se nachází náboj Q . Ve kterém bodě bude na náboj Q působit elektrické pole **větší silou?**

- a) v bodě A
- b) v bodě B

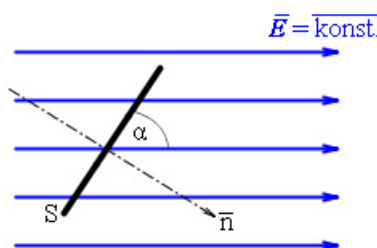


O 3.1.3.-15

BTO 3.1.3.-12

Na obrázku O 3.1.3.-16 vidíte homogenní elektrické pole ($\vec{E}$ je konstantní). Určete tok vektoru $\vec{E}$ plochou $\vec{S}$. $\Phi_e =$.

- a) $E.S$
- b) $E.S.\cos \alpha$
- c) $E.S.\cos(\frac{\pi}{2} - \alpha)$
- d) $E.S.\sin(\frac{\pi}{2} - \alpha)$



O 3.1.3.-16

BTO 3.1.3.-13

Náboj Q se nachází ve středu kulové plochy, jejíž povrch je $400 \pi \text{ m}^2$. Tuto plochu protíná $36 \pi \cdot 10^5$ siločar. Velikost intenzity E na povrchu této koule je $E =$

- a) $36 \pi \cdot 10^5 \text{ N/C}$
- b) $1/9 \cdot 10^3 \text{ N/C}$
- c) $9 \cdot 10^3 \text{ N/C}$
- d) $144 \pi^2 \cdot 10^7 \text{ N/C}$

ZTO 3.1.3.-14

Uvažujte elektrické pole nabité desky s plošnou hustotou náboje $+\sigma$. Velikost intenzity pole této desky je E . Pokud plošnou hustotu náboje na desce zdvojnásobíme ($+2\sigma$) intenzita pole bude E_1 **pro kterou platí**

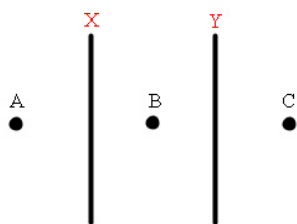
- a) $E_1 = E$
- b) $E_1 < E$
- c) $E_1 > E$

ZTO 3.1.3.-15

Na obrázku O 3.1.3.-18 vidíte dvě rovnoběžné desky X a Y a tři body A,B,C. **Ve kterém případě** je intenzita elektrického pole desek v bodě B rovna nule tj. $E_B = 0 \text{ N/C}$?

- a) plošná hustota náboje desky X je $+\sigma$ plošná hustota náboje desky Y je $+\sigma$
- b) plošná hustota náboje desky X je $+\sigma$ plošná hustota náboje desky Y je $-\sigma$
- c) plošná hustota náboje desky X je $-\sigma$ plošná hustota náboje desky Y je $+\sigma$

d) plošná hustota náboje desky X je $-\sigma$ plošná hustota náboje desky Y je $-\sigma$



O 3.1.3.-18

ZTO 3.1.3.-16

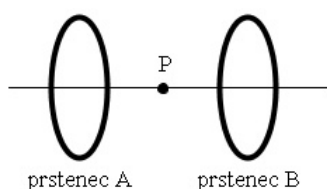
Uvažujte homogenní elektrické pole mezi dvěma rovnoběžnými deskami s plošnými hustotami nábojů $+\sigma$ a $-\sigma$. Je-li vzdálenost desek d , je intenzita pole mezi deskami E . Zdvojnásobíme-li vzdálenost desek (za jinak stejných podmínek), **intenzita pole** mezi deskami

- a) se zdvojnásobí
- b) bude poloviční
- c) zůstane stejná

BTO 3.1.3.-17

Na obrázku O 3.1.3.-19 jsou dva stejné nevodivé kruhové prstence se středy na společné ose. Na prstencích A a B jsou rovnoměrně rozloženy náboje. Ve kterém případě a), b), c) je velikost výsledné intenzity E v bodě P uprostřed mezi prstenci **největší**?

- a) na A je náboj $+Q$ na B je náboj $+Q$
- b) na A je náboj $-Q$ na B je náboj $-Q$
- c) na A je náboj $-Q$ na B je náboj $+Q$



O 3.1.3.-19

BTO 3.1.3.-18

Gaussovou kulovou plochou o poloměru r , která obklopuje osamocenou nabitou částici, prochází tok Φ_{e1} . Zaměníme-li tuto Gaussovu plochu za

- kulovou plochu o větším poloměru, prochází jí tok Φ_{e2}
- povrch opsané krychle, prochází jím tok Φ_{e3} .

O zmíněných tocích **platí**

- a) $\Phi_{e1} = \Phi_{e2} = \Phi_{e3}$
- b) $\Phi_{e1} < \Phi_{e2} > \Phi_{e3}$
- c) $\Phi_{e1} < \Phi_{e2} < \Phi_{e3}$
- d) $\Phi_{e1} > \Phi_{e2} > \Phi_{e3}$
- e) $\Phi_{e1} = \Phi_{e2} > \Phi_{e3}$
- f) $\Phi_{e1} = \Phi_{e2} < \Phi_{e3}$

ZU 3.1.3.-1

V daném místě elektrického pole působí na bodový náboj $Q = 10\mu\text{C}$ síla o velikosti $F = 0,05\text{ N}$. Určete velikost intenzity elektrického pole v tomto místě.

ZU 3.1.3.-2

Bodový náboj $Q = 4 \cdot 10^{-9}\text{ C}$ ve vakuu vytváří elektrostatické pole. Určete velikost a směr intenzity tohoto pole ve vzdálenosti 3 m od náboje.

ZU 3.1.3.-3

Homogenní pole nabitě roviny má intenzitu $2 \cdot 10^3\text{ N/C}$. Jaká je plošná hustota σ náboje na desce?

ZU 3.1.3.-4

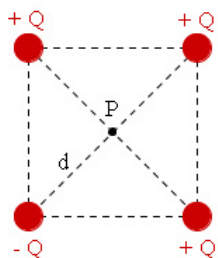
Homogenní pole mezi nabitými rovnoběžnými rovinami $+\sigma$ a $-\sigma$ má intenzitu $2 \cdot 10^3\text{ N/C}$. Jaká je plošná hustota σ náboje na deskách?

BU 3.1.3.-5

Neutrální molekula vody H_2O má ve svém plynném stavu dipólový moment $6,2 \cdot 10^{-30}\text{ C.m}$. Jaká je vzdálenost středů kladného a záporného náboje v molekule? (molekula se skládá ze dvou atomů vodíku ${}_1\text{H}^1$ a atomu kyslíku ${}_8\text{O}^{16}$)

ZU 3.1.3.-6

Čtyři stejně velké bodové náboje tvoří čtverec (obrázek O 3.1.3.-11). Určete intenzitu výsledného pole ve středu čtverce v bodě P. Vzdálenost bodu P od nábojů je d . Pozor na znaménka nábojů!



O 3.1.3.-11

BLP 3.1.3.-7

Náboj $Q = 5 \cdot 10^{-8}\text{ C}$ je umístěn v počátku souřadnic. Určete vektor elektrické intenzity $\vec{E}$ v bodě A jehož poloha je dána polohovým vektorem $\vec{r} = (3\vec{i} + 4\vec{j})\text{ m}$.

1) Vypočítejte velikost polohového vektoru, tj vzdálenost bodu A od náboje Q.

$$r = 5\text{ m}$$

2) Vypočítejte velikost intenzity elektrického pole náboje Q ve vzdálenosti r (Q považujeme za bodový).

$$E = 90/5 = 18\text{ N/C}$$

3) Napište jednotkový vektor $\vec{r}_o$

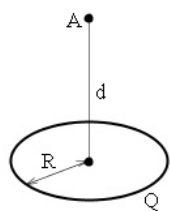
$$\vec{r}_o = (3/5\vec{i} + 4/5\vec{j})\text{ m}$$

4) Napište vektor $\vec{E}$

$$\vec{E} = E \cdot \vec{r}_o = 18(3/5\vec{i} + 4/5\vec{j}) \quad \text{N/C}$$

BLP 3.1.3.-8

Náboj $+Q$ je rovnoměrně rozložen na prstenci poloměru R . Určete velikost intenzity elektrického pole prstence v bodě A na ose prstence ve vzdálenosti d (obrázek O 3.1.3.-20a). Jaká bude velikost intenzity elektrického pole prstence v jeho středu?

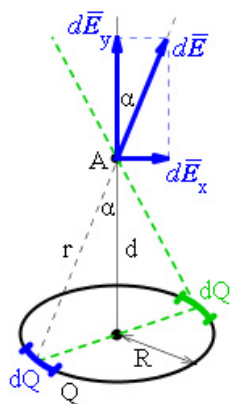


O 3.1.3.-20a

1) Řešíme za předpokladu, že prstenec s nábojem $+Q$ nelze považovat za bodový náboj. Proto si zvolte libovolný element prstence na který připadá element náboje dQ . Element dQ budí v bodě A pole o intenzitě $d\vec{E}$. Vyjádříme si velikost tohoto elementu dE . Protože element dQ lze považovat za bodový náboj, můžete vyjádřit dE .
 $dE = ?$

Použijete-li vztah $E = k \frac{Q}{r^2}$, můžete psát $dE = k \frac{dQ}{r^2}$

2) Sledujte obrázek O 3.1.3.-20b.



O 3.1.3.-20b

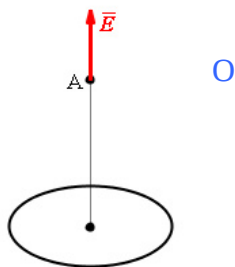
Vektory $d\vec{E}$ mají stejnou velikost, ale různý směr. Vektor $d\vec{E}$ rozložte do dvou složek $d\vec{E}_x$ a $d\vec{E}_y$. Napište jejich velikosti (pomocí dE a úhlu α).

$$dE_x = dE \cdot \sin \alpha = k \frac{dQ}{r^2} \sin \alpha$$

$$dE_y = dE \cdot \cos \alpha = k \frac{dQ}{r^2} \cos \alpha$$

3) Ke každému elementu dQ můžete vybrat středově souměrný element (zelený) tak, že jejich $d\vec{E}_x$ ové složky se vyruší. Výsledná intenzita pole prstence v osovém bodě A bude mít směr

kolmý na rovinu prstence (obrázek [O 3.1.3.-20c](#)) a její velikost bude $E = E_y = \int dE_y$. Vypočítejte E .



3.1.3.-20c

Do integrálu dosadíme za dE_y , vytkneme konstanty a vyjádříme $\cos \alpha$.

$$E = \frac{k}{r^2} \cdot \frac{d}{r} \int dQ \quad \text{a protože } r^2 = R^2 + d^2 \text{ můžeme psát} \quad E = \frac{k \cdot d}{(R^2 + d^2)^{3/2}} \int dQ$$

Po integraci dostaneme výsledek $E = \frac{k \cdot d \cdot Q}{(R^2 + d^2)^{3/2}}$

4) Vypočítejte intenzitu pole prstence v jeho středu.

$$E = 0 \text{ N/C}$$

Ve středu prstence je $d = 0$.

5) Podívejte se znovu na výsledek z bodu 3). Jak se tento vztah změní v případě že $d \gg R$, tj. bod A je hodně daleko od roviny prstence? $E = ?$

Velikost intenzity bude $E = k \frac{Q}{d^2}$

Je-li $d \gg R$ můžeme ve jmenovateli zanedbat R^2 vzhledem k d^2 . Prstenec s nábojem Q lze v tomto případě považovat za bodový náboj Q .

BU 3.1.3.-9

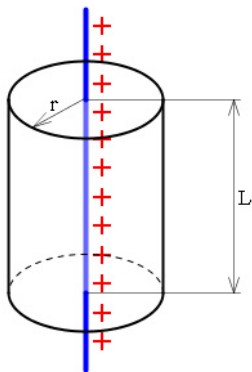
Vraťte se k úloze BŘU 3.1.2.-10. V úloze jsme vyřešili velikost síly, kterou působí nabitá tyčinka na náboj Q . Použijte výsledku a napište velikost intenzity pole nabitě tyčinky ve vzdálenosti R od počátku souřadnic (tj. v místě, kde byl umístěný náboj $+Q$).

BU 3.1.3.-10

Náboj objemové hustoty $4 \cdot 10^{-8} \text{ C} \cdot \text{m}^{-3}$ je obsažen v objemu válce délky 2,5 cm a poloměru 1,4 cm. Vypočítejte tok elektrických siločar pláštěm tohoto válce.

BLP 3.1.3.-11

Na obrázku [O 3.1.3.-21](#) vidíte nekonečně dlouhou tyčinku nabitou kladným nábojem s délkovou hustotou τ . Najděte vztah pro intenzitu $\vec{E}$ ve vzdálenosti r od osy tyčinky.



O 3.1.3.-21

1) Úlohu budeme řešit pomocí Gaussovy věty. Jaký směr má vektor intenzity $\vec{E}$ zkoumaného pole tyčinky?

Vektor $\vec{E}$ směřuje radiálně od osy tyčinky (pokud je tyčinka kladně nabitá).

2) Jaký tvar bude mít Gaussova plocha?

Gaussovu plochu zvolíme tak, aby vystihovala symetrii problému, tedy jako povrch válce o poloměru r a výšce H .

3) Intenzitu budeme řešit z rovnice $\oint_P \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$

Tok vektoru $\vec{E}$ podstavami válce je nulový, bude nás tedy zajímat jen tok pláštěm válce. Velikost intenzity na povrchu válce je konstantní. Výchozí rovnice má tvar:.....

$$E \cdot 2\pi \cdot r \cdot H = Q / \epsilon_0$$

4) Napište vztah pro velikost intenzity E ve vzdálenosti r od kladně nabitě tyčinky. $E = ?$

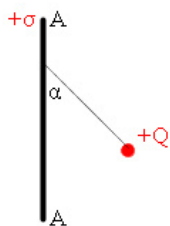
$E = \frac{Q}{2\pi \cdot r \cdot H \cdot \epsilon_0} = \frac{\tau}{2\pi \cdot r \cdot \epsilon_0}$, kde $\frac{Q}{H} = \tau$ je délková hustota náboje. Vektor $\vec{E}$ směřuje radiálně od nabitého vlákna, je-li náboj vlákna kladný a radiálně k němu, je-li záporný.

BU 3.1.3.-12

Předpokládejte, že x-y rovina je elektricky nabitá. Plošná hustota náboje je $4 \cdot 10^{-10} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}$. Vypočítejte vektor intenzity elektrického pole v bodech $x_1 = 2 \text{ cm}$, $x_2 = -3 \text{ cm}$.

BU 3.1.3.-13

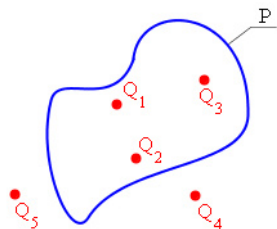
Na obrázku O 3.1.3.-22a je AA nabitá deska (hodně velká) a souhlasně nabitá částice. Hmotnost částice je $m = 4 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$ a náboj $Q = 6,67 \cdot 10^{-10} \text{ C}$. Částice je zavěšena na vlákně, které je napínáno silou $R = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ N}$. Najděte plošnou hustotu náboje na desce AA.



O 3.1.3.-22a

BU 3.1.3.-14

Na obrázku O 3.1.3.-23 vidíte pět nábojů a řez jistou Gaussovou plochou P. Určete tok intenzity elektrického pole plochou P. $Q_1 = Q_4 = +3,1 \text{ nC}$, $Q_2 = Q_5 = -5,9 \text{ nF}$, $Q_3 = -3,1 \text{ nC}$.



O 3.1.3.-23

3.1.4. BODOVÝ NÁBOJ V ELEKTRICKÉM POLI**SHRNUTÍ**

Jestliže se v elektrickém poli intenzity $\vec{E}$ nachází částice, která má náboj Q a hmotnost m , působí na ni elektrické pole silou

$$\vec{F} = Q \cdot \vec{E}$$

Homogenní elektrické pole působí na částici konstantní silou a částice se v poli pohybuje rovnoměrně zrychleně (zpomaleně).

**ZTO 3.1.4.-1**

Částice má hmotnost m a náboj Q . S jak velkým zrychlením se bude pohybovat v homogenním elektrostatickém poli, jehož intenzita má velikost E . $a =$

- a) $E \cdot Q$
- b) $E/(Q \cdot m)$

- c) $E \cdot Q/m$
- d) jinak než je uvedeno

ZTO 3.1.4.-2

Na náboj $Q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ působí elektrostatické pole silou $4 \cdot 10^{-3} \text{ N}$. Jak velká je intenzita pole v místě náboje Q ? $E =$

- a) $8 \cdot 10^{-9} \text{ N/C}$
- b) $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ C/N}$
- c) $2 \cdot 10^3 \text{ N/C}$
- d) úloha nejde řešit pro nedostatečné zadání

BTO 3.1.4.-3

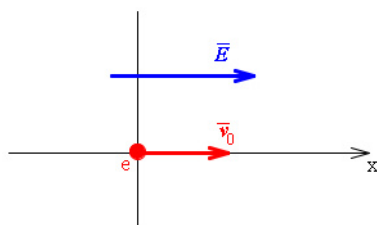
Uvažujte elektrický dipól v homogenním elektrostatickém poli. Jak se bude dipól chovat?

- a) poloha dipólu se nezmění, dipól zůstane v klidu
- b) dipól se bude pohybovat ve směru $\vec{E}$
- c) elektrické pole natočí dipól tak, že rameno dipólu je rovnoběžné s vektorem intenzity $\vec{E}$

ZTO 3.1.4.-4

Elektron vnikne do homogenního elektrostatického pole intenzity $\vec{E}$ s počáteční rychlostí $\vec{v}_0$ (viz obrázek O 3.1.4.-5). **Jaký je směr** elektrostatické síly, kterou na elektron působí znázorněné elektrostatické pole?

- a) ve směru $+x$
- b) ve směru $-x$



O 3.1.4.-5

BTO 3.1.4.-5

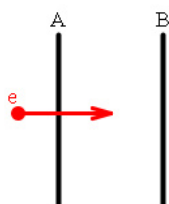
Elektron vnikne do homogenního elektrostatického pole intenzity $\vec{E}$ s počáteční rychlostí $\vec{v}_0$ (viz obrázek O 3.1.4.-5). **Elektron se bude v poli pohybovat** pohybem přímočarým

- a) rovnoměrným
- b) rovnoměrně zrychleným ($a > 0$)
- c) rovnoměrně zpomaleným ($a < 0$)
- d) obecně nerovnoměrným

BTO 3.1.4.-6

Uvažujte dvě rovnoběžné nabitě desky A a B. V prostoru mezi nimi je homogenní elektrostatické pole. Na obrázku O 3.1.4.-6 prochází elektron malým otvorem v desce A a pohybuje se směrem k desce B. Elektrické pole v prostoru mezi deskami zpomaluje elektron, aniž by ho vychylovalo. **Jaký je směr** intenzity $\vec{E}$ elektrického pole v prostoru mezi deskami?

- a) doprava, tj. $A \rightarrow B$
- b) doleva, tj. $A \leftarrow B$



O 3.1.4.-6

BTO 3.1.4.-7

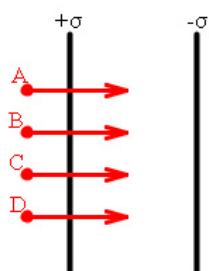
Do homogenního elektrostatického pole, které je realizováno mezi nabitými deskami, vstupují podle obrázku O 3.1.4.-7 čtyři částice **A,B,C,D** jejichž náboje a hmotnosti jsou uvedeny v závorkách:

- částice **A** ($+Q, m$)
- částice **B** ($+2Q, m$)
- částice **C** ($+2Q, 2m$)
- částice **D** ($+Q, 2m$)

Které částice se pohybují s **nejmenším zrychlením**?

- a) **A**
- b) **B**

- c) **C**
d) **D**
e) všechny částice se pohybují se stejným zrychlením



O 3.1.4.-7

BTO 3.1.4.-8

Do homogenního elektrostatického pole, které je realizováno mezi nabitými deskami, vstupují podle obrázku O 3.1.4.-7 čtyři částice **A,B,C,D** jejichž náboje a hmotnosti jsou uvedeny v závorkách:

- částice **A** ($+Q, m$)
částice **B** ($+2Q, m$)
částice **C** ($+2Q, 2m$)
částice **D** ($+Q, 2m$)

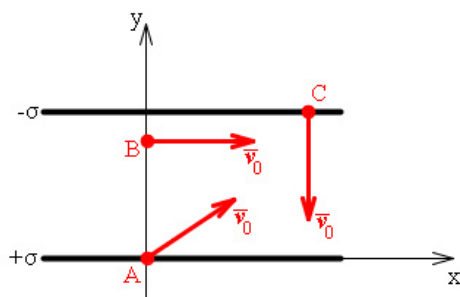
Které částice se pohybují s **největším zrychlením**?

- a) **A**
b) **B**
c) **C**
d) **D**
e) všechny částice se pohybují se stejným zrychlením

BTO 3.1.4.-9

Do homogenního elektrostatického pole, které je realizováno mezi nabitými deskami, vstupují podle obrázku O 3.1.4.-8 tři částice **A,B,C**. Které z částic se v poli pohybují tak, že jejich **trajektorií je přímka**?

- a) **A**
b) **B**
c) **C**
d) všechny
e) žádná



O 3.1.4.-8

BTO 3.1.4.-10

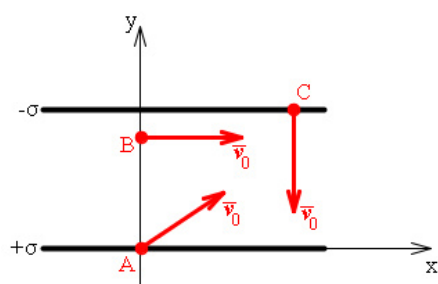
Do homogenního elektrostatického pole, které je realizováno mezi nabitými deskami, vstupují podle obrázku O 3.1.4.-8 tři částice **A,B,C**. Které z částic se v poli pohybují tak, že jejich trajektorií je kružnice?

- a) **A**
- b) **B**
- c) **C**
- d) všechny
- e) žádná

BTO 3.1.4.-11

Do homogenního elektrostatického pole, které je realizováno mezi nabitými deskami, vstupují podle obrázku O 3.1.4.-8 tři částice **A,B,C**. Které z částic se v poli pohybují tak, že jejich trajektorií je parabola?

- a) **A**
- b) **B**
- c) **C**
- d) všechny
- e) žádná



O 3.1.4.-8

ZU 3.1.4.-1

Elektron se nachází v homogenním elektrostatickém poli intenzity $2 \cdot 10^3$ N/C. Jak velkou silou působí toto pole na elektron? Jak velké zrychlení uděluje síla pole elektronu?

ZU 3.1.4.-2

Jak velkou silou působí na proton elektrické pole v místě, kde má jeho intenzita velikost $2 \cdot 10^5$ N/C? Jak velké okamžité zrychlení má proton v tomto místě pole?

BU 3.1.4.-3

Svazky elektronů s vysokou energií mohou být vytvářeny v „elektronových dělech“, v nichž jsou urychlovány elektrickým polem.

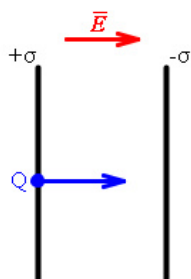
1. Jaké bude zrychlení elektronů, je-li intenzita elektrického pole v dělu $2 \cdot 10^4$ N/C?
2. Jakou rychlost elektron získá, jestliže ho pole urychluje na dráze 1 cm?

BU 3.1.4.-4

Vypočítejte vektor intenzity $\vec{E}$ elektrického pole které uděluje částici ($m = 3 \cdot 10^{-5}$ kg, $Q = -5 \cdot 10^{-6}$ C) zrychlení $\vec{a} = 1,8 \cdot 10^3 \vec{k}$ m.s⁻²

ZU 3.1.4.-5

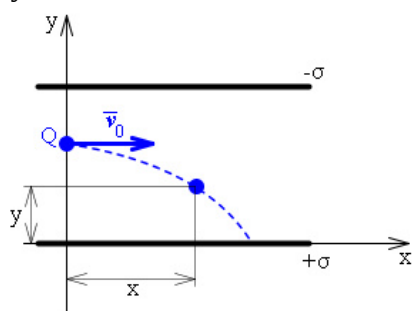
Do homogenního elektrického pole (obrázek O 3.1.4.-9) vstupuje nabitá částice ($Q = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$) s kinetickou energií 12 mJ a vystupuje z tohoto pole s kinetickou energií 28 mJ. Pohyb částice v poli se děje pouze vlivem elektrické síly. Vypočítejte napětí mezi deskami.



O 3.1.4.-9

BU 3.1.4.-6

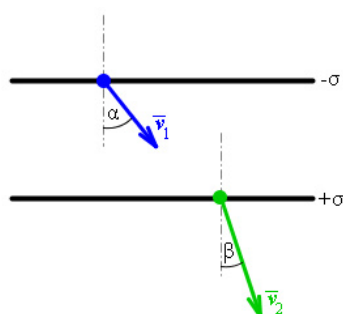
Homogenním elektrostatickým polem $E = 15 \text{ kV/m}$ prochází svazek elektronů tak, že jejich počáteční rychlost $\vec{v}_0$ je kolmá na vektor intenzity $\vec{E}$ (obrázek O 3.1.4.-10). Po uražení dráhy $x = 0,05 \text{ m}$ se odkloní od vodorovného směru o $y = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Stanovte velikost počáteční rychlosti v_0 .



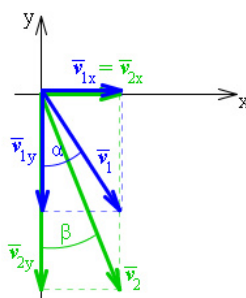
O 3.1.4.-10

BLP 3.1.4.-7

Sledujte obrázek O 3.1.4.-11. Homogenní elektrostatické pole je realizováno mezi rovnoběžnými nabitými deskami. Elektron vstoupí do pole s rychlostí $\vec{v}_1$ pod úhlem α , vystupují s rychlostí $\vec{v}_2$ pod úhlem β . Najděte v jakém vztahu jsou velikosti rychlostí v_1 , v_2 s úhly α , β .



O 3.1.4.-11



O 3.1.4.-12

1) V ose x na elektron nepůsobí síla, **x-ová složka rychlosti je konst.** Síla, kterou pole působí na elektron způsobí změnu velikosti y-ové složky rychlosti.

Sledujte obrázek O 3.1.4.-12. Složky rychlosti $\vec{v}_1$ označíme $\vec{v}_{1x}$ a $\vec{v}_{1y}$. Zapište velikost složky $v_{1x} =$
 $v_{1x} = v_1 \sin \alpha$

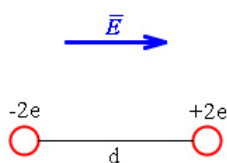
2) Složky rychlosti $\vec{v}_2$ označíme $\vec{v}_{2x}$ a $\vec{v}_{2y}$. Zapište velikost složky $v_{2x} =$
 $v_{2x} = v_2 \sin \beta$

3) V jakém vztahu jsou velikosti rychlostí v_1 , v_2 a úhly α , β ?
 $v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$

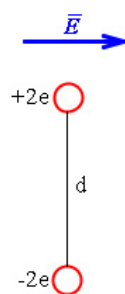
BU 3.1.4.-8

Elektrický dipól se skládá z nábojů $+2e$ a $-2e$, jejichž vzdálenost je 0,78 nm. Nachází se v elektrickém poli o intenzitě $3,4 \cdot 10^6$ N/C. Vypočítejte velikost momentu sil působícího na dipól, je-li dipól orientován

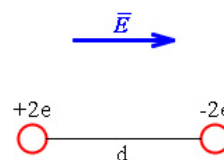
- souhlasně rovnoběžně (obrázek O 3.1.4.-13 a)
 - kolmo (obrázek O 3.1.4.-13 b)
 - nesouhlasně rovnoběžně (obrázek O 3.1.4.-13 d)
- vzhledem k intenzitě $\vec{E}$ elektrického pole.



O 3.1.4.-13 a



O 3.1.4.-13 b



O 3.1.4.-13 d

3.1.5. ELEKTRICKÁ POTENCIÁLNÍ ENERGIE, ELEKTRICKÝ POTENCIÁL



SHRNUTÍ

Přemístí-li se bodový elektrický náboj v elektrickém poli z bodu A do libovolného bodu B je změna jeho elektrické potenciální energie ΔE_p rovna

$$\Delta E_p = E_{pB} - E_{pA} = -W,$$

kde W je práce vykonaná polem při přemístění náboje z bodu A do bodu B.

Kromě vektorové veličiny - intenzity - můžeme elektrické pole charakterizovat také skalární veličinou, zvanou **elektrický potenciál**.

Elektrický potenciál v daném bodě je roven práci, kterou vykonají síly pole při přemístění kladného jednotkového náboje z daného místa pole do místa, kde je velikost síly (a taky intenzity) pole rovna nule.

$$\varphi = \frac{W}{Q_0}$$

Nebo: Elektrický potenciál v daném bodě je roven práci, kterou vykonají síly pole při přemístění kladného jednotkového náboje z místa kde je velikost síly (a taky intenzity) pole rovna nule do daného místa pole, tedy

$$\varphi = -\frac{W}{Q_0}$$

Všechny body na **ekvipotenciální ploše** mají stejný elektrický potenciál. Například u pole bodového náboje nebo náboje rovnoměrně rozmístěného na kulovém vodiči tvoří ekvipotenciální hladiny soustředné kulové plochy. Elektrický potenciál na kulové ploše o poloměru r je dán vztahem

$$\varphi = k \frac{Q}{r}$$

Potenciál pole vyvolaného soustavou nábojů je součtem potenciálů dílčích polí.
Jednotkou potenciálu je **volt** (V).



ZTO 3.1.5.-1

Potenciál elektrického pole v bodě A **je**

- práce, potřebná k přemístění náboje $+Q$ z místa A do místa s nulovým potenciálem
- práce, potřebná k přemístění jednotkového kladného náboje z místa A do místa s nulovým potenciálem
- síla, kterou pole působí na jednotkový kladný náboj v místě A
- síla, kterou pole působí na náboj Q v bodě A

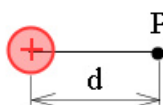
ZTO 3.1.5.-2

Potenciál v bodě P elektrického pole kladného bodového náboje je φ .

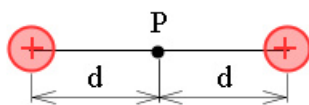
Potenciál v bodě P elektrického pole záporného bodového náboje je $-\varphi$.

Ve kterém případě je potenciál v bodě P **největší**?

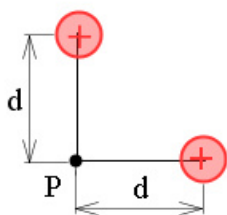
- na obrázku [O 3.1.5.-3a](#)
- na obrázku [O 3.1.5.-3b](#)
- na obrázku [O 3.1.5.-3c](#)
- na obrázku [O 3.1.5.-3d](#)
- na obrázcích [O 3.1.5.-3b](#) a [O 3.1.5.-3c](#) je potenciál stejný a největší



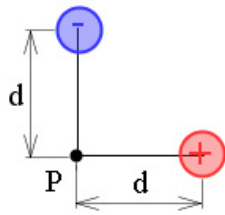
[O 3.1.5.-3a](#)



[O 3.1.5.-3b](#)



O 3.1.5.-3c



O 3.1.5.-3d

ZTO 3.1.5.-3

Potenciál v bodě P elektrického pole kladného bodového náboje je φ .

Potenciál v bodě P elektrického pole záporného bodového náboje je $-\varphi$.

Ve kterém případě je potenciál v bodě P **nejmenší**?

a) na obrázku O 3.1.5.-3a

b) na obrázku O 3.1.5.-3b

c) na obrázku O 3.1.5.-3c

d) na obrázku O 3.1.5.-3d

d)

ZTO 3.1.5.-4

Jednotkou potenciálu je volt (V). Je to **základní jednotka** soustavy SI?

a) ne

b) ano

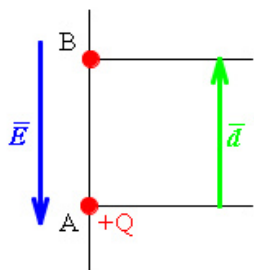
BTO 3.1.5.-5

Na obrázku O 3.1.5.- 4 vidíme nabitou částici $(+Q, m)$, která se nachází v homogenním elektrickém poli intenzity $\vec{E}$ v bodě A. Částice je přesunuta do polohy B. Elektrická **potenciální energie částice**

a) klesne

b) vzroste

c) se nezmění



O 3.1.5.- 4

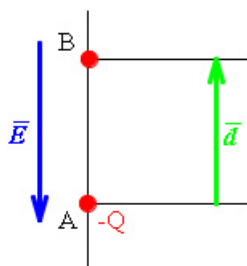
BTO 3.1.5.-6

Na obrázku O 3.1.5.-5 vidíme nabitou částici $(-Q, m)$, která se nachází v homogenním elektrickém poli intenzity $\vec{E}$ v bodě A. Částice je přesunuta do polohy B. Elektrická **potenciální energie částice**

a) klesne

b) vzroste

c) se nezmění



O 3.1.5.-5

BTO 3.1.5.-7

Jakou elektrickou potenciální energii má náboj $3 \mu\text{C}$, který se nachází v poli bodového náboje $4 \mu\text{C}$ ve vzdálenosti 3 m ? $E_p =$

BTO 3.1.5.-8

Vypočítejte elektrický potenciál ve vzdálenosti 3 m od bodového náboje $4 \mu\text{C}$? $\varphi =$

BTO 3.1.5.-9

Uvažujte dva bodové náboje $Q_1 = +1 \mu\text{C}$ a $Q_2 = +1 \mu\text{C}$ ve vzdálenosti $d = 6 \text{ m}$. Vypočítejte potenciál výsledného pole v bodě, který leží na spojnici obou nábojů ve vzdálenosti $d/2$ od každého náboje. $\varphi =$

BTO 3.1.5.-10

Uvažujte dva bodové náboje $Q_1 = -1 \mu\text{C}$ a $Q_2 = +1 \mu\text{C}$ ve vzdálenosti $d = 6 \text{ m}$. Vypočítejte potenciál výsledného pole v bodě, který leží na spojnici obou nábojů ve vzdálenosti $d/2$ od každého náboje. $\varphi =$

BTO 3.1.5.-11

V elektrickém poli má potenciál průběh podle rovnice $\varphi(x) = 100 x^2$. Intenzita E tohoto pole má rovnici $E =$

ZTO 3.1.5.-12

Na obrázku vidíte siločáry (modré) a ekvipotenciální hladiny (zelené), které přísluší bodovému náboji $+Q$. **Co lze říci** o potenciálech φ_A a φ_B v bodech A a B?

- a) $\varphi_A = \varphi_B$
- b) $\varphi_A < \varphi_B$
- c) $\varphi_A > \varphi_B$

BTO 3.1.5.-13

Vektor intenzity $\vec{E}$ v každém bodě elektrického pole

- a) je kolmý na ekvipotenciální hladinu
- b) je rovnoběžný s ekvipotenciální hladinou
- c) má směr tečny k ekvipotenciální hladině

ZU 3.1.5.-1

Uvažujte bod A v poli bodového náboje. Jak velký potenciál je v tomto bodě, bylo-li třeba k přenesení náboje 10 C z bodu A do nekonečna práce 1000 J ?

ZU 3.1.5.-2

V homogenním elektrickém poli působí na bodový náboj o velikosti $2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ elektrická síla 8 N. Jakou práci vykonají síly elektrického pole při přemístění daného náboje do vzdálenosti 0,2 m podél siločáry.

BU 3.1.5.-3

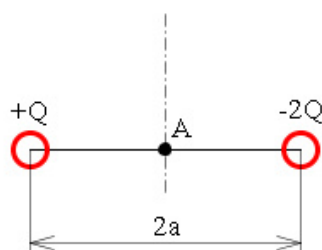
Bodový náboj $8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ je umístěn v počátku souřadnic. Jaký je potenciál v bodě A(-4,3,0). Souřadnice bodu A jsou zadány v metrech.

BU 3.1.5.-4

Bodový náboj $6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ je umístěn v počátku souřadnic. Vypočítejte poloměr ekvipotenciální hladiny, která je charakterizována potenciálem $3 \cdot 10^4 \text{ V}$.

BU 3.1.5.-5

Kladný náboj $+Q$ a záporný náboj $-2Q$ jsou ve vzdálenosti $2a$. Určete potenciál v bodě A (obrázek O 3.1.5.-7).



O 3.1.5.-7

BU 3.1.5.-6

Vypočítejte potenciál v bodě, který se nachází 10 cm od středu nabitě koule. Poloměr koule je 1 cm. Úlohu řešte v těchto dvou případech:

- 1) je zadána plošná hustota náboje na kouli $\sigma = 10^{-11} \text{ C/cm}^2$
- 2) je zadán potenciál koule $\varphi_0 = 300 \text{ V}$.

ZU 3.1.5.-7

Vyjádřete jednotku volt v základních jednotkách soustavy SI.

BU 3.1.5.-8

Částice $(+Q, m)$ se pohybuje rychlostí v . Na jakou vzdálenost R se může částice přiblížit ke kladnému bodovému náboji $+q$?

3.1.6. ELEKTRICKÉ NAPĚTÍ**SHRNUTÍ**

Práce, kterou vykonají síly pole při přemístění kladného jednotkového náboje z jednoho bodu pole do druhého bodu pole je **napětí U** .

$$U = \frac{W}{Q_0}$$

Jednotka napětí je **volt (V)**. Z této rovnice můžeme definovat jednotku energie **elektronvolt (eV)**.

Uvažujme nehomogenní pole. Pole působí na částici v každém bodě její trajektorie silou $\vec{F} = Q_o \cdot \vec{E}$ a tato síla koná při posunutí částice o $d\vec{r}$ práci $dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}$.

$$W = Q_o \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} \Rightarrow U = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

Pro napětí v homogenním elektrickém poli intenzity E lze snadno odvodit vztah

$$U = E \cdot d$$

kde d je vzdálenost dvou ekvipotenciálních hladin, mezi nimiž je napětí U . Z tohoto vztahu plyne jednotka intenzity jako V/m.

Pokud částice hmotnosti m a náboje Q projde potenciálním rozdílem U , získá kinetickou energii E_k pro kterou platí:

$$Q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$



ZTO 3.1.6.-1

Napětí U mezi body A a B **je rovno**

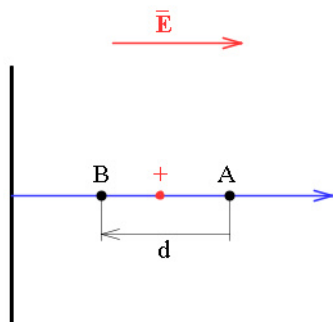
- práci, potřebné k přemístění jednotkového náboje z bodu A do bodu B
- práci, potřebné k přemístění náboje Q z bodu A do bodu B
- rozdílu potenciálů v bodech A a B

ZTO 3.1.6.-2

Na obrázku O 3.1.6.-8a vidíte proton, který se pohybuje ve směru šipky v homogenním elektrickém poli o intenzitě $\vec{E}$ z bodu A do bodu B.

Elektrické pole **koná práci**

- kladnou
- zápornou



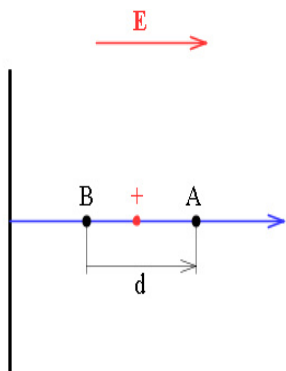
O 3.1.6.-8a

ZTO 3.1.6.-3

Na obrázku O 3.1.6.-8b vidíte proton, který se pohybuje ve směru šipky v homogenním elektrickém poli o intenzitě $\vec{E}$ z bodu B do bodu A.

Elektrické pole **koná práci**

- kladnou
- zápornou



O 3.1.6.-8b

BTO 3.1.6.-4

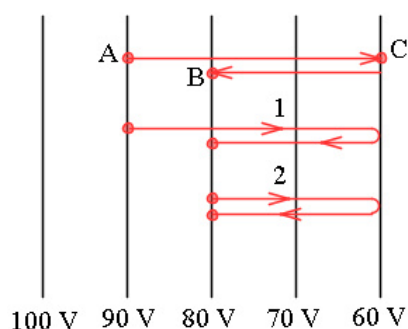
Vektor intenzity $\vec{E}$ v každém bodě elektrického pole

- a) je kolmý na ekvipotenciální hladinu
- b) je rovnoběžný s ekvipotenciální hladinou
- c) svírá s ekvipotenciální hladinou úhel α , kde $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

ZTO 3.1.6.-5

Na obrázku O 3.1.6.-9 vidíte několik ekvipotenciálních ploch. **Jaký je směr** vektoru intenzity elektrického pole?

- a) doleva $\leftarrow$
- b) doprava $\rightarrow$



O 3.1.6.-9

ZTO 3.1.6.-6

Na obrázku O 3.1.6.-9 vidíte několik ekvipotenciálních ploch a trajektorie po kterých je přemísťován **elektron** z jedné plochy na druhou.

Při přesunu elektronu z bodu A do bodu C vykonají síly pole **práci W**, která je

- a) $W > 0$
- b) $W < 0$
- c) $W = 0$

ZTO 3.1.6.-7

Na obrázku O 3.1.6.-9 vidíte několik ekvipotenciálních ploch a trajektorie po kterých je přemísťován **elektron** z jedné plochy na druhou.

Při přesunu elektronu z bodu C do bodu B vykonají síly pole **práci W**, která je

- a) $W > 0$
- b) $W < 0$

c) $W = 0$

ZTO 3.1.6.-8

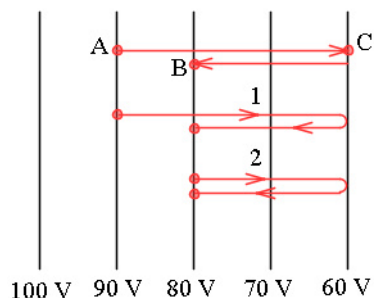
Na obrázku O 3.1.6.-9 vidíte několik ekvipotenciálních ploch a dvě trajektorie 1 a 2, po kterých je přemísťován **elektron** z jedné plochy na druhou.

Při přesunu elektronu po trajektorii 1 vykonají síly pole **práci W , která je**

a) $W > 0$

b) $W < 0$

c) $W = 0$



O 3.1.6.-9

ZTO 3.1.6.-9

Na obrázku O 3.1.6.-9 vidíte několik ekvipotenciálních ploch a dvě trajektorie 1 a 2, po kterých je přemísťován **elektron** z jedné plochy na druhou.

Při přesunu elektronu po trajektorii 2 vykonají síly pole **práci W , která je**

a) $W > 0$

b) $W < 0$

c) $W = 0$

ZTO 3.1.6.-10

Uvažujte homogenní elektrické pole, které je vytvořeno mezi dvěma rovnoběžnými deskami s plošnou hustotou náboje $+\sigma$ a $-\sigma$, které jsou ve vzdálenosti d . Změna vzdálenosti desek **má za následek**

a) jen změnu intenzity pole mezi deskami

b) změnu intenzity pole mezi deskami a současně změnu napětí mezi deskami

c) jen změnu napětí mezi deskami

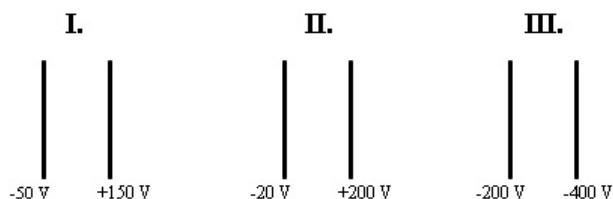
ZTO 3.1.6.-11

Na obrázku O 3.1.6.-10 jsou tři dvojice rovnoběžných desek stejně vzdálených. Každá deska má určitý potenciál. Pole mezi deskami je homogenní, vektor $\vec{E}$ je kolmý na desky. Ve kterém případě je velikost intenzity E elektrického pole mezi deskami **největší ?**

a) u desek I.

b) u desek II.

c) u desek III.



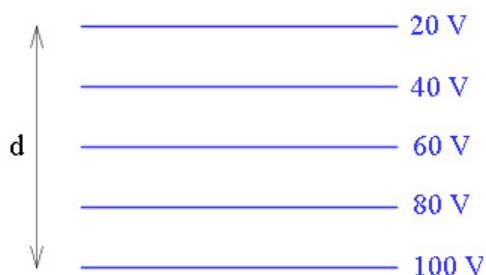
O 3.1.6.-10

ZTO 3.1.6.-12

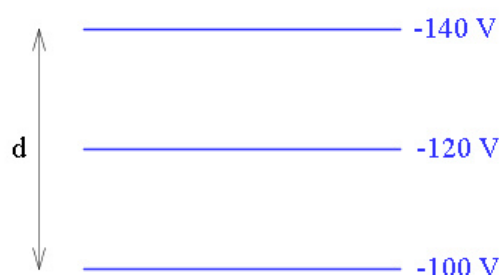
Obrázek O 3.1.6.-7a,b,c ukazuje tři skupiny ekvipotenciálních ploch. Vzdálenost první a poslední ekvipotenciální plochy je ve všech případech stejná.

Vyberte obrázek na kterém je zobrazeno pole s **největší intenzitou E** .

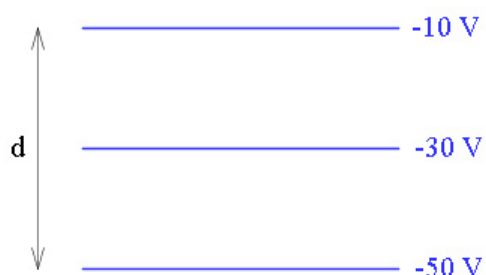
- a) obrázek 7a)
- b) obrázek 7b)
- c) obrázek 7c)



O 3.1.6.-7a



O 3.1.6.-7b



O 3.1.6.-7c

ZTO 3.1.6.-13

Obrázek O 3.1.6.-7a,b,c ukazuje tři skupiny ekvipotenciálních ploch. Vzdálenost první a poslední ekvipotenciální plochy je ve všech případech stejná.

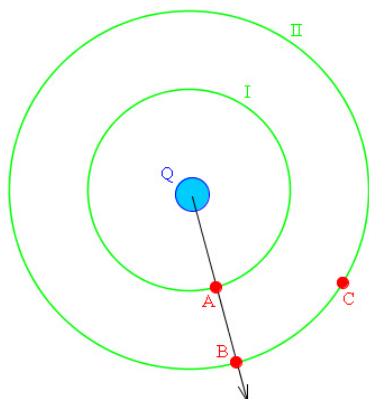
Na kterém obrázku směřuje vektor intenzity $\vec{E}$ **dolů**?

- a) obrázek 7a)
- b) obrázek 7b)
- c) obrázek 7c)

ZTO 3.1.6.-14

Na obrázku O 3.1.6.-12 vidíte dvě ekvipotenciální hladiny I a II v poli, které přísluší bodovému náboji Q . Napětí mezi body A, B a C označíme U_{AB} , U_{AC} a U_{BC} . Která z uvedených tvrzení **jsou pravdivá**?

- a) $U_{AB} > U_{AC}$
- b) $U_{AB} = U_{AC}$
- c) $U_{AC} > U_{BC}$
- d) $U_{BC} = 0 \text{ V}$



O 3.1.6.-12

ZTO 3.1.6.-15

Jaké je napětí mezi body A a B v elektrickém poli, víte-li, že k přenosu náboje 3 C z bodu A do bodu B je potřeba práce 27 J? $U =$

- a) 81 V
- b) 1/9 V
- c) 9 V
- d) 27 V

ZTO 3.1.6.-16

Uvažujte homogenní pole mezi nabitými rovnoběžnými deskami. Intenzita pole mezi deskami má velikost 10^4 N/C, vzdálenost desek je 0,01m. Jaké je napětí mezi deskami?

$U =$

- a) 10^4 V
- b) 10^{-2} V
- c) 10^2 V
- d) 10^6 V

ZTO 3.1.6.-17

Uvažujte homogenní elektrické pole mezi dvěma rovnoběžnými deskami s plošnou hustotou náboje $+\sigma$ a $-\sigma$, které jsou ve vzdálenosti d . Napětí mezi deskami je U . Zdvojnásobíte-li plošnou hustotu náboje na deskách (za jinak stejných podmínek) bude napětí mezi deskami U_1

pro které platí

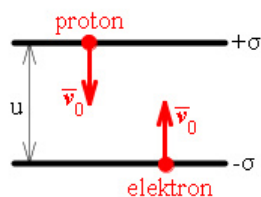
- a) $U < U_1$
- b) $U > U_1$
- c) $U = U_1$

BTO 3.1.6.-18

Na obrázku O 3.1.6.-11 vidíte elektron a proton. Obě částice vstupují do pole se stejnou rychlostí. Projdou-li potenciálním rozdílem U , získá elektron rychlost v_e a proton rychlost v_p .

Pro tyto rychlosti platí

- a) $v_e = v_p$
- b) $v_e < v_p$
- c) $v_e > v_p$



O 3.1.6.-11

ZU 3.1.6.-1

Při přemístění elektrického náboje z místa o potenciálu 10 V na místo o potenciálu 60 V byla vykonána práce $2 \cdot 10^{-4}$ J. Určete velikost přemístěného náboje.

ZU 3.1.6.-2

Vypočítejte práci, která se vykoná při přemístění elektrického náboje $5 \cdot 10^{-4}$ C mezi dvěma místy elektrického pole s potenciálním rozdílem 220 V.

ZU 3.1.6.-3

Vzdálenost dvou rovnoběžných kovových desek je 12 cm. Určete velikost intenzity elektrického pole mezi deskami, mezi nimiž bylo naměřeno napětí 600 V.

ZU 3.1.6.-4

Při blesku je napětí mezi mrakem a zemí $1,0 \cdot 10^9$ V a přenesený náboj je 30 C.

- Předpokládejte, že všechna energie uvolněná při tomto přenosu náboje by mohla být přeměněna na kinetickou energii automobilu o hmotnosti 1000 kg. Jakou rychlostí by se pohyboval automobil?
- Kdyby tato energie mohla být použita k rozpuštění ledu, kolik ledu teploty 0°C by se rozpustilo na vodu téže teploty? (Měrné skupenské teplo tání ledu je $3,33 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$)

ZU 3.1.6.-5

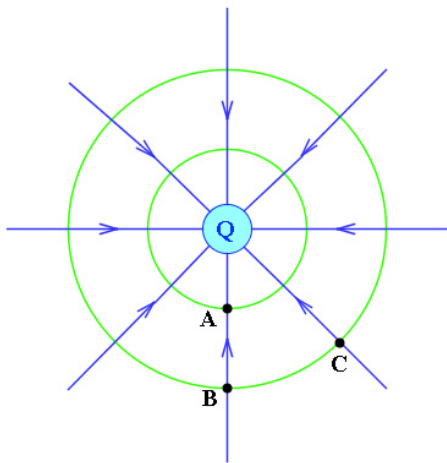
Dvě velké vodivé rovnoběžné desky jsou vzdáleny 1,0 cm od sebe a jsou nabitý stejným nábojem opačného znaménka. Na elektron mezi těmito deskami působí elektrostatická síla o velikosti $3,2 \cdot 10^{-15}$ N.

- Vypočítejte intenzitu pole mezi deskami.
- Jak velké je napětí mezi deskami?

ZU 3.1.6.-6

Na obrázku O 3.1.6.-6 vidíte siločáry a ekvipotenciální hladiny, které přísluší bodovému náboji Q a tři body, označené A, B, C. Jestliže se elektron pohybuje podél elektrické siločáry z bodu A do bodu B, vykonají síly elektrického pole práci $8 \cdot 10^{-19}$ J.

- Jaký je náboj Q, kladný nebo záporný?
- Jak velké je napětí U_{AB} mezi body A, B?
- Jak velké je napětí U_{AC} mezi body A, C?
- Jak velké je napětí U_{BC} mezi body B, C?



O 3.1.6.-6

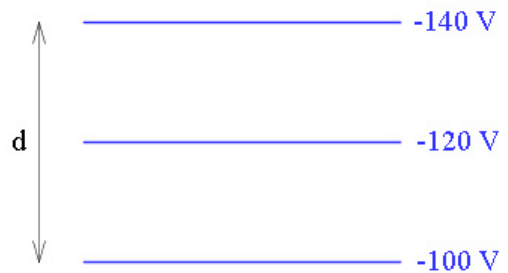
BU 3.1.6.-7

Obrázek O 3.1.6.-7a), b), c) ukazuje tři skupiny ekvipotenciálních ploch v příčném řezu. Všechny tři řezy pokrývají prostorově stejně velkou oblast, vzdálenost $d = 2$ m.

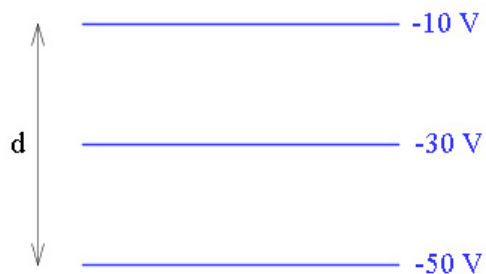
- Vypočítejte velikost intenzity pole E_1 , E_2 , E_3 ve všech třech případech.
- Jaký je směr vektoru intenzity vzhledem k ekvipotenciálním plochám?
- Ve kterém poli směřuje vektor intenzity dolů?



O 3.1.6.-7a



O 3.1.6.-7b



O 3.1.6.-7c

BU 3.1.6.-8

Na proton, jeho počáteční rychlost byla nulová, působilo homogenní elektrostatické pole. Proton se pohyboval ve směru siločar a na dráze $d = 50 \text{ cm}$ z bodu A do bodu B získal rychlost 2800 km/s .

- Jaká byla intenzita elektrického pole?
- Vypočítejte napětí mezi body A a B.

ZU 3.1.6.-9

V homogenním elektrostatickém poli působí na elektron síla $3,2 \cdot 10^{-15} \text{ N}$. Jaké je napětí mezi dvěma body v poli, je-li jejich vzdálenost 10 cm ?

ZU 3.1.6.-10

Jakou kinetickou energii získá elektron v rentgenové trubici, v níž je použito urychlovací napětí 50 kV ?

ZU 3.1.6.-11

Velká deska je nabitá nábojem s plošnou hustotou $\sigma = 10^{-7} \text{ C/m}^2$. Jak daleko od ní se nachází ekvipotenciální plocha mající potenciál o 50 V nižší?

ZU 3.1.6.-12

Mezi dvěma ekvipotenciálními plochami, které přísluší nabitě desce je napětí 100 V . Vzdálenost ploch je $2,5 \text{ cm}$. Určete plošnou hustotu náboje desky.

BU 3.1.6.-13

Elektrické pole je charakterizováno intenzitou $\vec{E} = 35\vec{i} \text{ V/m}$. Uvažujte v tomto poli dva body A(4,0,0) a B(10,8,0). Souřadnice jsou zadány v metrech. Vypočítejte potenciální rozdíl $\varphi_B - \varphi_A$.

BU 3.1.6.-14

Při radioaktivním rozpadu je z jádra atomu polonia emitována α částice s rychlostí $1,6 \cdot 10^7 \text{ m/s}$. Vypočítejte její kinetickou energii (v eV). Jakým potenciálním rozdílem by musela α částice projít, aby získala stejnou rychlost? Hmotnost α částice považujte za konstantní.

3.1.7. VODIČ A IZOLANT V ELEKTRICKÉM POLI**SHRNUTÍ**

Při **elektrostatické indukci** vznikají na vodiči náboje opačného znaménka, které jsou rovny náboji indukujícímu. Elektrostatickou indukci lze nabít vodič trvale, a to nábojem nesouhlasným k náboji indukujícího tělesa. Elektrický náboj u nabitého vodiče se rozmísťuje jen na jeho povrchu.

Umístíme-li **vodič** do vnějšího elektrického pole, nastane v něm pohyb náboje v celém jeho rozsahu. Naproti tomu v **izolantu** nastane v elektrickém poli posuv nábojů v molekulách tak, že na povrchových plochách dielektrika jsou opačné elektrické náboje a uvnitř dielektrika se náboje vzájemně vyruší. Hovoříme o **polarizaci dielektrika**. Dielektrikum charakterizujeme **relativní permitivitou** ϵ_r . Přítomnost dielektrika má za následek snížení intenzity vnějšího pole.



TO 3.1.7.-1

Coulombova síla, kterou na sebe působí dva náboje ve vakuu ve vzdálenosti r je F . Umístíme-li tyto náboje v dielektriku s relativní permitivitou ϵ_r , budou náboje na sebe (za jinak stejných podmínek) působit silou F' , která je

a) stejně velká jako F

b) ϵ_r krát menší než F

c) ϵ_r krát větší než F

TO 3.1.7.-2

Uvažujte homogenní pole mezi dvěma rovnoběžnými opačně nabitými deskami. Je-li mezi deskami vakuum, je mezi nimi pole intenzity E . Bude-li mezi deskami dielektrikum s relativní permitivitou 3, bude intenzita pole mezi deskami (za jinak stejných podmínek) $E' =$

a) $3E$

b) $E/3$

c) stejná, tedy E

ZU 3.1.7.-1

Homogenní elektrické pole mezi dvěma vodivými deskami má ve vakuu intenzitu 6,3 kV/m, vzdálenost desek je 2 cm. Vypočítejte intenzitu pole a napětí mezi deskami, ponoříme-li desky do terpentýnu s relativní permitivitou 2,1.

ZU 3.1.7.-2

Dva bodové elektrické náboje ve vzájemné vzdálenosti 11 cm působí na sebe ve vakuu stejnou silou jako v dielektriku ve vzdálenosti 7,4 cm. Určete relativní permitivitu dielektrika.

ZU 3.1.7.-3

Dva bodové náboje se nacházejí ve vakuu (přibližně ve vzduchu) ve vzdálenosti 20 cm a působí na sebe silou F . Do jaké vzdálenosti je třeba tyto náboje umístit v dielektriku ($\epsilon_r = 5$), aby na sebe působily stejně velkou silou F .

3.1.8. KAPACITA

SHRNUTÍ



Kondenzátor se skládá ze dvou vzájemně elektricky oddělených vodičů (elektrod). Pokud je kondenzátor nabitý, na elektrodách jsou stejně velké náboje opačných znamének. Jeho kapacita je dána vztahem

$$C = \frac{Q}{U}$$

Jednotkou kapacity je **farad (F)**.

Deskový kondenzátor je tvořen rovinnými rovnoběžnými deskami. Je-li jejich vzdálenost d a má-li každá elektroda plochu o obsahu S , je kapacita deskového kondenzátoru

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{S}{d}$$

Pokud jsou kondenzátory zapojeny **paralelně**, jejich výsledná kapacita je dána součtem kapacit

$$C_p = C_1 + C_2$$

Zapojíme-li kondenzátory do **série**, pro výslednou kapacitu platí

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Práce, která byla potřebná k nabití kondenzátoru, je nakumulována v elektrickém poli mezi elektrodami kondenzátoru ve formě **elektrické potenciální energie** E_p , pro kterou platí

$$E_p = \frac{Q^2}{2.C}$$



TO 3.1.8.-1

Kapacita deskového kondenzátoru je C . Jaká bude kapacita tohoto kondenzátoru C_1 v případě, že vzdálenost desek ztrojnásobíme (za jinak stejných podmínek) ? $C_1 =$

- a) $3.C$
- b) $C/3$

c) C (kapacita zůstane stejná)

ZTO 3.1.8.-2

Kapacita deskového kondenzátoru je C . Jaká bude kapacita tohoto kondenzátoru C_1 v případě, že plochu desek ztrojnásobíme (za jinak stejných podmínek) ? $C_1 =$

- a) $3.C$
- b) $C/3$
- c) zůstane stejná

ZTO 3.1.8.-3

Kapacita deskového kondenzátoru je C . Jaká bude kapacita tohoto kondenzátoru C_1 v případě, že náboj na kondenzátoru ztrojnásobíme (za jinak stejných podmínek) ? $C_1 =$

- a) $3.C$
- b) $C/3$
- c) zůstane stejná

BTO 3.1.8.-4

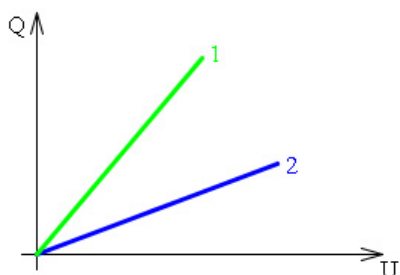
Na obrázku O 3.1.8.-14 vidíte dva grafy, které vyjadřují závislost náboje na napětí u dvou deskových kondenzátorů.

Graf 1 (zelený) odpovídá kondenzátoru, jehož kapacita je C_1 ,

Graf 2 (modrý) odpovídá kondenzátoru, jehož kapacita je C_2 .

O velikostech kapacit **platí**

- a) $C_1 < C_2$
- b) $C_1 > C_2$
- c) $C_1 = C_2$



O 3.1.8.-14

ZTO 3.1.8.-5

V následující tabulce jsou uvedeny velikosti ploch elektrod a jejich vzdálenosti. Který kondenzátor má **největší kapacitu**?

kondenzátor	plocha	vzdálenost	kapacita
1	S	d	C_1
2	$2S$	d	C_2
3	$2S$	$2d$	C_3
4	S	$d/2$	C_4
5	S	$2d$	C_5

- a) druhý a čtvrtý
- b) pátý
- c) třetí

BTO 3.1.8.-6

Vložíme-li dielektrikum mezi desky nabitého kondenzátoru, **dochází**

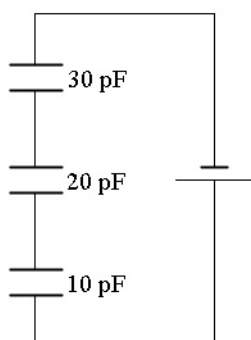
- a) ke snížení intenzity E pole mezi deskami
- b) ke zvýšení intenzity E pole mezi deskami
- c) ke zvýšení napětí U mezi deskami
- d) ke snížení napětí U mezi deskami
- e) ke změně náboje na deskách
- f) ke zvýšení kapacity kondenzátoru
- g) ke snížení kapacity kondenzátoru

ZTO 3.1.8.-7

Tři kondenzátory o kapacitách 10 pF, 20 pF a 30 pF jsou připojeny ke zdroji podle obrázku O 3.1.8.-6a.

Na kterém kondenzátoru je **největší napětí** ?

- a) na 10 pF
- b) na 20 pF
- c) na 30 pF
- d) na všech kondenzátorech je stejné napětí



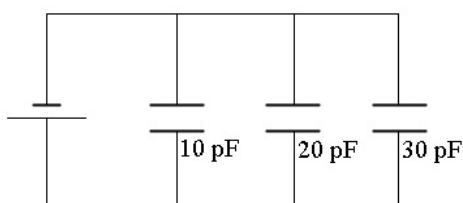
O 3.1.8.-6a

ZTO 3.1.8.-8

Tři kondenzátory o kapacitách 10 pF, 20 pF a 30 pF jsou připojeny ke zdroji podle obrázku [O 3.1.8.-6b](#).

Na kterém kondenzátoru je **největší elektrický náboj** ?

- a) na 10 pF
- b) na 20 pF
- c) na 30 pF
- e) na všech kondenzátorech je stejný náboj

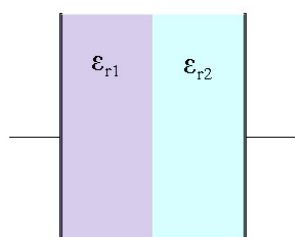


[O 3.1.8.-6b](#)

ZTO 3.1.8.-9

Deskový kondenzátor s elektrodami o obsahu S je vyplněn dvěma dielektriky tak, jak je vidět na obrázku [O 3.1.8.-11](#). Pokud bychom měli vyřešit kapacitu tohoto kondenzátoru, řešili bychom ji jako kapacitu dvou kondenzátorů, které **jsou zapojeny**

- a) do série
- b) paralelně

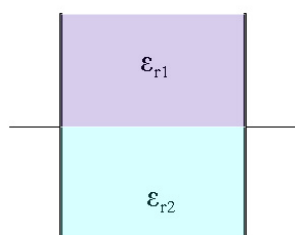


[O 3.1.8.-11](#)

ZTO 3.1.8.-10

Deskový kondenzátor s elektrodami o obsahu S je vyplněn dvěma dielektriky tak, jak je vidět na obrázku [O 3.1.8.-12](#). Pokud bychom měli vyřešit kapacitu tohoto kondenzátoru, řešili bychom ji jako kapacitu dvou kondenzátorů, které **jsou zapojeny**

- a) do série
- b) paralelně

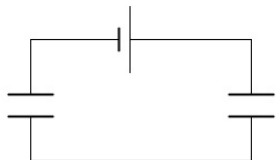


[O 3.1.8.-12](#)

ZTO 3.1.8.-11

Kondenzátory na obrázku [O 3.1.8.-13a](#) jsou zapojeny

- a) do série
- b) paralelně
- c) jiným způsobem

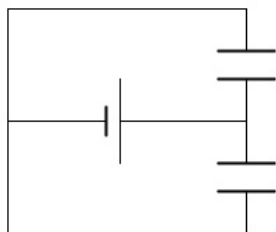


[O 3.1.8.-13a](#)

ZTO 3.1.8.-12

Kondenzátory na obrázku [O 3.1.8.-13b](#) jsou zapojeny

- a) do série
- b) paralelně
- c) jiným způsobem

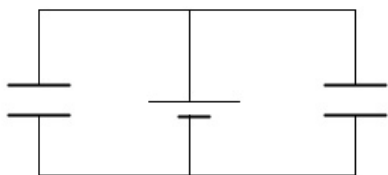


[O 3.1.8.-13b](#)

ZTO 3.1.8.-13

Kondenzátory na obrázku [O 3.1.8.-13c](#) jsou zapojeny

- a) do série
- b) paralelně
- c) jiným způsobem



[O 3.1.8.-13c](#)

ZTO 3.1.8.-14

Ke zhotovení deskového kondenzátoru máte k dispozici dvě elektrody, list slídy (tloušťky 0,1 mm, $\epsilon_r = 5,4$), destičku skla (tloušťky 2 mm, $\epsilon_r = 7$) a destičku parafinu (tloušťky 1 cm, $\epsilon_r = 2$). Kterou z těchto destiček vložíte mezi elektrody, chcete-li dosáhnout **největší kapacity ?**

- a) slídu
- b) sklo
- c) parafin

ZTO 3.1.8.-15

Dva kondenzátory 3 pF a 4 pF jsou zapojeny do série. Jejich výsledná kapacita je $C =$

- a) 7 pF
- b) $7/12$ pF
- c) $12/7$ pF

ZTO 3.1.8.-16

Dva kondenzátory 3 pF a 4 pF jsou zapojeny paralelně. Jejich výsledná kapacita je $C =$

- a) 7 pF
- b) $7/12$ pF
- c) $12/7$ pF

ZTO 3.1.8.-17

Na kondenzátoru je náboj 3 pC a napětí 2 V. **Kapacita** tohoto kondenzátoru je

- a) $3/2$ pF
- b) $2/3$ pF
- c) 6 pF

ZTO 3.1.8.-18

Uvažujte dva kondenzátory o kapacitách C_1 a C_2 . Na obou kondenzátorech je stejné napětí. U prvního kondenzátoru k tomu potřebujete náboj $Q_1 = 3$ mC, u druhého náboj $Q_2 = 6$ mC. Co můžete **tvrdit o kapacitách** obou kondenzátorů ?

- a) $C_1 = C_2$
- b) $C_1 < C_2$
- c) $C_1 > C_2$
- d) nic, zadání je nedostatečné

ZTO 3.1.8.-19

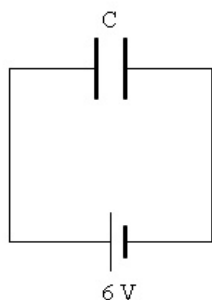
Je-li mezi elektrodami kondenzátoru vakuum (přibližně vzduch) je jeho kapacita $C = 4$ pF. Jak velká bude jeho kapacita C_1 , bude-li mezi elektrodami dielektrikum s relativní permitivitou 8? $C_1 =$

ZTO 3.1.8.-20

Nenabitý kondenzátor kapacity $5 \cdot 10^{-6}$ F připojíme podle obrázku [O 3.1.8.-16](#) ke zdroji $U = 6$ V. Kondenzátor se bude nabíjet. Během nabíjení poroste náboj na elektrodách a napětí mezi elektrodami. Proces nabíjení skončí v okamžiku, kdy mezi elektrodami kondenzátoru bude

napětí $U =$

náboj na elektrodách $Q =$

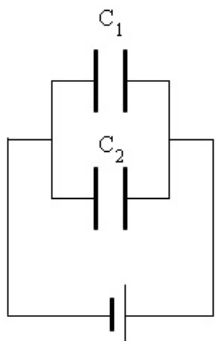


[O 3.1.8.-16](#)

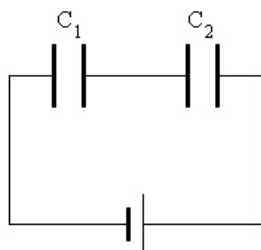
ZTO 3.1.8.-21

Sledujte obrázky [O 3.1.8.-17 a](#), a [O 3.1.8.-18 a](#). Dva kondenzátory jsou připojeny k baterii. Napětí na obou kondenzátorech je stejné a je rovno napětí na zdroji. Toto tvrzení **platí při**

- a) sériovém spojení obou kondenzátorů
- b) paralelním spojení obou kondenzátorů



[O 3.1.8.-17 a](#)

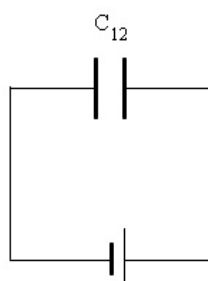
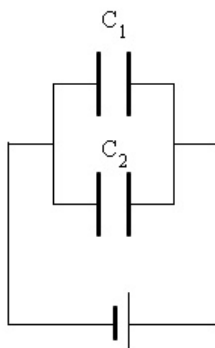


[O 3.1.8.-18 a](#)

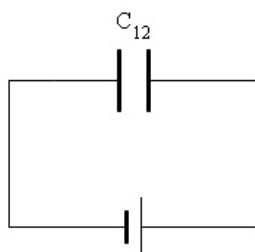
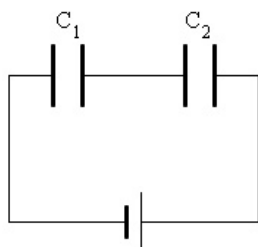
ZTO 3.1.8.-22

Sledujte obrázky [O 3.1.8.-17 a,b](#) a [O 3.1.8.-18 a,b](#). Dva kondenzátory jsou připojeny k baterii. Náboj na obou kondenzátorech je stejný a je roven náboji na jejich ekvivalentním kondenzátoru. Toto tvrzení **platí při**

- a) sériovém spojení obou kondenzátorů
- b) paralelním spojení obou kondenzátorů



[O 3.1.8.-17 a,b](#)



[O 3.1.8.-18 a,b](#).

BTO 3.1.8.-23

Elektrická energie nabitého kondenzátoru může být vyjádřena vztahem $E = \frac{Q^2}{2C}$.

Vyjádřete elektrickou energii nabitého kondenzátoru pomocí **kapacity** C a **napětí** U mezi jeho elektrodami. $E =$

ZU 3.1.8.-1

Určete kapacitu kondenzátoru, který se nabije elektrickým nábojem $3,6 \mu\text{C}$ na napětí 1200 V .

ZU 3.1.8.-2

Určete kapacitu deskového kondenzátoru, který má desky o obsahu 12 cm^2 a vzdálenost desek $1,5 \text{ mm}$. Dielektrikum je vzduch.

ZU 3.1.8.-3

Deskový kondenzátor, mezi jehož deskami je vakuum, má kapacitu $6 \cdot 10^{-12} \text{ F}$, vzájemná vzdálenost jeho desek je $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Kondenzátor nabijeme na napětí 200 V .

- Jaký elektrický náboj je na deskách kondenzátoru ?
- Jak velká je intenzita elektrického pole mezi deskami kondenzátoru ?

ZU 3.1.8.-4

Kondenzátor, jehož dielektrikem je vakuum, má kapacitu $5 \cdot 10^{-6} \text{ F}$. Jak se změní jeho kapacita, použijeme-li dielektrikum s relativní permitivitou $1,6$? Je-li napětí na kondenzátoru v druhém případě 8 V , jaký je náboj kondenzátoru v prvním a druhém případě?

ZU 3.1.8.-5

Dva kondenzátory o kapacitách 3 pF a 4 pF jsou zapojeny do série. Na této sériové kombinaci je napětí 70 V . Určete

- výslednou kapacitu,
- náboj na každém kondenzátoru,
- napětí na každém kondenzátoru.

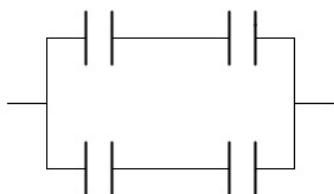
ZU 3.1.8.-6

Dva kondenzátory o kapacitách 3 pF a 4 pF jsou zapojeny paralelně. Na této paralelní kombinaci je napětí 70 V . Určete

- výslednou kapacitu,
- náboj na každém kondenzátoru,
- napětí na každém kondenzátoru.

ZU 3.1.8.-7

Čtyři kondenzátory, z nichž každý má kapacitu $1 \mu\text{F}$ jsou zapojeny podle schématu na obrázku O 3.1.8.-10. Vypočítejte výslednou kapacitu.



O 3.1.8.-10

ZU 3.1.8.-8

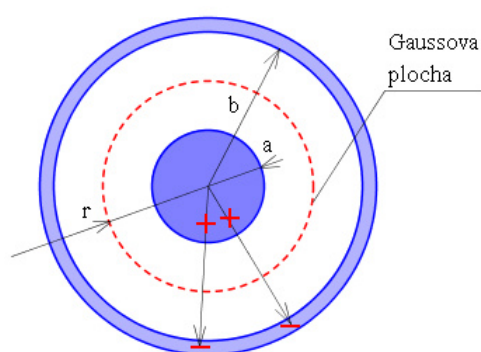
Kondenzátor má kapacitu 55 fF. Kolik elektronů je nutno dodat na jeho zápornou elektrodu, aby získal napětí 5,3 V ? Tento kondenzátor může být použit jako paměťový prvek dynamické paměti RAM na čipu.

BU 3.1.8.-9

Určitý materiál má relativní permitivitu 2,8 a dielektrickou pevnost 18 MV/m. Tento materiál je použit jako dielektrikum v deskovém kondenzátoru. Jaký minimální obsah S musí mít desky kondenzátoru, aby měl kapacitu $7 \cdot 10^{-8}$ F a vydržel přitom bez elektrického průrazu napětí 4 kV?

BLP 3.1.8.-10

Odvoďte kapacitu kulového kondenzátoru. Poloměry elektrod jsou a a b (obrázek O 3.1.8.-19).



O 3.1.8.-19

Budeme postupovat ve třech krocích.

1) Pomocí Gaussovy věty vyjádřete intenzitu elektrického pole mezi elektrodami. Gaussova plocha je kulová plocha o poloměru r , kde $a \leq r \leq b$.

$$\text{Intenzita } E = k \frac{Q}{r^2}$$

2) Vypočítejte napětí na elektrodách. Pozor! Mezi elektrodami je nehomogenní pole.

Vydeme ze vztahu $W = Q_o \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} \Rightarrow U = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$, který v našem případě bude mít tvar

$$U = - \int_b^a E \cdot dr \Rightarrow U = k \cdot Q \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

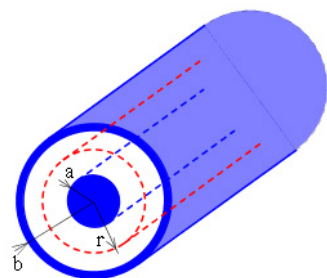
3) Vypočítané napětí dosadíme do vztahu $C = \frac{Q}{U}$ $C =$

$$\text{Kapacita kulového kondenzátoru je } C = \frac{a \cdot b}{k(b - a)} = \frac{4\pi\epsilon \cdot a \cdot b}{b - a} \quad \text{kde } \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

BU 3.1.8.-11

Odvoďte kapacitu válcového kondenzátoru. Poloměry elektrod jsou a , b (obrázek O 3.1.8.-20). Délka kondenzátoru je L .

Postupujte principiálně podobně jako v případě kulového kondenzátoru. Gaussova plocha bude mít nyní tvar válcové plochy o poloměru r (kde $a \leq r \leq b$) a délky L .



O 3.1.8.-20

BU 3.1.8-12

Koaxiální elektrický kabel se skládá z centrální žíly a sousedního obalu. Mezi nimi je izolace. Vypočítejte kapacitu jednotkové délky takového kabelu, je-li poloměr žíly 1,3 cm, poloměr obalu 3 cm a relativní permitivita izolace je 3,2.

BU 3.1.8.-13

Kondenzátory $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = 6 \mu\text{F}$, $C_3 = 3 \mu\text{F}$ jsou zapojeny v sérii a napětí na této kombinaci je 400 V. Určete náboj na každém kondenzátoru a energii celé kombinace.

BU 3.1.8.-14

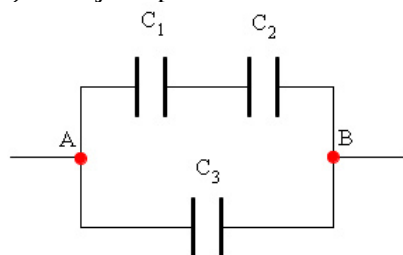
Energie 2,7 mJ je akumulována v kondenzátoru, na němž je napětí 85 V. Určete:

- kapacitu kondenzátoru,
- náboj na kondenzátoru.

BLP 3.1.8.-15

Ve schématu O 3.1.8.-21 je mezi body A, B napětí 50 V. Kondenzátory mají kapacity: $C_1 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ F}$, $C_2 = 3 \cdot 10^{-5} \text{ F}$, $C_3 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ F}$.

- Určete výslednou kapacitu.
- Jaký je náboj na kondenzátoru C_3 ?
- Jaké je napětí na kondenzátoru C_1 ?



O 3.1.8.-21

- Jak jsou zapojeny kondenzátory C_1 a C_2 ?

Do série

Jaká je jejich výsledná kapacita $C_{12} =$

$$C_{12} = 6/5 \cdot 10^{-5} \text{ F}$$

Jak jsou zapojeny kondenzátory C_{12} a C_3 ?

Paralelně

Jaká je výsledná kapacita celé baterie $C_{123} =$

$$C_{123} = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ F}$$

2) Jaké je napětí na kondenzátoru C_3 ?

$$U = 50 \text{ V}$$

Vypočítejte náboj na kondenzátoru C_3 . $Q_3 =$

$$Q_3 = 3 \text{ mC}$$

3) Na baterii je napětí 50 V a celková kapacita baterie je $7,2 \cdot 10^{-5} \text{ F}$. Jaký je celkový náboj Q ?

$$Q = 3,6 \text{ mC}$$

Jaký je náboj na kondenzátorech C_1 a C_2 ? $Q_1 = ?$ $Q_2 = ?$

$$Q_1 = Q_2 = (3,6 - 3) \text{ mC} = 0,6 \text{ mC}$$

Jaké je napětí na kondenzátoru $C_1 = ?$

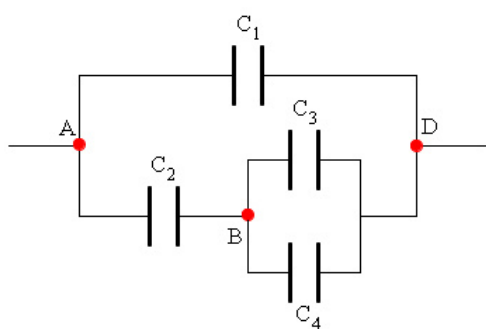
$$U_1 = 30 \text{ V}$$

BU 3.1.8.-16

Ve schématu O 3.1.8.-22 je $\varphi_A - \varphi_D = 60 \text{ V}$. $C_1 = 25 \mu\text{F}$, $C_2 = 15 \mu\text{F}$, $C_3 = 10 \mu\text{F}$, $C_4 = 20 \mu\text{F}$.

Vypočítejte

- výslednou kapacitu
- napětí mezi body B a D
- náboj na kondenzátoru C_2
- energii kondenzátoru C_3 .



O 3.1.8.-22

BU 3.1.8.-17

Vyjádřete jednotku farad v základních jednotkách soustavy SI.

3.2. ELEKTRICKÝ PROUD

3.2.1. ZÁKLADNÍ POJMY



SHRNUTÍ

Pod pojmem **elektrický proud** rozumíme jednak fyzikální děj a jednak fyzikální veličinu. Elektrický proud je uspořádaný pohyb nosičů nábojů. Jako skalární fyzikální veličina je definován vztahem

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

respektive $I = \frac{Q}{t}$

kde Q je náboj, který za dobu t projde průřezem vodiče. Tento vztah platí pouze v případě, že proud $I = \text{konst.}$

V obecném případě je proud definován vztahem

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Jednotkou elektrického proudu v soustavě SI je **ampér**. **Směr proudu** je podle dohody shodný se směrem pohybu **kladně** nabitých nosičů náboje.

V kovech jsou nosiči nábojů volné elektrony. Aby kovový vodič vedl elektrický proud, musí být připojen ke zdroji napětí.

Hustota elektrického proudu J je vektorová veličina a má stejný směr jako intenzita elektrického pole v daném bodě průřezu vodiče. Její velikost je rovna proudu, který prochází jednotkovou plochou průřezu vodiče kolmou ke směru proudu. Celkový proud celým průřezem vodiče je

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

Jestliže je proud v celém průřezu vodiče konstantní a jeho směr je rovnoběžný s vektorem plochy $d\vec{S}$, potom velikost hustoty proudu je

$$J = \frac{I}{S}$$

Jednotkou hustoty proudu je $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$.

Předpokládejme, že volné (vodivostní) elektrony se pohybují driftovou (unášivou) rychlostí v_d . Pro velikost hustoty proudu lze odvodit vztah

$$J = v_d \cdot e \cdot n$$

a pro proud platí

$$I = S \cdot v_d \cdot e \cdot n$$

- kde
- v_d je driftová rychlost elektronů
 - e je náboj elektronů
 - n je počet volných elektronů v objemové jednotce (vlastnost materiálu)
 - S je velikost průřezu vodiče



ZTO 3.2.1.-1

Elektrický proud I je roven náboji, který

- a) v časové jednotce projde jednotkovým průřezem vodiče
- b) v časové jednotce projde průřezem vodiče
- c) projde jednotkovým průřezem vodiče za čas t

ZTO 3.2.1.-2

Jednotka náboje coulomb (C) není základní jednotkou soustavy SI. Vyjádřete ji pomocí základních jednotek soustavy SI. C =

- a) A/s
- b) A/m²
- c) A.s

ZTO 3.2.1.-3

Vodičem prochází konstantní proud 10 A. Jaký náboj projde průřezem vodiče za 2 s? $Q =$

ZTO 3.2.1.-4

Uvažujte kovový vodič. Místa A,B jsou udržovány na různých potenciálech $\varphi_A > \varphi_B$.

Intenzita $\vec{E}$ pole ve vodiči má směr

- a) od bodu B k bodu A
- b) od bodu A k bodu B

ZTO 3.2.1.-5

Uvažujte kovový vodič. Mezi průřezy A,B je napětí $U_{AB} = 0$ V. Intenzita pole ve vodiči je

- a) $E = 0$ N/C
- b) intenzita E je různá od nuly

ZTO 3.2.1.-6

Uvažujte kovový vodič. Mezi průřezy A,B je napětí $U_{AB} = 0$ V. Který závěr je správný?

- a) vodičem prochází proud
- b) vodičem neprochází proud

ZTO 3.2.1.-7

Uvažujte kovový vodič. Místa A,B jsou udržovány na různých potenciálech $\varphi_A > \varphi_B$. Skutečný směr pohybu volných elektronů je

- a) ve směru intenzity $\vec{E}$, tj. od bodu A k bodu B
- b) proti směru intenzity $\vec{E}$, tj. od bodu B k bodu A

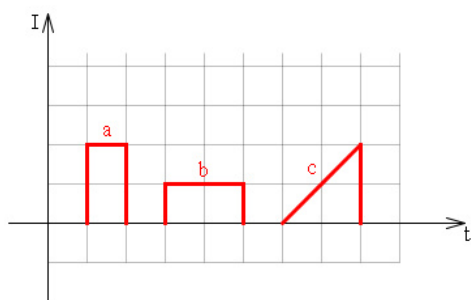
ZTO 3.2.1.-8

Uvažujte kovový vodič. Místa A,B jsou udržovány na různých potenciálech $\varphi_A > \varphi_B$. Směrem elektrického proudu ve vodiči nazýváme podle dohody směr

- a) od bodu A k bodu B
- b) od bodu B k bodu A

BTO 3.2.1.-9

Na obrázku O 3.2.1.-4 je znázorněn proud I ve vodiči ve třech různých časových intervalech. Uspořádejte tyto případy sestupně podle velikosti celkového náboje, který projde vodičem.



O 3.2.1.-4

BTO 3.2.1.-10

V kovovém vodiči je intenzita elektrického pole $\vec{E} = \text{konst.}$. Vodivostní (volné) elektrony **se pohybují** driftovou rychlostí

- a) ve směru intenzity $\vec{E}$
- b) proti směru intenzity $\vec{E}$

BTO 3.2.1.-11

Náboj Q , který projde průřezem vodiče je funkcí času. V našem případě $Q = 3 \cdot t$ (C,s). Jaký proud I prochází v čase $t = 2$ s? $I =$

BTO 3.2.1.-12

Náboj Q , který projde průřezem vodiče je funkcí času. V našem případě $Q = 3 \cdot t^2$ (C,s). Jaký proud I prochází v čase $t = 2$ s? $I =$

BTO 3.2.1.-13

Vodičem prochází proud $I = 4$ A. **Porovnejte** velikosti nábojů, které projdou průřezem vodiče:

- a) od druhé do třetí sekundy **je menší** než od páté do šesté sekundy
- b) od druhé do třetí sekundy **je stejný** jako od páté do šesté sekundy
- c) od druhé do třetí sekundy **je větší** než od páté do šesté sekundy

BTO 3.2.1.-14

Vodičem prochází proud $I = 2 \cdot t$ (A,s). **Porovnejte** velikosti nábojů, které projdou průřezem vodiče:

- a) od druhé do třetí sekundy **je menší** než od páté do šesté sekundy
- b) od druhé do třetí sekundy **je stejný** jako od páté do šesté sekundy
- c) od druhé do třetí sekundy **je větší** než od páté do šesté sekundy

ZTO 3.2.1.-15

Náboj Q , který projde průřezem vodiče je funkcí času. Přečtěte z grafu O 3.2.1.-5 jaký proud prochází vodičem. $I =$



O 3.2.1.-5

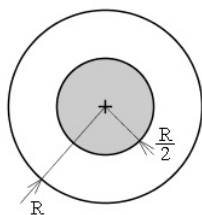
BTO 3.2.1.-16

Která hustota proudu je **největší**? $J =$

- a) 3 A/mm^2
- b) 200 A/m^2
- c) 10 A/cm^2

BTO 3.2.1.-17

Válcovým vodičem poloměru R prochází proud I . Jaký proud I_1 prochází vnitřní částí vodiče vymezenou poloměrem $R/2$ (obrázek O 3.2.1.-6). Řešte za předpokladu, že hustota proudu je v celém průřezu konstantní. $I_1 =$



O 3.2.1.-6

ZU 3.2.1.-1

Vodičem prochází konstantní proud 3 A. Jaký náboj projde průřezem vodiče za 6 s ?

ZU 3.2.1.-2

Svazek elektronů dopadajících na stínítko televizní obrazovky odpovídá proudu $200 \mu\text{A}$. Kolik elektronů dopadá na stínítko obrazovky za sekundu?

ZU 3.2.1.-3

Kolik elektronů projde průřezem vodiče za 1 sekundu při stálém proudu 1 A ?

ZU 3.2.1.-4

Velikost náboje se někdy uvádí v jednotce zvané ampérhodina (A.h). Vypočítejte kolik coulombů představuje 1 A.h.

ZU 3.2.1.-5

Akumulátor o kapacitě 35 A.h se má nabíjet proudem 4 A. Jak dlouho bude trvat nabíjení, nepřihlížíme-li ke ztrátám?

BU 3.2.1.-6

Proud ve vodiči se mění v závislosti na čase podle rovnice:

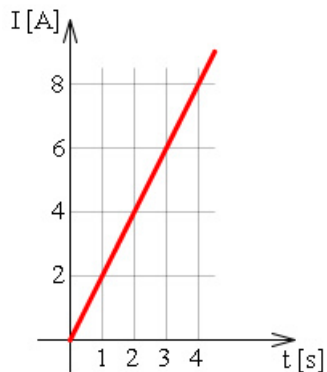
$$I = 4 + 2 \cdot t \quad (\text{A}, \text{s})$$

1) Jaký náboj projde průřezem vodiče od druhé do šesté sekundy?

2) Jaký konstantní proud by musel vodičem procházet, aby průřezem prošel vypočítaný náboj?

BU 3.2.1.-7

Vodičem prochází proud I . Závislost proudu na čase vidíte na grafu na obrázku O 3.2.1.-7. Napište rovnici proudu. $I =$



O 3.2.1.-7

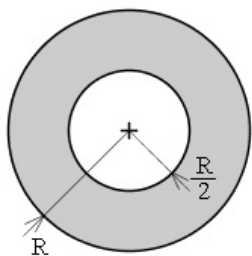
BU 3.2.1.-8

Jak velký elektrický náboj projde průřezem vodiče za 1 minutu

- a) při stálém proudu 1 A
- b) roste-li proud rovnoměrně od 0 A do 1 A?

BU 3.2.1.-9

Hustota proudu ve válcovém vodiči o poloměru 2 mm má velikost $2 \cdot 10^5 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ a je **konstantní** v celém průřezu vodiče. Jak velký proud prochází tmavou částí vodiče vymezenou poloměry $R/2$ a R (viz obrázek O 3.2.1.-8)?



O 3.2.1.-8

BU 3.2.1.-10

Proud $1,2 \cdot 10^{-10} \text{ A}$ prochází měděným drátem o průměru 2,5 mm. Proud je v celém průřezu konstantní, počet volných elektronů v m^3 mědi je $8,5 \cdot 10^{28}$. Vypočítejte

- a) hustotu proudu
- b) driftovou rychlost elektronů.

3.2.2. ELEKTRICKÝ PROUD V KOVECH



SHRNUTÍ

Pokud na vodiči zvyšujeme napětí U , roste proud I procházející vodičem. Ohm experimentálně ukázal, že

$$I = G \cdot U$$

nebo

$$I = \frac{U}{R}$$

R je **elektrický odpor** a G **elektrická vodivost**. Jednotkou odporu je **ohm** (Ω), jednotkou vodivosti je **siemens**.

Je-li v určitém bodě materiálu rezistoru intenzita elektrického pole $\vec{E}$ a hustota proudu $\vec{J}$, potom platí

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$$

kde σ je **konduktivita**. Její převrácená hodnota je **rezistivita** ρ

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$



ZTO 3.2.2.-1

Na rezistoru je napětí U a rezistorem prochází proud I . Zvýšíme-li napětí na tomto rezistoru na $2 \cdot U$ (za jinak stejných podmínek) bude rezistorem procházet proud

a) I

b) $0,5 I$

c) $2 \cdot I$

ZTO 3.2.2.-2

Rezistorem připojeným na zdroj 220 V prochází proud

1. v prvním případě $I = 10 \text{ A}$

2. ve druhém případě $I = 5 \text{ A}$

Ve kterém případě má rezistor větší odpor ?

a) v prvním případě

b) ve druhém případě

ZTO 3.2.2.-3

Rezistor o odporu 120Ω připojíme na napětí

1. v prvním případě $U = 6 \text{ V}$

2. ve druhém případě $U = 24 \text{ V}$

Ve kterém případě bude procházet rezistorem větší proud ?

a) v prvním případě

b) ve druhém případě

BTO 3.2.2.-4

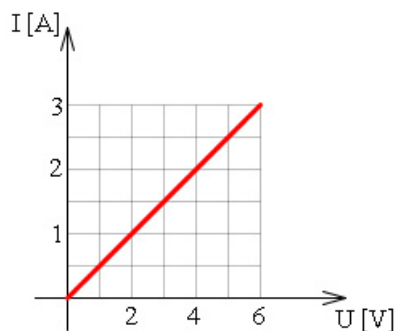
Uvažujte dva rezistory stejných geometrických vlastností: železný (rezistivita je $9,68 \cdot 10^{-8}$

$\Omega \cdot m$) a hliníkový (rezistivita je $2,75 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$). Intenzita elektrického pole $\vec{E}$ je v určitém bodě materiálu rezistoru v obou případech stejná. Jaká bude hustota proudu ve sledovaném místě?

- a) hustota proudu bude v hliníkovém rezistoru větší
- b) hustota proudu bude v železném rezistoru větší
- c) hustoty proudů budou v obou rezistorech stejné

ZTO 3.2.2.-5

Na součástce je napětí U , které vyvolá průchod proudu I . Z grafu O 3.2.2.-2 přečtěte velikost odporu R součástky. $R =$



O 3.2.2.-2

BTO 3.2.2.-6

V tabulce O 3.2.2.-3 jsou uvedeny hodnoty proudu I procházející dvěma různými součástkami pro několik hodnot napětí U . Pomocí těchto hodnot určete, pro kterou součástku **neplatí** Ohmův zákon.

- a) pro součástku 1
- b) pro součástku 2
- c) pro obě součástky

součástka 1		součástka 2	
$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{A}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{A}$
2	4,50	2	1,50
3	6,75	3	2,20
4	9,00	4	2,80

O 3.2.2.-3

ZU 3.2.2.-1

Člověka může zabít už elektrický proud 50 mA, pokud prochází v blízkosti jeho srdce. Opravář uchopí upocenými rukama dva vodiče a propojí je tak svým tělem. Jaké napětí mu může být osudné, je-li odpor jeho těla $2\,000 \Omega$?

ZU 3.2.2.-2

Odporovou spirálou, která je připojena na napětí 24 V, prochází proud 50 mA. Určete odpor spirály.

ZU 3.2.2.-3

Elektrický spotřebič o odporu 55Ω připojíme na napětí 220 V. Jaký proud prochází spotřebičem ?

ZU 3.2.2.-4

Na jaké nejvyšší napětí můžeme připojit spotřebič o odporu $90\ \Omega$, aby proud procházející spotřebičem nepřekročil hodnotu $0,5\ \text{A}$?

ZU 3.2.2.-5

Jaké je napětí na rezistoru $R = 0,25\ \Omega$, prochází-li jím proud $I = 2,4\ \text{A}$? Má-li rezistor tvar drátu délky $50\ \text{cm}$, jaká je v něm intenzita elektrického pole?

BU 3.2.2.-6

Válcový vodič délky $2\ \text{m}$, průměru $0,1\ \text{mm}$ je zhotoven z materiálu, jehož rezistivita je $1,7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$. Velikost intenzity ve vodiči je $E = 0,54\ \text{V/m}$ a je rovnoběžná s osou vodiče. Určete:

- hustotu proudu ve vodiči
- napětí na vodiči
- proud procházející vodičem

BU 3.2.2.-7

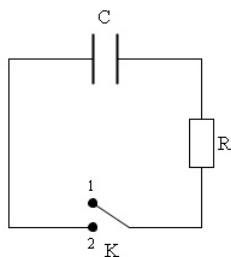
Měděným drátem délky $1000\ \text{m}$ a průřezu $1\ \text{mm}^2$ protéká proud při napětí $17\ \text{V}$ na koncích drátu. Vypočítejte unášivou (driftovou) rychlost volných elektronů ve vodiči a stanovte jak se tato rychlost změní, jestliže napětí na koncích vodiče se n -krát zvětší. Rezistivita mědi je $1,7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$ a počet volných elektronů v $1\ \text{cm}^3$ je $8,5 \cdot 10^{22}$.

BU 3.2.2.-8

Jak dlouho trvá elektronům, než se dostanou z autobaterie do startéru? Předpokládejte měděný vodič délky $0,85\ \text{m}$, průřezu $0,21\ \text{cm}^2$ kterým prochází proud $300\ \text{A}$.

BŘU 3.2.2.-9

Předpokládejte, že kondenzátor na obrázku O 3.2.2.-4 je nabit na napětí U_0 , náboj na kondenzátoru je Q_0 . V okamžiku $t = 0$ přepneme klíč K z polohy 1 do polohy 2. Kondenzátor se začne **vybíjet** přes rezistor R . Jak se mění vybíjecí proud I (náboj Q a napětí U na kondenzátoru) v závislosti na čase?



O 3.2.2.-4

Řešení:

- V čase $t = 0\ \text{s}$ je - náboj na kondenzátoru Q_0
- napětí na kondenzátoru U_0
- vybíjecí proud $I_0 = \frac{U_0}{R}$

$$I = - \frac{dQ}{dt} \quad (a)$$

znaménko mínus vyjadřuje fakt, že kondenzátor náboj ztrácí.

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = I.R \quad (b)$$

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow Q = CU \quad (c)$$

Dosadíme-li vztahy (b) a (c) do (a), dostaneme

$$I = -\frac{d(C.I.R)}{dt}$$

Protože kapacita C kondenzátoru a odpor R rezistoru jsou konstanty obvodu, můžeme psát

$$I = -R.C \frac{dI}{dt}$$

To je diferenciální rovnice prvního řádu a budeme ji řešit separací proměnných. Provedeme takové matematické úpravy aby každá proměnná (v našem případě proud I a čas t) byla na jedné straně rovnice.

$$\frac{dI}{I} = -\frac{1}{R.C} dt$$

Nyní můžeme obě strany rovnice integrovat

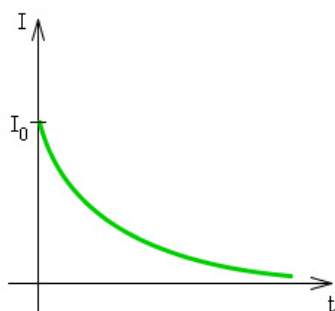
$$\int \frac{dI}{I} = -\frac{1}{R.C} \int dt + K$$

$$\ln I = -\frac{1}{RC} t + K$$

Integrační konstantu K určíme z podmínky, že v čase $t = 0$ s je $I = I_0$, tedy $\ln I_0 = K$

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\frac{1}{R.C} t \Rightarrow \frac{I}{I_0} = e^{-\frac{t}{R.C}} \Rightarrow I = I_0 e^{-\frac{t}{R.C}}$$

Vybíjecí proud klesá k nule. Závislost proudu na čase vidíte na obrázku [O 3.2.2.- 5](#).



[O 3.2.2.- 5](#)

Náboj na kondenzátoru klesá podle rovnice $Q = Q_0 e^{-\frac{t}{R.C}}$

Napětí na kondenzátoru klesá podle rovnice $U = U_0 e^{-\frac{t}{R.C}}$

BU 3.2.2.-10

Na kondenzátoru kapacity $75 \cdot 10^{-6}$ F je napětí 80 V. Kondenzátor se vybíjí přes rezistor s odporem 40 kΩ.

a) Určete počáteční proud (tj. v čase $t = 0$ s)

b) Za jak dlouho klesne proud na 0,8 mA?

3.2.3. ELEKTRICKÝ ODPOR



SHRNUTÍ

Elektrický odpor závisí na **délce** vodiče l , **průřezu** vodiče S a na **měrném elektrickém odporu** (rezistivita) materiálu vodiče podle vztahu

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Elektrický odpor závisí na **teplotě** a to tak, že u kovu odpor s rostoucí teplotou roste. Pro běžné výpočty můžeme použít přibližného vztahu

$$R = R_1(1 + \alpha \cdot \Delta t) \text{ nebo } R = R_1(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

kde

R je odpor vodiče při teplotě t ,

R_1 je odpor při vztážené teplotě t_1 ,

α je teplotní součinitel odporu, který je definován takto:

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$$

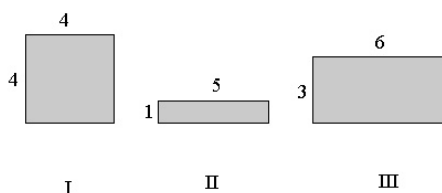
Supravodiče jsou materiály, jejichž rezistivita se při velmi nízkých teplotách blíží k nule. Na velikost odporu kovu má vliv také přítomnost příměsí nebo způsob zpracování.

ZTO 3.2.3.-1



Na obrázku [O 3.2.3.-3](#) vidíte tři průřezy stejně dlouhých vodičů zhotovených ze stejného materiálu. **Který z vodičů** má nejmenší odpor (měřený v podélném směru mezi konci vodičů)?

- a) vodič I
- b) vodič II
- c) vodič III



[O 3.2.3.-3](#)

ZTO 3.2.3.-2

V tabulce [O 3.2.3.-4](#) jsou uvedeny délky tři měděných tyčí a jejich průměry. **Který z vodičů** má největší odpor?

- a) první tyč
- b) druhá tyč
- c) třetí tyč

<i>tyč</i>	<i>délka</i>	<i>průměr</i>	<i>napětí</i>
1	L	3d	U
2	2L	d	2U
3	3L	2d	2U

O 3.2.3.-4

ZTO 3.2.3.-3

V tabulce O 3.2.3.-4 jsou uvedeny délky tři měděných tyčí a napětí mezi jejich konci.

Ve které tyči je největší intenzita elektrického pole ?

- a) v první tyči
- b) v druhé tyči
- c) v třetí tyči

ZTO 3.2.3.-4

Jednotkou odporu je ohm (Ω). Patří tato jednotka k **základním jednotkám** soustavy SI ?

- a) ano
- b) ne

ZTO 3.2.3.-5

Vodič délky L a průměru d má odpor R . Jaký bude odpor tohoto vodiče R_1 , zvětší-li se jeho průměr 2krát (za jinak stejných podmínek) ? $R_1 =$

- a) $4.R$
- b) $2.R$
- c) $R/4$
- d) $R/2$

ZTO 3.2.3.-6

Vodič délky L a průměru d má odpor R . Jaký bude odpor tohoto vodiče R_1 , zvětší-li se jeho délka 2krát (za jinak stejných podmínek) ? $R_1 =$

- a) $2.R$
- b) $4.R$
- c) $R/2$
- d) $R/4$

ZTO 3.2.3.-7

Odpor kovů s rostoucí teplotou

- a) roste
- b) klesá

ZTO 3.2.3.-8

Jaká je jednotka teplotního součinitele elektrického odporu ?

- a) K
- b) K^{-1}
- c) $^{\circ}C$

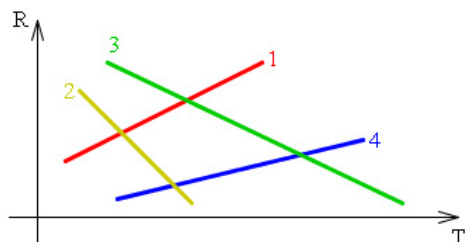
BTO 3.2.3.-9

Vyjádřete jednotku odporu ohm v základních jednotkách soustavy SI. $\Omega =$

BTO 3.2.3.-10

Na obrázku O 3.2.3.-6 vidíte závislosti odporu čtyř materiálů na teplotě. Které materiály jsou kovy ?

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4



O 3.2.3.-6

BTO 3.2.3.-11

Na obrázku O 3.2.3.-6 vidíte závislosti odporu čtyř materiálů na teplotě. Které materiály jsou polovodiče?

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4

ZU 3.2.3.-1

Z mědi se vyrábějí vysokonapěťové vodiče, kterými může procházet až 60 A proudu. Odpor 1 km takového vodiče má být $0,15 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$. Vypočítejte hmotnost jednoho metru kabelu. Hustota mědi je $8960 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

ZU 3.2.3.-2

Měděné vinutí motoru má odpor 50Ω při teplotě 20°C , když motor neběží. Je-li motor několik hodin v chodu, odpor se zvýší na 58Ω . Jakou teplotu má přitom vinutí? Teplotní součinitel odporu mědi je $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

ZU 3.2.3.-3

Drát A a trubice B jsou vyrobeny ze stejného materiálu a mají stejnou délku 1 m. Drát má průměr 1 mm, trubice má vnější průměr 2 mm a vnitřní průměr 1 mm. Určete poměr jejich odporů R_A/R_B .

ZU 3.2.3.-4

Určete měrný elektrický odpor stříbra víte-li, že stříbrný vodič průřezu 1 mm^2 a délky 62,5 m má odpor 1Ω .

ZU 3.2.3.-5

Elektrický vaříč má při provozní teplotě 700°C odpor 24Ω . Jaký je jeho odpor při teplotě 0°C , je-li teplotní součinitel odporu spirály $2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

ZU 3.2.3.-6

Odpor wolframového vlákna je při 20°C roven 35,8 Ω. Jaká bude teplota vlákna, jestliže při napětí 120 V prochází vláknem proud 0,33 A. $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, R_0 počítejte k 0°C.

ZU 3.2.3.-7

Jak velký odpor má za studena (při 0°C) vlákno wolframové žárovky 60 W, 220 V, vztahují-li se údaje na provozní teplotu 2 500°C. Teplotní součinitel odporu je $41 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Jak velký je proud při svícení a jak velký je nárazový proud v okamžiku rozsvícení?

3.2.4. PRÁCE A VÝKON PROUDU

SHRNUTÍ



Práce proudu je definována vztahem

$$W = U \cdot Q = U \cdot I \cdot t$$

Tento vztah můžeme dále upravit použitím Ohmova zákona.

Výkon P proudu v součástce, na níž je napětí U a kterou prochází proud I , je roven

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

Energie, která je dodána do obvodu zdrojem, se mění jednak v teplo (Joule – Lenzův zákon) a jednak v práci.



ZTO 3.2.4.-1

Tři dráty stejného průměru postupně zapojíme mezi dva body, mezi nimiž je stále stejné napětí. Rezistivity a délky vodičů jsou následující :

A vodič - ρ a L

B vodič - $1,2 \rho$ a $1,2 L$

C vodič - $0,9 \rho$ a L

Ve kterém vodiči vznikne za sekundu nejvíc tepla ?

- a) ve vodiči A
- b) ve vodiči B
- c) ve vodiči C

ZTO 3.2.4.-2

V obvodu na obrázku O 3.2.4.-1 je zapojena baterie B a rezistor o odporu R . Odpor R a proud I mohou být:

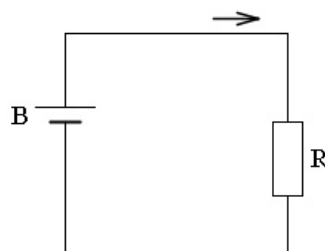
v prvním případě 4 Ω a 2 A

ve druhém případě 3 Ω a 3 A

ve třetím případě 3 Ω a 2 A

Ve kterém případě vzniká na rezistoru nejvíce tepla ?

- a) v prvním případě
- b) ve druhém případě
- c) ve třetím případě



O 3.2.4.-1

ZTO 3.2.4.-3

Odpor vlákna žárovky značené 500 W/230 V je

- a) větší
- b) menší
- c) stejný

než odpor vlákna žárovky značené 100 W/230 V.

ZTO 3.2.4.-4

Která ze žárovek má větší výkon ?

- a) 220 V/ 0,34 A
- b) 120 V/ 0,5 A

ZTO 3.2.4.-5

K rezistoru o odporu R je připojeno napětí U a prochází jím proud I . Ve kterém případě se nejrychleji mění elektrická energie v teplo?

- a) napětí U se zdvojnásobí, odpor R se nemění
- b) proud I se zdvojnásobí, odpor R se nemění
- c) odpor R se zdvojnásobí, napětí U se nemění
- d) odpor R se zdvojnásobí, proud I se nemění

ZTO 3.2.4.-6

Prochází-li spotřebičem při napětí 60 V proud I po dobu 3 s, vznikne v něm 360 J tepla. Jaký proud prochází spotřebičem? $I =$

ZU 3.2.4.-1

Rentgenovou lampou prochází proud 7 mA při napětí 80 kV. Jaký je odpovídající výkon ve wattech?

ZU 3.2.4.-2

Naplní svítící světlomety jedoucího automobilu odebírají proud 10 A při napětí 12 V z generátoru poháněného motorem. Předpokládejte, že účinnost generátoru je 80% (to znamená, že výstupní elektrický výkon je roven 80% vstupního mechanického výkonu). Vypočítejte jaký výkon musí mít motor, aby světlomety naplní svítily.

ZU 3.2.4.-3

Rezistor o neznámém odporu je připojen ke svorkám 3 V baterie. Výkon na rezistoru je 0,54 W. Je-li tentýž rezistor připojen ke svorkám 1,5 V baterie, jaký je na něm výkon ?

ZU 3.2.4.-4

Radiopřijímač o výkonu 7 W je připojen na 9 V zdroj. Jak velký elektrický náboj projde radiopřijímačem, je-li v provozu 5 hodin?

ZU 3.2.4.-5

Rozhlasový přijímač o výkonu 50 W je v provozu tři hodiny, ostatní spotřebiče máte vypnuty. Jaký údaj přečtete na elektroměru po uplynutí této doby, ukazoval-li na počátku 193,467 kWh?

ZU 3.2.4.-6

Vypočítejte proud procházející žehličkou připojenou na napětí 220 V, je-li její výkon 800 W?

Jaký odpor má topná spirála?

ZU 3.2.4.-7

Jaký výkon má žárovka brzdového světla s odporem $9,6 \, \Omega$, která je připojena na akumulátor 12 V?

ZU 3.2.4.-8

Za jakou dobu spotřebují 1 kW.h elektrické energie spotřebiče s uvedeným příkonem ?

- a) žárovka 40 W
- b) televizor 170 W
- c) sporák 5 000 W

ZU 3.2.4.-9

Výtah o hmotnosti 1 500 kg vyjede do výšky 10 m za 20 s. Elektromotor má účinnost 90% a napětí na jeho svorkách je 380 V. Určete:

- a) proud v motoru
- b) příkon motoru
- c) spotřebu elektrické energie při jedné jízdě.

BU 3.2.4.-10

Kondenzátor kapacity $20 \cdot 10^{-6} \, \text{F}$ je nabitý na napětí 100 V. Necháme jej vybíjet přes rezistor odporu 50 k Ω . Vypočítejte maximální výkon proudu. Za jak dlouho klesne výkon na polovinu maximální hodnoty?

BU 3.2.4.-11

V zásobníku o obsahu 75 l se má ohřát voda z teploty 14°C na 90°C za 7 hodin. Při napětí 220 V.

- a) Jak velká je spotřeba elektrické energie jestliže tepelné ztráty činí $1,2 \cdot 10^6 \, \text{J}$.
- b) Jak velký musí být příkon topné vložky a její odpor?

3.2.5. ELEKTRICKÝ ZDROJ NAPĚTÍ

SHRNUTÍ



Zdroj elektromotorického napětí udržuje napětí mezi svými svorkami. Aby ho udržel i při odběru proudu (při zatížení), musí být schopen konat práci při přemístění nosičů náboje. Velikost této práce na přemístění jednotkového náboje vnitřkem zdroje z jednoho pólu na druhý definuje elektromotorické napětí zdroje. Je-li R vnější odpor obvodu a r vnitřní odpor zdroje, platí

$$U_e = R \cdot I + r \cdot I$$

U_e je **elektromotorické napětí** zdroje,

$I \cdot R$ je (podle Ohmova zákona) **svorkové napětí** U ,

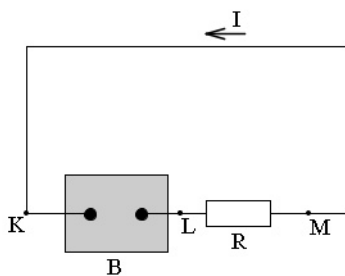
$I \cdot r$ je úbytek napětí na vnitřní části obvodu (na zdroji).



ZTO 3.2.5.-1

Na obrázku [O 3.2.5.-4](#) je obvod s baterií B a rezistorem R, kterým prochází proud I . Odpor spojovacích vodičů neuvažujte. Má šipka znázorňující elektromotorické napětí baterie **ukazovat**

- a) doleva $\leftarrow$
- b) doprava $\rightarrow$



O 3.2.5.-4

ZTO 3.2.5.-2

Na obrázku O 3.2.5.-4 je obvod s baterií B a rezistorem R , kterým prochází proud I . Odpor spojovacích vodičů neuvažujte. **Určete směr** proudu v bodech K,L,M.

- a) proud má v bodech K,L,M stejný směr $\rightarrow$
- b) proud má v bodech K,L,M stejný směr $\leftarrow$
- c) proud v bodě K má směr $\leftarrow$, v bodech L,M je směr $\rightarrow$
- d) proud v bodě K má směr $\rightarrow$, v bodech L,M je směr $\leftarrow$

ZTO 3.2.5.-3

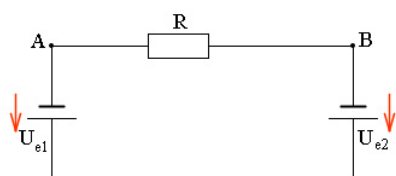
Na obrázku O 3.2.5.-4 je obvod s baterií B a rezistorem R , kterým prochází proud I . Odpor spojovacích vodičů neuvažujte. **Co platí** o velikostech potenciálů v bodech K,L,M ?

- a) $\varphi_K > \varphi_L > \varphi_M$
- b) $\varphi_K < \varphi_L < \varphi_M$
- c) φ_L je největší, $\varphi_K = \varphi_M$

ZTO 3.2.5.-4

Na obrázku O 3.2.5.-5 je $U_{e1} = 12 \text{ V}$, $U_{e2} = 8 \text{ V}$. **Jaký je směr** proudu v rezistoru ?

- a) od bodu A k bodu B
- b) od bodu B k bodu A



O 3.2.5.-5

ZTO 3.2.5.-5

Na obrázku O 3.2.5.-5 je $U_{e1} = 12 \text{ V}$, $U_{e2} = 8 \text{ V}$. **Který bod** má vyšší potenciál ?

- a) bod A
- b) bod B

ZTO 3.2.5.-6

Které z následujících tvrzení je správné? Elektromotorické napětí zdroje je

- a) větší
- b) menší

než jeho svorkové napětí.

ZTO 3.2.5.-7

Elektromotorické napětí zdroje **je rovno**

- a) rozdílu potenciálů na svorkách nepracujícího zdroje
- b) rozdílu potenciálů na svorkách pracujícího zdroje
- c) součinu vnitřního odporu zdroje a odebíraného proudu

ZTO 3.2.5.-8

Svorkové napětí zdroje **je rovno**

- a) rozdílu potenciálů na svorkách nepracujícího zdroje
- b) rozdílu potenciálů na svorkách pracujícího zdroje
- c) součinu vnitřního odporu zdroje a odebíraného proudu

ZTO 3.2.5.-9

Jak určíme zkratový proud I_Z obvodu ?

U_e elektromotorické napětí

Usvorkové napětí

R ... vnější odpor obvodu

rvnitřní odpor obvodu

- a) $I_Z = U_e / R$
- b) $I_Z = U / R$
- c) $I_Z = U / r$
- d) $I_Z = U_e / r$

ZTO 3.2.5.-10

Rezistor má odpor 9Ω a prochází jím proud 2 A . Je připojen na zdroj, jehož vnitřní odpor je 1Ω . Jaké je elektromotorické napětí zdroje? $U_e =$

ZTO 3.2.5.-11

Rezistor má odpor 9Ω a prochází jím proud 2 A . Je připojen na zdroj, jehož vnitřní odpor je 1Ω . Jaké je svorkové napětí zdroje? $U =$

ZU 3.2.5.-1

Vodič o odporu 5Ω je připojen ke zdroji o elektromotorickém napětí 2 V a vnitřním odporu 1Ω .

- a) Jaké množství chemické energie se přemění na energii elektrickou za 2 min ?
- b) Kolik tepla se za 2 min vyvine ve vodiči?
- c) Vysvětlete rozdíl mezi odpověďmi na otázku a) a b).

ZU 3.2.5.-2

Akumulátorová baterie o elektromotorickém napětí 6 V zapojená do obvodu způsobí, že obvodem prochází po dobu 6 min proud 5 A . O kolik se tím sníží chemická energie baterie?

ZU 3.2.5.-3

Uvažujte obvod, který se skládá ze zdroje a vnějšího odporu. Vnější odpor obvodu je 9Ω , vnitřní odpor zdroje je 1Ω . Obvodem prochází proud 2 A . Jaký je celkový odpor obvodu ?

ZU 3.2.5.-4

Uvažujte obvod, který se skládá ze zdroje a vnějšího odporu. Vnější odpor obvodu je $9\ \Omega$, vnitřní odpor zdroje je $1\ \Omega$. Obvodem prochází proud 2 A . Jaké je elektromotorické napětí zdroje ?

ZU 3.2.5.-5

Uvažujte obvod, který se skládá ze zdroje a vnějšího odporu. Vnější odpor obvodu je $9\ \Omega$, vnitřní odpor zdroje je $1\ \Omega$. Obvodem prochází proud 2 A . Vypočítejte svorkové napětí zdroje .

ZU 3.2.5.-6

Uvažujte obvod, který se skládá ze zdroje a vnějšího odporu. Vnější odpor obvodu je $9\ \Omega$, vnitřní odpor zdroje je $1\ \Omega$. Obvodem prochází proud 2 A . Jaký je úbytek napětí na zdroji ?

ZU 3.2.5.-7

Elektromotorické napětí akumulátoru je 12 V . Připojíme-li k němu žárovku, poklesne napětí na svorkách akumulátoru na 10 V , přičemž žárovkou prochází proud 2 A .

- a) Jaký odpor má vlákno žárovky ?
- b) Jaký je vnitřní odpor akumulátoru ?

ZU 3.2.5.-8

Dává-li baterie proud 3 A , je její svorkové napětí 24 V . Dává-li tato baterie proud 4 A , je její svorkové napětí 20 V . Vypočítejte vnitřní odpor baterie a elektromotorické napětí zdroje.

ZU 3.2.5.-9

Jak velký proud dodává při krátkém spojení (zkratu) zdroj, jehož elektromotorické napětí je $U_e = 220\text{ V}$ a vnitřní odpor $r = 0,08\ \Omega$ a jak velké je svorkové napětí ?

ZU 3.2.5.-10

Autobaterie s elektromotorickým napětím 12 V a vnitřním odporem $0,03\ \Omega$ je zatížena :

- a) při noční jízdě odběrem proudu 16 A ,
- b) při používání startéru proudem 120 A .

Vypočítejte příslušná svorková napětí.

ZU 3.2.5.-11

Zdroj, rezistor a ampérmetr jsou zapojeny v sérii. Zdroj má vnitřní odpor $0,4\ \Omega$ a elektromotorické napětí 2 V . Ampérmetr ukazuje 1 A . Kolik procent z elektromotorického napětí činí svorkové napětí zdroje?

BU 3.2.5.-12

V jakém poměru je svorkové napětí a elektromotorické napětí zdroje, jehož vnitřní odpor je n -krát menší než vnější odpor.

3.2.6. KIRCHHOFFOVY ZÁKONY

SHRNUTÍ



Pro řešení elektrických obvodů musíme vědět, že

- 1) součet proudů vstupujících do uzlu je roven součtu proudů z uzlu vystupujících
- 2) součet napětí na jednotlivých rezistorech v uzavřené smyčce je roven součtu elektromotorických napětí zdrojů zapojených v této smyčce.

Tato dvě pravidla pro uzel a smyčku známe jako **Kirchhoffovy zákony**.

Rezistory můžeme zapojovat

- sériově
- paralelně

Výsledný odpor **sériové kombinace** rezistorů je roven součtu odporů jednotlivých rezistorů.

Prochází jimi stejný proud a celkové napětí, které je na celé sériové kombinaci, je rovno součtu napětí na jednotlivých rezistorech.

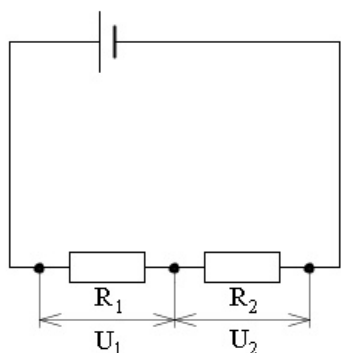
Převrácená hodnota výsledného odporu **paralelní kombinace** rezistorů je rovna součtu převrácených hodnot odporů jednotlivých rezistorů. Na každém rezistoru je stejné napětí jako napětí na celé paralelní kombinaci a celkový proud procházející kombinací rezistorů je roven součtu proudů procházejících jednotlivými rezistory.

ZTO 3.2.6.-1



Pro rezistory na obrázku **O 3.2.6.-1** platí $R_1 > R_2$. Pro napětí na rezistorech **platí**

- a) $U_1 > U_2$
- b) $U_1 < U_2$
- c) $U_1 = U_2$



O 3.2.6.-1

ZTO 3.2.6.-2

Baterie, na jejichž svorkách je napětí U a kterou protéká proud I , je připojena ke dvěma **stejným** rezistorům. **Jaké je napětí** na jednotlivých rezistorech a **jaký proud** jimi protéká, jsou-li zapojeny sériově?

- a) napětí na obou je stejné a oběma prochází stejný proud
- b) napětí nejsou stejná ale oběma prochází stejný proud
- c) napětí jsou stejná, ale každým rezistorem prochází jiný proud

ZTO 3.2.6.-3

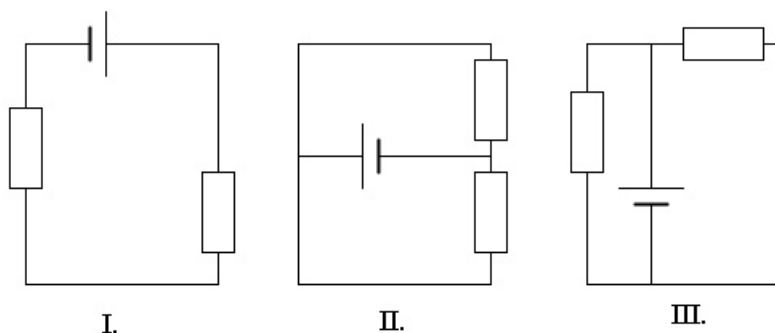
Baterie, na jejichž svorkách je napětí U a kterou protéká proud I , je připojena ke dvěma **stejným** rezistorům. **Jaké je napětí** na jednotlivých rezistorech a **jaký proud** jimi protéká, jsou-li zapojeny paralelně ?

- a) napětí na obou je stejné a oběma prochází stejný proud
- b) napětí nejsou stejná ale oběma prochází stejný proud
- c) napětí jsou stejná, ale každým rezistorem prochází jiný proud

ZTO 3.2.6.-4

Rozhodněte, zda rezistory v obvodech [O 3.2.6.-2](#) jsou zapojeny sériově nebo paralelně.

- a) schéma I v sérii
- b) schéma I paralelně
- c) schéma II sériově
- d) schéma II paralelně
- e) schéma III sériově
- f) schéma III paralelně



[O 3.2.6.-2](#)

ZTO 3.2.6.-5

K baterii připojíme nejprve samotný rezistor R_1 . Potom do obvodu zapojíme sériově další rezistor R_2 . **Rozhodněte**, zda se po připojení rezistoru R_2 napětí na rezistoru R_1

- a) zvětší
- b) zmenší
- c) nezmění

ZTO 3.2.6.-6

K baterii připojíme nejprve samotný rezistor R_1 . Potom do obvodu zapojíme sériově další rezistor R_2 . **Rozhodněte**, zda se po připojení rezistoru R_2 proud I_1 rezistorem R_1

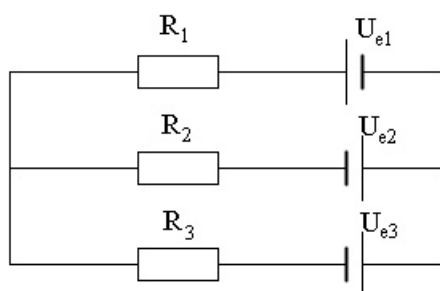
- a) zvětší
- b) zmenší
- c) nezmění

ZTO 3.2.6.-7

Prohlédněte si schéma na obrázku [O 3.2.6.-19](#). **Kolik je v obvodu uzlů ?**

- a) 1

- b) 2
- c) 3
- d) 4



O 3.2.6.-19

ZTO 3.2.6.-8

Prohlédněte si schéma na obrázku O 3.2.6.-19. Kolik je v obvodu větví ?

- a) 2
- b) 3
- c) 6

ZTO 3.2.6.-9

Prohlédněte si schéma na obrázku O 3.2.6.-19. Kolik smyček (jednoduchých elektrických obvodů) najdete ve schématu ?

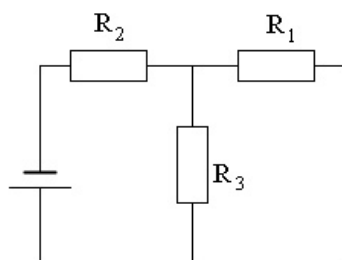
- a) 1
- b) 2
- c) 3

ZTO 3.2.6.-10

Prohlédněte si dané schéma na obrázku O 3.2.6.-24. Které rezistory jsou zapojeny v sérii ?

- a) žádné
- b) R_1 a R_2
- c) R_1 a R_3

d) všechny



O 3.2.6.-24

ZTO 3.2.6.-11

Prohlédněte si dané schéma na obrázku O 3.2.6.-24. Které rezistory jsou zapojeny paralelně ?

- a) žádné
- b) R_1 a R_2
- c) R_1 a R_3
- d) všechny

ZTO 3.2.6.-12

Dva rezistory jsou zapojeny v sérii. Jejich odpory jsou $R_1 = 3 \Omega$ a $R_2 = 6 \Omega$. Kterým rezistorem prochází **větší proud** ?

- a) R_1
- b) R_2
- c) oběma prochází stejný proud
- d) nedá se určit pro nedostatečné zadání

ZTO 3.2.6.-13

Dva rezistory jsou zapojeny v sérii. Jejich odpory jsou $R_1 = 3 \Omega$ a $R_2 = 6 \Omega$. Na kterém rezistoru je **větší napětí** ?

- a) na R_1
- b) na R_2
- c) na obou je stejné napětí
- d) nedá se určit pro nedostatečné zadání

ZTO 3.2.6.-14

Dva rezistory jsou zapojeny paralelně. Jejich odpory jsou $R_1 = 3 \Omega$ a $R_2 = 6 \Omega$. Kterým rezistorem prochází **větší proud** ?

- a) R_1
- b) R_2
- c) oběma prochází stejný proud
- d) nedá se určit pro nedostatečné zadání

ZTO 3.2.6.-15

Dva rezistory jsou zapojeny paralelně. Jejich odpory jsou $R_1 = 3 \Omega$ a $R_2 = 6 \Omega$. Na kterém rezistoru je **větší napětí** ?

- a) na R_1
- b) na R_2
- c) na obou je stejné napětí
- d) nedá se určit pro nedostatečné zadání

ZTO 3.2.6.-16

Na spotřebiči odporu R je napětí U . Za dobu t vznikne v něm teplo Q . Kolik tepla Q' vznikne, zvětšíme-li napětí na tomto spotřebiči na $2U$ (za jinak stejných podmínek). **$Q' =$**

- a) $Q/2$
- b) $Q/4$
- c) $2Q$
- d) $4Q$

ZTO 3.2.6.-17

Na spotřebiči odporu R je napětí U . Za dobu t vznikne v něm teplo Q . Kolik tepla Q' vznikne ve spotřebiči za poloviční dobu (za jinak stejných podmínek)? **$Q' =$**

- a) $Q/2$
- b) $Q/4$
- c) $2Q$
- d) $4Q$

ZTO 3.2.6.-18

Jednotka watthodina (W.h) **je jednotkou**

- a) práce
- b) energie
- c) výkonu

ZTO 3.2.6.-19

Mezi jednotkou watthodinou a joulem platí vztah : $W \cdot h =$

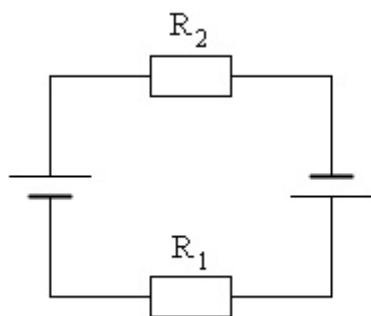
- a) $1/3 \text{ 600 J}$
- b) 3 600 J
- c) 60 J
- d) $1/60 \text{ J}$
- e) mezi $W \cdot h$ a J žádný z uvedených vztahů neplatí

ZTO 3.2.6.-20

Určete směr proudu, který prochází rezistorem R_1 a R_2 v obvodu na obrázku O 3.2.6.-27.

$U_1 = 4,4 \text{ V}$, $U_2 = 2,1 \text{ V}$.

- a) $R_1 \leftarrow$ $R_2 \rightarrow$
- b) $R_1 \rightarrow$ $R_2 \rightarrow$
- c) $R_1 \rightarrow$ $R_2 \leftarrow$
- d) $R_1 \leftarrow$ $R_2 \leftarrow$
- e) nelze rozhodnout, nevíme který zdroj je U_1 a U_2



O 3.2.6.-27

ZTO 3.2.6.-21

Chcete zjistit, jaký proud prochází rezistorem. Ampérmetr zapojíte tak, že

- a) ampérmetr a rezistor budou v sérii
- b) ampérmetr a rezistor budou paralelně

ZTO 3.2.6.-22

Chcete zjistit, jaké napětí je na rezistoru. Voltmetr zapojíte tak, že

- a) voltmetr a rezistor budou v sérii
- b) voltmetr a rezistor budou paralelně

BTO 3.2.6.-23

Potřebujeme-li zvětšit rozsah ampérmetru, použijeme rezistor, který

- a) zapojíme s ampérmetrem do série
- b) zapojíme s ampérmetrem paralelně

BTO 3.2.6.-24

Potřebujeme-li zvětšit rozsah voltmetru, použijeme rezistor, který

- a) zapojíme s voltmetrem do série

b) zapojíme s voltmetrem paralelně

ZU 3.2.6-1

Připojte dva rezistory R_1 a R_2 (kde $R_1 > R_2$) k baterii. Nejprve každý zvlášť, potom oba sériově a nakonec oba paralelně. Uspořádejte tato zapojení podle velikosti proudu procházejícího baterií.

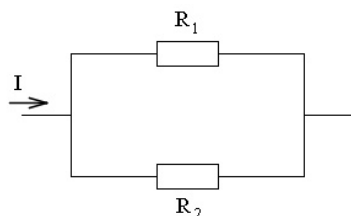
ZU 3.2.6.-2

Elektrický kabel je tvořen svazkem 125 tenkých drátů, každý z nich má odpor $2,65\mu\Omega$. Prochází jím celkový proud $0,75\text{ A}$.

- Jaký proud prochází každým drátem kabelu?
- Jaké je napětí na kabelu?
- Jaký je odpor kabelu?

ZU 3.2.6.-3

V elektrické síti na obrázku [O 3.2.6.-16](#) procházejí větvemi proudy $I_1 = 0,2\text{ A}$ a $I_2 = 0,6\text{ A}$. Určete proud I .



[O 3.2.6.-16](#)

ZU 3.2.6.-4

V elektrické síti na obrázku [O 3.2.6.-16](#) teče do uzlu proud $I = 6\text{ A}$. Odpor $R_1 = 2\ \Omega$, odpor $R_2 = 8\ \Omega$. Jaké proudy procházejí rezistory R_1 a R_2 ?

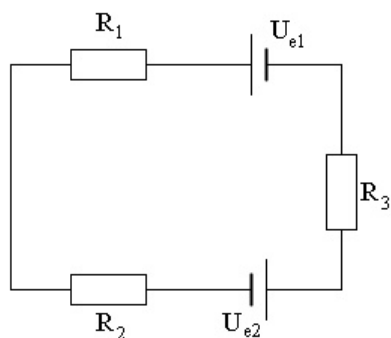
ZU 3.2.6.-5

V elektrické síti na obr. [O 3.2.6.-16](#) prochází rezistorem R_1 proud $I_1 = 0,2\text{ A}$ a rezistorem R_2 proud $I_2 = 0,6\text{ A}$.

Jaký je poměr odporů $R_1 : R_2 =$

ZU 3.2.6.-6

V elektrickém obvodu na obrázku [O 3.2.6.-17](#) jsou napětí na zdrojích $U_{e1} = 12\text{ V}$ a $U_{e2} = 6\text{ V}$ a rezistory o odporech $R_1 = 20\ \Omega$, $R_2 = 10\ \Omega$, $R_3 = 6\ \Omega$. Vnitřní odpory zdrojů neuvažujte. Jaký proud prochází obvodem?



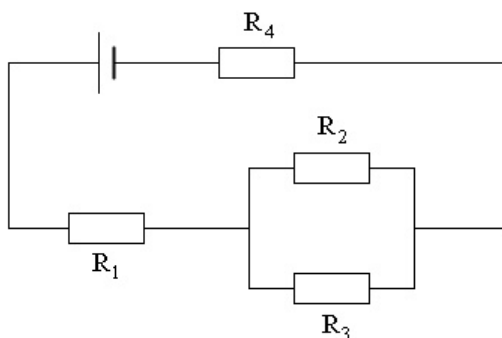
[O 3.2.6.-17](#)

ZU 3.2.6.-7

V elektrickém obvodu na obrázku [O 3.2.6.-17](#) jsou napětí na zdrojích $U_{e1} = 12 \text{ V}$ a $U_{e2} = 6 \text{ V}$ a rezistory o odporech $R_1 = 20 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$. Určete napětí na rezistoru R_2 .

ZU 3.2.6.-8

Určete výsledný odpor ve schématu [O 3.2.6.-18](#). $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$, $R_4 = 5 \Omega$.

[O 3.2.6.-18](#)**ZU 3.2.6.-9**

Jaký odpor se musí předradit žárovce pro napětí $3,5 \text{ V}$ a s dovoleným proudem $0,02 \text{ A}$, kterou chceme připojit k baterii 6 V ?

ZU 3.2.6.-10

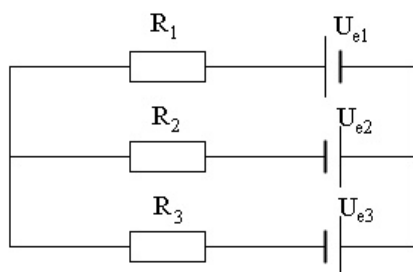
Dvě žárovky o odporech 40Ω a 60Ω jsou spojeny sériově. Jaký proud prochází každou žárovkou, jestliže jsou připojeny na napětí 15 V ? Jaké je napětí na každé žárovce?

ZU 3.2.6.-11

Dvě žárovky o odporech 40Ω a 60Ω jsou spojeny paralelně. Jaký proud prochází každou žárovkou, jestliže jsou připojeny na napětí 15 V ? Jaké je napětí na každé žárovce?

ZU 3.2.6.-12

Ve schématu na obrázku [O 3.2.6.-19](#) je $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$, $U_{e1} = 8 \text{ V}$, $U_{e2} = 12 \text{ V}$, $U_{e3} = 3 \text{ V}$. Vyřešte proudy ve všech (třech) větvích.

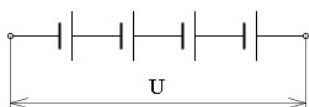
[O 3.2.6.-19](#)

ZU 3.2.6.-13

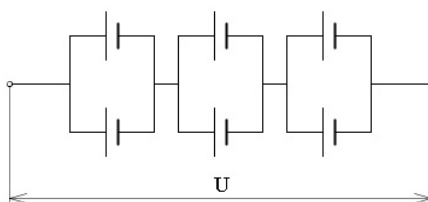
Elektrický obvod s vnějším odporem $R = 3,2 \, \Omega$ je napájen akumulátorem, jehož elektromotorické napětí je $2 \, \text{V}$ a vnitřní odpor $r = 0,08 \, \Omega$. Určete proud v obvodu, je-li zapojen pouze jeden akumulátor a pak, je-li zapojeno 10 akumulátorů v sérii.

ZU 3.2.6.-14

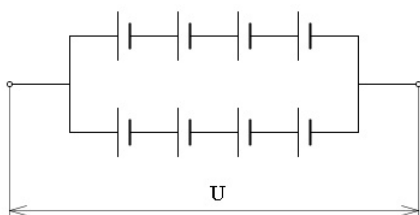
Máte k dispozici stejné zdroje, každý o napětí $2 \, \text{V}$. Určete jaké výsledné napětí dostanete, spojíte-li zdroje podle obrázku O 3.2.6.-20 a), b), c), d).



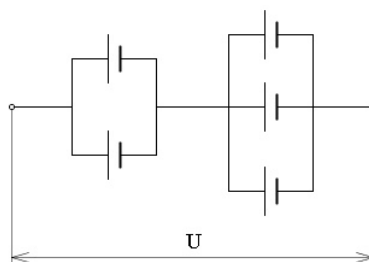
O 3.2.6.-20a



O 3.2.6.-20b



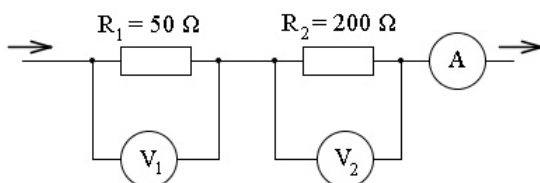
O 3.2.6.-20c



O 3.2.6.-20d

ZU 3.2.6.-15

Voltmetrem V_1 v obvodu O 3.2.6.-21 naměříme napětí $6 \, \text{V}$. Jakou hodnotu proudu naměříme ampérmetrem a jakou hodnotu napětí voltmetrem V_2 ? (Proud, který teče voltmetrem je zanedbatelně malý.)



O 3.2.6.-21

ZU 3.2.6.-16

Dobrý voltmetr má mít na každý měřený volt odpor aspoň $100\ \Omega$. Splňuje tento požadavek přístroj, který při napětí $100\ \text{mV}$ propouští proud $2\ \text{mA}$?

ZU 3.2.6.-17

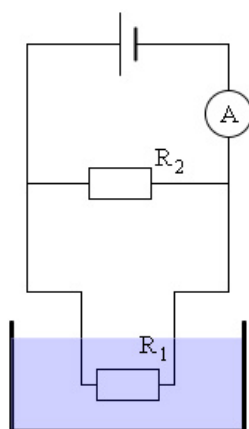
Mezi body A a B v obvodu je napětí $9\ \text{V}$. Najděte množství tepla, které vzniká v každém z rezistorů $5\ \Omega$ a $3\ \Omega$ za jednu sekundu, jestliže zapojíme oba rezistory mezi body A,B

a) do série

b) paralelně.

BU 3.2.6.-18

Kalorimetr je zapojen ve schématu [O 3.2.6.-28](#), kde $R_1 = 60\ \Omega$, $R_2 = 30\ \Omega$, ampérmetr ukazuje proud $6\ \text{A}$. Na kolik stupňů se v kalorimetru ohřeje $480\ \text{g}$ vody $0\ ^\circ\text{C}$ teplé za $5\ \text{minut}$? Ztráty neuvažujte.



[O 3.2.6.-28](#)

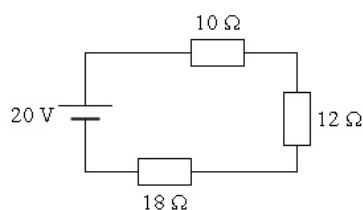
ZU 3.2.6.-19

Určete v zapojení podle obrázku [O 3.2.6.- 29](#)

a) výkon zdroje

b) napětí na rezistoru $12\ \Omega$

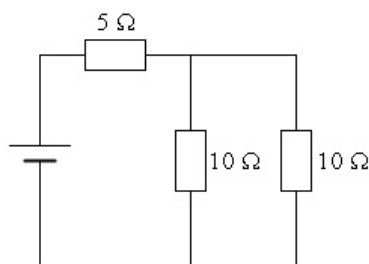
c) výkon spotřebovaný na rezistoru $18\ \Omega$



[O 3.2.6.- 29](#)

ZU 3.2.6.-20

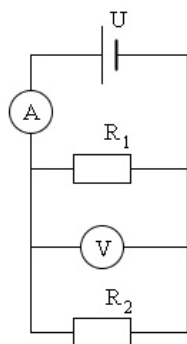
Jaké je napětí na zdroji ve schématu [O 3.2.6.-30](#) jestliže víte, že na rezistoru $5\ \Omega$ se spotřebovuje výkon $20\ \text{J/s}$?



O 3.2.6.-30

ZU 3.2.6.-21

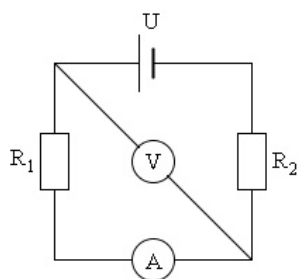
Vypočítejte údaje ampérmetru a voltmetru ve schématu O 3.2.6.-31. Odpor voltmetru je $1000\ \Omega$, napětí na zdroji 110 V , $R_1 = 400\ \Omega$, $R_2 = 600\ \Omega$. Odpor ampérmetru neuvažujte.



O 3.2.6.-31

BU 3.2.6.-22

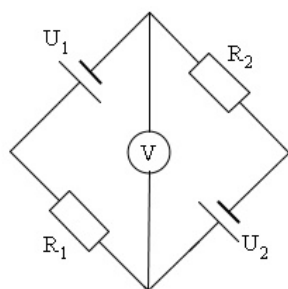
Vypočítejte údaje ampérmetru a voltmetru ve schématu O 3.2.6.-32. Odpor voltmetru je $1000\ \Omega$, napětí na zdroji 110 V , $R_1 = 400\ \Omega$, $R_2 = 600\ \Omega$. Odpor ampérmetru neuvažujte.



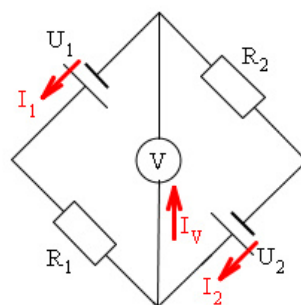
O 3.2.6.-32

ZU 3.2.6.-23

Na obrázku O 3.2.6.-33 je $U_1 = U_2 = 110\text{ V}$, $R_1 = R_2 = 200\ \Omega$. Odpor voltmetru je $1000\ \Omega$. Vypočítejte údaj voltmetru.



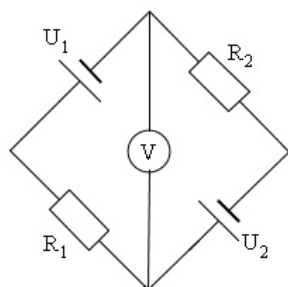
O 3.2.6.-33



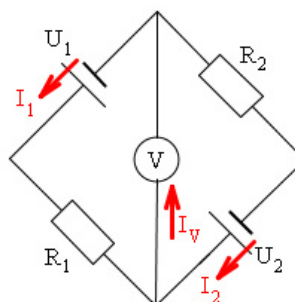
O 3.2.6.-33a

ZU 3.2.6.-24

Na obrázku O 3.2.6.-33 je $U_1 = U_2$, $R_1 = R_2 = 100 \Omega$. Odpor voltmetru je 150Ω . Voltmetr ukazuje 150 V . Vypočítejte napětí na zdroji.



O 3.2.6.-33

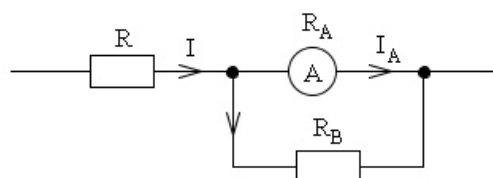


O 3.2.6.-33a

BLP 3.2.6.-25

Miliampér s rozsahem 0 mA až 15 mA a s vnitřním odporem $R_A = 5 \Omega$ má být použit k měření proudů do $0,15 \text{ A}$. Jak velký odpor použijeme a jakým způsobem ho zapojíme?

$$I_A = 15 \cdot 10^{-3} \text{ A} \quad R_A = 5 \Omega \quad I = 0,15 \text{ A}$$



O 3.2.6.-34

1) Sledujte obrázek O 3.2.6.-34. Měřený proud je I , ampérmetrem může procházet maximálně I_A . Proud I tedy musíme rozdělit tak, aby ampérmetrem procházel proud I_A a zbytek paralelně připojeným rezistorem (bočníkem) o odporu R_B . Jak velký proud prochází bočníkem?

2) Ampérmetr a bočník jsou zapojeny paralelně a proto napětí na nich je stejné. Napište rovnici, vyjadřující tento fakt a vyjádřete z ní odpor bočníku R_B .

BU 3.2.6.-26

Voltmetr s vnitřním odporem $R_V = 3 \text{ k}\Omega$ má rozsah $U_V = 12 \text{ V}$. Jaký předřadný odpor musíme k voltmetru zapojit, aby se rozsah přístroje zvětšil na 60 V ?

3.2.7. VEDENÍ PROUDU V KAPALINÁCH



SHRNUTÍ

Roztoky kyselin, solí a zásad vedou elektrický proud. Nejdříve ale musí dojít k **disociaci**, tj. rozpadu molekul zmíněných látek na kladné kationty a záporné anionty. Tyto kladné a záporné ionty vedou proud v kapalinách. Při vedení proudu v elektrolytu nastává **spolu s přenosem elektrického náboje i přenos látky**. Hmotnost látky vyloučené na elektrodě vypočítáme podle Faradayova zákona

$$m = A \cdot I \cdot t$$

m je hmotnost látky, která se vyloučí na elektrodě,
 I je proud, který prochází obvodem (a tedy i elektrolytem),
 t je doba, po kterou proud obvodem procházel,
 A je elektrochemický ekvivalent látky.

Elektrochemické články jako zdroje elektromotorického napětí můžeme rozdělit do dvou skupin:

- galvanické články (primární články)
- akumulátory (sekundární články).

Galvanický článek bezprostředně mění chemickou energii v elektrickou. Různou kombinací elektrod a elektrolytů můžeme získat různé typy galvanických článků.

Voltův článek má měděnou a zinkovou elektrodu a elektrolytem je zředěná kyselina sírová.

Akumulátor je tzv. sekundární galvanický článek. Olověný akumulátor má dvě olověné elektrody a elektrolytem je zředěná kyselina sírová. Akumulátor musíme nejprve nabít, tj. připojit jeho elektrody k vnějšímu zdroji. Následkem chemických reakcí má nabitý akumulátor mezi anodou pokrytou PbO_2 a katodou pokrytou olovem elektromotorické napětí 2,75 V. Celkový náboj, který je akumulátor schopen vydat do vnějšího obvodu při vybíjení (z 2,75 V na 1,85 V) definuje kapacitu akumulátoru.



ZTO 3.2.7.-1

Pojmem „elektrolytická disociace“ **označujeme**

- a) iontovou vodivost
- b) vedení proudu v kapalinách
- c) děj, při kterém vlivem rozpouštědla vznikají z neutrálních molekul kladné a záporné ionty
- d) děj, při kterém v důsledku průchodu proudu roztokem vznikají z neutrálních molekul kladné a záporné ionty

ZTO 3.2.7.-2

Aby došlo k disociaci molekul elektrolytu

- a) musí roztokem procházet proud
- b) nemusí roztokem procházet proud

ZTO 3.2.7.-3

Kationty jsou

- a) kladné ionty
- b) záporné ionty

ZTO 3.2.7.-4

Anionty jsou

- a) kladné ionty
- b) záporné ionty

ZTO 3.2.7.-5

V roztoku HCl vznikají disociací ionty vodíku a chlóru. Vodík se bude **vylučovat na**

- a) katodě
- b) anodě

ZTO 3.2.7.-6

V roztoku HCl vznikají disociací ionty vodíku a chlórů. Ionty chlórů se budou **pohybovat ke**

- a) katodě
- b) anodě

ZTO 3.2.7.-7

Z roztoku CuSO_4 se proudem 2 A za 4 sekundy vyloučila měď hmotnosti m_1 a proudem 1 A za 4 sekundy byla vyloučena hmotnost m_2 . O vyloučených hmotnostech **můžeme tvrdit**

- a) $m_1 < m_2$
- b) $m_1 > m_2$
- c) $m_1 = m_2$

ZTO 3.2.7.-8

Z roztoku CuSO_4 se proudem 2 A za 3 sekundy vyloučila měď hmotnosti m . **Jak dlouho** musí procházet roztokem proud 1 A, aby vyloučená hmotnost mědi byla stejná ?

- a) 4 s
- b) 2 s
- c) 6 s
- d) 8 s

ZTO 3.2.7.-9

Z akumulátoru byl odebírán proud

v prvním případě 3 A po dobu 5 hodin

ve druhém případě 2 A po dobu 7,5 hodin

Ve kterém případě jsme odebrali ze zdroje **větší náboj** ?

- a) v prvním případě
- b) ve druhém případě
- c) v obou případech stejný

ZTO 3.2.7.-10

Je-li kapacita akumulátoru 50 A.h, můžeme bez dobíjení **odebírat** proud 10 A po dobu

- a) 5 hodin
- b) 18 000 sekund
- c) 10 hodin
- d) 2,5 hodin

ZTO 3.2.7.-11

Jaká musí být **minimální kapacita** akumulátoru, potřebujeme-li z něj odebrat náboj $1,44 \cdot 10^5$ C?

- a) $1,44 \cdot 10^5$ C
- b) 40 A.h
- c) 1,44 A.h

ZTO 3.2.7.-12

Elektrolyty se vyznačují

- a) iontovou vodivostí
- b) elektronovou vodivostí
- c) elektronovou i iontovou vodivostí

ZTO 3.2.7.-13

Elektrochemický ekvivalent stříbra je 1,118 mg/C. Kolik stříbra se vyloučí z roztoku AgNO_3 proudem 2 A za dobu 0,5s ?

- a) 2,236 mg
- b) 0,559 mg
- c) 1,118 mg
- d) 4,472 mg

ZU 3.2.7.-1

Elektrochemický ekvivalent stříbra je 1,118 mg /C. Kolik stříbra se vyloučí z roztoku AgNO_3 proudem 2 A za dobu 0,5 s ?

ZU 3.2.7.-2

Elektrolýzou síranu měďnatého CuSO_4 se na katodě vyloučilo 0,23 g mědi za 20 min. Jaký proud procházel roztokem ? Elektrochemický ekvivalent mědi je $3,2 \cdot 10^{-7}$ kg /C.

ZU 3.2.7.-3

Na kovové desce s rozměry 0,5 m x 0,2 m je třeba elektrolyticky vytvořit vrstvu niklu tloušťky 0,02 mm. Deska je pokovována proudem 10 A. Jak dlouho pokovování probíhá ? Elektrochemický ekvivalent niklu je $3 \cdot 10^{-7}$ kg/C, hustota niklu je $8,9 \cdot 10^3$ kg / m³.

ZU 3.2.7.-4

Železný plech musíme pocínovat, aby byl vhodný k výrobě plechovek na konzervování potravin. Jak dlouho se elektrolyticky cínuje proudem 160 A, než se vytvoří vrstva o celkové hmotnosti 3 kg ? $A = 0,615 \cdot 10^{-6}$ kg/C.

ZU 3.2.7.-5

Z roztoku AgNO_3 se za hodinu vyloučilo 20,3 g stříbra, odpor elektrolytu byl 0,9 Ω . $A = 1,118 \cdot 10^{-6}$ kg/C. Určete

- a) proud v elektrolytu
- b) napětí na elektrodách
- c) náboj, který prošel elektrolytem.

ZU 3.2.7.-6

Jak dlouho musí procházet proud 0,8 A, aby se na katodě o velikosti 1 dm² vyloučila ze skalice modré (CuSO_4) vrstva mědi 0,6 mm silná. Hustota mědi je $8,9 \cdot 10^3$ kg/m³, $A = 0,329 \cdot 10^{-6}$ kg/C

ZU 3.2.7.-7

Kapacita akumulátoru je 20 A.h.

- a) Jaký elektrický náboj je možno z něho získat ?
- b) Jaký proud můžeme odebírat po dobu 120 hodin ?

ZU 3.2.7.-8

Kapacita akumulátoru je 20 A.h a slouží k napájení dvou součástek, které jsou zapojeny paralelně. Jak dlouho vydrží náboj akumulátoru, jestliže každou součástkou prochází proud 0,05 A ?

BU 3.1.7.-9

Zdroj je spojen s vodným roztokem HCl. Za každou sekundu projde libovolným průřezem elektrolytu v opačných směrech $n_1 = 3,263 \cdot 10^{18}$ iontů H^+ a $n_2 = 6,77 \cdot 10^{17}$ iontů Cl^- . Určete

a) proud v obvodu

b) kolik elektronů projde libovolným průřezem kovového vodiče, který spojuje zdroj s elektrolytem.

BU 3.2.7.-10

Skleněná trubice o průřezu $0,5 \text{ cm}^2$ je naplněna roztokem NaCl a prochází jí proud. Vlivem sil elektrického pole se pohybují ionty Na^+ rychlostí $v_1 = 0,045 \text{ cm/s}$ a ionty Cl^- rychlostí $v_2 = 0,0677 \text{ cm/s}$. Jaký proud prochází roztokem, je-li v každém cm^3 roztoku 10^{20} párů iontů obojího druhu?

BŘU 3.2.7.-11

Při elektrolýze roztoku $CuSO_4$ se vyloučilo na katodě $32,94 \text{ mg Cu}$. Kolik je to atomů Cu?

Řešení:

$A = 0,6588 \text{ mg/C}$ pro Cu^+

Označíme μhmotnost atomu

xhledaný počet atomů

zpočet elementárních nábojů potřebných k vyloučení jedné molekuly (v našem případě $z = 1$)

Při elektrolýze je s přenosem náboje spojen i přenos látky.

Elektrický náboj přenesený za 1 sekundu a odevzdaný na elektrodě je

$$I = x \cdot z \cdot e$$

Na elektrodě se za dobu t vyloučí látka, jejíž hmotnost je m

$$m = x \cdot \mu \cdot t$$

Tedy

$$\frac{m}{I} = \frac{\mu}{z \cdot e} t \Rightarrow m = \frac{\mu}{z \cdot e} I \cdot t$$

Porovnejte tento výsledek s rovnicí $m = A \cdot I \cdot t$

$$A = \frac{\mu}{z \cdot e} \Rightarrow \mu = A \cdot z \cdot e$$

Hledaný počet atomů je $x = m / \mu$

$$x = 3,125 \cdot 10^{20}$$

3.2.8. ELEKTRICKÝ PROUD V PLYNECH A VE VAKUU



SHRNUTÍ

Elektricky vodivými se plyny stanou **ionizací**. Z molekuly se uvolňují elektrony a zbytek molekuly tvoří kladný iont. Pokud se elektron zachytí na neutrální molekule, vzniká záporný iont. V plynech se tedy účastní vedení proudu elektrony a ionty.

Aby se plyn stal vodivým, musíme nositele náboje

1. buď do něho vnést - uvolňování elektronů z kovu (termoemise, fotoemise, studená emise)

2. nebo je v něm vyvolat - vznik volných nositelů náboje vlivem ionizačních činidel (tepelná ionizace, ionizace zářením).

- K uvolnění elektronu z kovu musí elektron přijmout energii, která je rovna výstupní práci. Pokud dochází k emisi elektronů v důsledku zahřátí katody, hovoříme o

termoemisi. K emisi elektronů může také docházet působením světla na katodu. V tomto případě hovoříme o **fotoemisi.** K emisi elektronů může také dojít působením silného elektrického pole. Hovoříme o **studené emisi.** Ve všech těchto případech přicházejí nositelé náboje (elektrony) do plynu z jedné elektrody.

- Pokud nositelé náboje (elektrony a ionty) vznikají z neutrálních molekul plynu působením ionizátoru, hovoříme o objemové ionizaci. Ionizační energie může být molekulám plynu dodána různým způsobem. U **tepelné ionizace** se tak děje zahříváním plynu, ale potřebnou ionizační energii může dodat také záření (**ionizace zářením**). Ionizátor tedy vyvolá ionizaci plynu a plynem bude procházet proud. Vedení proudu je však **nesamostatné**, tzn. pro vedení proudu je přítomnost ionizačního činidla nezbytná. Budeme-li sledovat závislost tohoto proudu na napětí mezi elektrodami zjistíme, že zpočátku roste proud úměrně s napětím a platí Ohmův zákon. Další zvyšování napětí mezi elektrodami již nevede k růstu proudu. Proud dosáhl hodnoty zvané **nasycený** proud. Dalším zvyšováním napětí získávají elektrony a ionty plynu tak velkou energii, že jsou schopny samy ionizovat další neutrální molekuly. Dochází k lavinovitému narůstání nosičů náboje, proud prudce roste a nesamostatné vedení proudu přechází v **samostatné** vedení. Za normálního tlaku můžeme sledovat tři druhy samostatného výboje. Je to obloukový výboj, jiskrový výboj a korona.



ZTO 3.2.8.-1

Jaké nosiče nábojů vznikají v plynu při ionizaci ?

- a) kladné ionty
- b) záporné ionty
- c) elektrony

ZTO 3.2.8.-2

Převládá-li v plynu ionizace nad rekombinací

- a) zvyšuje se počet ionizovaných molekul v plynu
- b) klesá počet ionizovaných molekul v plynu
- c) počet ionizovaných molekul v plynu zůstává konstantní

ZTO 3.2.8.-3

Převládá-li v plynu rekombinace nad ionizací

- a) zvyšuje se počet ionizovaných molekul v plynu
- b) klesá počet ionizovaných molekul v plynu
- c) počet ionizovaných molekul v plynu zůstává konstantní

ZTO 3.2.8.-4

Pokud nastane v plynu rovnováha mezi ionizací a rekombinací

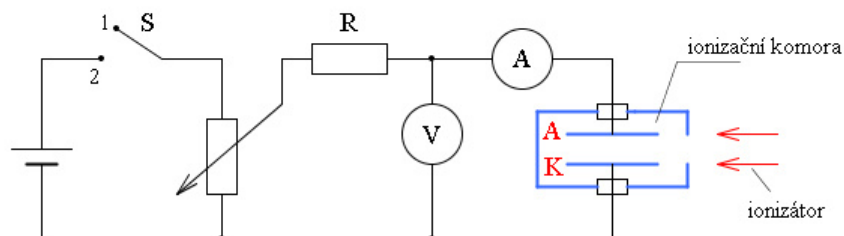
- a) zvyšuje se počet ionizovaných molekul v plynu
- b) klesá počet ionizovaných molekul v plynu
- c) počet ionizovaných molekul v plynu zůstává konstantní

ZTO 3.2.8.-5

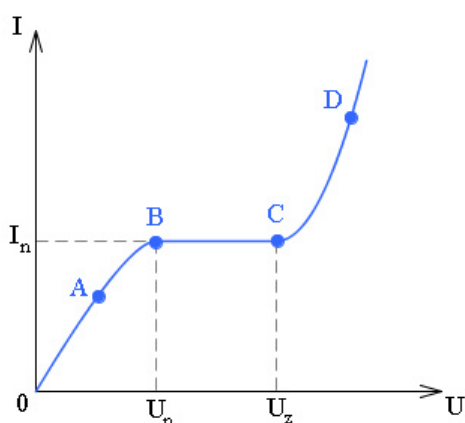
Na obrázku [O 3.2.8.-4](#) vidíte zapojení ionizační komory, ve které je zkoumaný plyn. Na plyn působíme ionizátorem (záření). Je-li spínač S v poloze 2, ampérmetr a voltmetr budou ukazovat výchylku. Příslušné naměřené hodnoty vidíte na obrázku [O 3.2.8.-5](#) (tzv. voltampérová charakteristika). **Ve které části grafu** (mezi kterými body v grafu) probíhá **nesamostatný** výboj v plynu?

- a) OB

- b) BC
- c) CD
- d) OC



O 3.2.8.-4



O 3.2.8.-5

ZTO 3.2.8.-6

Na obrázku O 3.2.8.-4 vidíte zapojení ionizační komory, ve které je zkoumaný plyn. Na plyn působíme ionizátorem (záření). Je-li spínač S v poloze 2, ampérmetr a voltmetr budou ukazovat výchylku. Příslušné naměřené hodnoty vidíte na obrázku O 3.2.8.-5 (tzv. voltampérová charakteristika). **Ve které části grafu** (mezi kterými body v grafu) probíhá **samostatný** výboj v plynu?

- a) OB
- b) BC
- c) CD
- d) OC

ZTO 3.2.8.-7

Na obrázku O 3.2.8.-4 vidíte zapojení ionizační komory, ve které je zkoumaný plyn. Na plyn působíme ionizátorem (záření). Je-li spínač S v poloze 2, ampérmetr a voltmetr budou ukazovat výchylku. Příslušné naměřené hodnoty vidíte na obrázku O 3.2.8.-5 (tzv. voltampérová charakteristika). **Ve které části grafu** (mezi kterými body v grafu) platí pro vedení proudu v plynu Ohmův zákon?

- a) OA
- b) BC
- c) CD
- d) OB

ZTO 3.2.8.-8

Na obrázku [O 3.2.8.-4](#) vidíte zapojení ionizační komory, ve které je zkoumaný plyn. Na plyn působíme ionizátorem (záření). Je-li spínač S v poloze 2, ampérmetr a voltmetr budou ukazovat výchylku. Příslušné naměřené hodnoty vidíte na obrázku [O 3.2.8.-5](#) (tzv. voltampérová charakteristika). **Ve kterém bodě** můžete odstranit ionizátor, aniž ustane vedení proudu v plynu?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D

ZU 3.2.8.-1

Napětí mezi katodou a anodou ve vakuové trubici je 600 V. Z katody emitují elektrony. S jakou minimální rychlostí dopadají elektrony na anodu ?

ZU 3.2.8.-2

Napětí mezi katodou a anodou, které jsou ve vzdálenosti 10 cm, je 300 V. Určete

- a) velikost rychlosti elektronů při jejich dopadu na anodu
- b) velikost zrychlení, se kterým se elektrony pohybují
- c) dobu, za kterou elektrony přejdou od katody k anodě.

ZU 3.2.8.-3

Jakou minimální rychlost musí mít elektron, aby mohl ionizovat atom rtuti, jehož ionizační energie je 10,38 eV ?

ZU 3.2.8.-4

Mezi mrakem a zemí vznikl blesk, který trval 5 ms a vznikl při něm proud 10^3 A. Napětí mezi mrakem a zemí bylo 10^4 kV. Určete elektrickou práci v kWh, která se při výboji vykonala.

BU 3.2.8.-5

V plynové výbojce bude procházet proud, je-li napětí mezi elektrodami uvnitř trubice dostatečně velké. Plyn se ionizuje, elektrony se pohybují směrem ke kladné elektrodě a kladně nabitě ionty směrem k záporné elektrodě. Jaká je velikost proudu ve vodíkové výbojce, v níž $3,1 \cdot 10^{18}$ elektronů a $1,1 \cdot 10^{18}$ protonů projde za sekundu průřezem trubice?

BU 3.2.8.-6

V plynové výbojce poteče proud, je-li napětí mezi elektrodami uvnitř trubice dostatečně velké. Plyn se ionizuje, elektrony se pohybují směrem ke kladné elektrodě, a kladně nabitě ionty směrem k záporné elektrodě. Jaká je velikost a směr proudu ve vodíkové výbojce, v níž $3,1 \cdot 10^{18}$ elektronů a $1,1 \cdot 10^{18}$ protonů projde za sekundu průřezem trubice?

3.2.9. VEDENÍ PROUDU V POLOVODIČÍCH

SHRNUTÍ



Tři elektrické vlastnosti, které můžeme použít pro rozlišení krystalických pevných látek jsou rezistivita, teplotní součinitel rezistivity a koncentrace volných nosičů náboje. Pevné látky můžeme rozdělit na **vodiče, polovodiče a izolanty**.

Energie izolovaného atomu je **kvantována**. Když se atomy přibližují, aby vytvořily pevnou látku, jejich energetické hladiny se mění v **energetické pásy** pevné látky. Tyto energetické pásy jsou vzájemně odděleny pásy zakázaných energií.

V izolantech je nejvyšší pás obsahující elektrony zcela zaplněn a je oddělen od neobsazeného pásu tak velkým zakázaným pásem, že elektrony jej mohou překonat jen velmi obtížně.

U kovů se nejvyšší obsazená hladina energie nachází uvnitř energetického pásu, který je jen částečně zaplněn. Nad touto hladinou existuje velké množství volných hladin, na které mohou volné elektrony přejít i když dostanou jen malé množství energie.

Pásová struktura **polovodičů** je podobná struktuře izolantů s tím rozdílem, že šířka zakázaného pásu mezi valenčním a vodivostním pásem polovodiče je mnohem menší. Proto již při pokojové teplotě může malá část elektronů přejít do vodivostního pásu (vlivem tepelné aktivace), a tím vznikne ve valenčním pásu stejný počet volných energetických stavů – děr. U **vlastních polovodičů** jsou elektrony a díry nosiče náboje. Vodivost polovodiče lze výrazně ovlivnit pomocí **příměsí**. Podle toho jaké příměsi použijeme, hovoříme o polovodiči **typu N**, kde majoritními nosiči náboje jsou elektrony a **typu P** u kterého jsou majoritními nosiči díry.



ZTO 3.2.9.-1

Šířka pásu zakázaných energií ΔE je

pro **křemík 1,12 eV**

pro **germanium 0,67 eV**.

Který z následujících výroků **je pravdivý?**

- a) Oba polovodiče mají stejnou koncentraci nosičů náboje za pokojové teploty.
- b) Za pokojové teploty má germanium vyšší koncentraci nosičů náboje než křemík.
- c) Oba polovodiče mají vyšší koncentraci elektronů ve vodivostním pásu než děr ve valenčním pásu.
- d) U každé látky se koncentrace elektronů rovná koncentraci děr.

ZTO 3.2.9.-2

Křemík je dotován fosforem (fosfor má 5 valenčních elektronů). Který z následujících výroků **je nepravdivý?**

- a) Počet děr ve vzorku se mírně zvýší.
- b) Rezistivita se zvýší.
- c) Vzorek se nabije kladně.
- d) Pás zakázaných energií mezi valenčním a vodivostním pásem se mírně zmenší.

ZTO 3.2.9.-3

Pro který z následujících materiálů **platí Ohmův zákon?**

- a) tyč čistého křemíku
- b) tyč křemíku typu N
- c) tyč křemíku typu P

ZTO 3.2.9.-4

Šířka pásu zakázaných energií ΔE je

pro polovodič A 1,12 eV,
pro polovodič B $1,07 \cdot 10^{-19}$ J.

Který z polovodičů má šířku pásu zakázaných energií větší?

- a) polovodič A
- b) polovodič B
- c) oba stejnou

ZTO 3.2.9.-5

Ve které části mřížky křemíku byste **hledali** vodivostní elektron?

- a) kdekoli v mřížce
- b) v každé Si – Si vazbě
- c) v křemíkovém iontu

ZTO 3.2.9.-6

Ve které části mřížky křemíku byste **hledali** valenční elektron?

- a) kdekoli v mřížce
- b) v každé Si – Si vazbě
- c) v křemíkovém iontu

ZTO 3.2.9.-7

Atom křemíku má 14 elektronů, z toho čtyři jsou valenční a podílejí se na vytvoření kovalentních vazeb. Ve které části mřížky křemíku byste **hledali** těch zbývajících deset elektronů?

- a) kdekoli v mřížce
- b) v každé Si – Si vazbě
- c) v křemíkovém iontu

ZTO 3.2.9.-8

Atom germania má 32 elektronů a má stejnou krystalovou strukturu a stejný typ vazeb jako křemík. Označíme-li elementární náboj e , jaký je **výsledný náboj** na iontu germania v mřížce?

- a) $+e$
- b) $+2e$
- c) $+4e$
- d) $+28e$
- e) $+32e$

ZTO 3.2.9.-9

Malá koncentrace příměsí v krystalu polovodiče se v pásovém modelu projeví vznikem **energetických hladin**

- a) ve valenčním pásu polovodiče
- b) ve vodivostním pásu polovodiče
- c) v zakázaném pásu energií, které odděluje valenční a vodivostní pás polovodiče

ZTO 3.2.9.-10

U polovodiče typu P má přítomnost příměsí (akceptoru) za následek vznik **energetických hladin** (tzv. akceptorové hladiny)

- a) ve valenčním pásu
- b) v zakázaném pásu v blízkosti valenčního pásu
- c) v zakázaném pásu v blízkosti vodivostního pásu
- d) ve vodivostním pásu

ZTO 3.2.9.-11

U polovodiče typu N má přítomnost příměsi (donoru) za následek vznik **energetických hladin** (tzv. donorové hladiny)

- a) ve valenčním pásu
- b) v zakázaném pásu v blízkosti valenčního pásu
- c) v zakázaném pásu v blízkosti vodivostního pásu
- d) ve vodivostním pásu

ZTO 3.2.9.-12

V polovodiči typu N **jsou elektrony**

- a) majoritními nosiči proudu
- b) většinovými nosiči proudu
- c) minoritními nosiči proudu

ZTO 3.2.9.-13

V polovodiči typu P **jsou elektrony**

- a) majoritními nosiči proudu
- b) většinovými nosiči proudu
- c) minoritními nosiči proudu

ZTO 3.2.9.-14

Majoritními nosiči proudu v polovodiči **typu N jsou**

- a) elektrony ve valenčním pásu
- b) elektrony ve vodivostním pásu
- c) díry ve valenčním pásu
- d) díry ve vodivostním pásu

ZTO 3.2.9.-15

Majoritními nosiči proudu v polovodiči **typu P jsou**

- a) elektrony ve valenčním pásu
- b) elektrony ve vodivostním pásu
- c) díry ve valenčním pásu
- d) díry ve vodivostním pásu

3.3. MAGNETICKÉ POLE A JEHO VLASTNOSTI

3.3.1. DEFINICE MAGNETICKÉ INDUKCE



SHRNUTÍ

Magnetické pole charakterizujeme vektorem **magnetické indukce** $\vec{B}$. Magnetická indukce $\vec{B}$ je definována pomocí síly $\vec{F}_m$ působící na zkušební částici s nábojem $+Q$, která se pohybuje rychlostí $\vec{v}$ v magnetickém poli.

- **Velikost** této síly je dána vztahem

$$F_m = Q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

Pokud částice (Q, m) má v magnetickém poli rychlost pro kterou platí $\vec{v} \perp \vec{B}$, magnetické pole působí na částici maximální silou, jejíž velikost je dána vztahem

$$F_m(\max) = Q \cdot v \cdot B$$

Velikost maximální síly $F_m(\max)$ nám může sloužit k definici velikosti magnetické indukce

$$B = \frac{F_m(\max)}{Q \cdot v}$$

jednotkou magnetické indukce je **tesla** (T).

- **Směr** síly $\vec{F}_m$ určíme pomocí pravidla levé ruky. Síla $\vec{F}_m$ je kolmá na vektory $\vec{v}$ a $\vec{B}$.

Shrneme-li všechny uvedené vlastnosti síly $\vec{F}_m$ magnetického pole, můžeme jí zapsat takto

$$\vec{F}_m = Q(\vec{v} \times \vec{B})$$



ZTO 3.3.1.-1

Částice (Q, m) vstupuje do homogenního magnetického pole indukce $\vec{B}$ s rychlostí $\vec{v}$ tak, že vektor její rychlosti svírá s vektorem magnetické indukce úhel α . **Ve kterém případě** působí magnetické pole na částici **nejmenší** silou ?

- a) $\alpha_1 = 10^\circ$
- b) $\alpha_2 = 30^\circ$
- c) $\alpha_3 = 90^\circ$

ZTO 3.3.1.-2

Částice (Q, m) vstupuje do homogenního magnetického pole indukce $\vec{B}$ s rychlostí $\vec{v}$ tak, že vektor její rychlosti svírá s vektorem magnetické indukce úhel α . **Ve kterém případě** působí magnetické pole na částici **největší** silou ?

- a) $\alpha_1 = 10^\circ$
- b) $\alpha_2 = 30^\circ$
- c) $\alpha_3 = 90^\circ$

ZTO 3.3.1.-3

Do homogenního magnetického pole indukce $\vec{B}$ vnikne částice (Q,m) rychlostí $\vec{v}$ tak, že vektor rychlosti $\vec{v}$ svírá s vektorem indukce $\vec{B}$ úhel 0° . Jak velkou silou působí magnetické pole na částici (nezapomeňte uvést jednotku) ?

$F =$

ZTO 3.3.1.-4

V homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$ se nachází částice (Q,m) s rychlostí $v = 0$ m/s. Jak velkou silou působí magnetické pole na částici (nezapomeňte uvést jednotku)?

$F =$

ZTO 3.3.1.-5

V homogenním elektrickém poli intenzity $\vec{E}$ se nachází částice s nábojem Q , jejíž rychlost má velikost $v = 0$ m/s. Jak velkou silou působí elektrické pole na částici ?

$F =$

ZTO 3.3.1.-6

Tři stejné částice (Q,m) vstupují do téhož homogenního magnetického pole vždy tak, že vektor jejich rychlosti je kolmý k vektoru magnetické indukce $\vec{B}$.

1. částice (Q,m) má rychlost v_1 a pole na ní působí silou $F_1 = 1 \cdot 10^{-22}$ N
2. částice (Q,m) má rychlost v_2 a pole na ní působí silou $F_2 = 8 \cdot 10^{-22}$ N
3. částice (Q,m) má rychlost v_3 a pole na ní působí silou $F_3 = 6 \cdot 10^{-22}$ N

Která částice vstupuje do pole s **nejmenší** rychlostí ?

- a) 1.částice s rychlostí v_1
- b) 2.částice s rychlostí v_2
- c) 3.částice s rychlostí v_3
- d) ze zadání nelze rozhodnout

ZTO 3.3.1.-7

Tři částice (Q_1,m) , (Q_2,m) , (Q_3,m) vstupují se stejnou rychlostí do téhož homogenního magnetického pole vždy kolmo k indukci $\vec{B}$.

- na 1. částici (Q_1,m) působí pole silou $F_1 = 1 \cdot 10^{-22}$ N
na 2. částici (Q_2,m) působí pole silou $F_2 = 8 \cdot 10^{-22}$ N
na 3. částici (Q_3,m) působí pole silou $F_3 = 6 \cdot 10^{-22}$ N

Která částice má **největší** náboj ?

- a) 1.částice (Q_1,m)
- b) 2.částice (Q_2,m)
- c) 3.částice (Q_3,m)
- d) ze zadání nelze rozhodnout

ZTO 3.3.1.-8

Tři částice (Q,m_1) , (Q,m_2) , (Q,m_3) mají stejný náboj, ale různé hmotnosti: $m_1 > m_2 > m_3$. Částice vstupují se stejnou rychlostí do téhož homogenního magnetického pole vždy kolmo k indukci $\vec{B}$.

- na 1. částici (Q,m_1) působí pole silou F_1
na 2. částici (Q,m_2) působí pole silou F_2
na 3. částici (Q,m_3) působí pole silou F_3

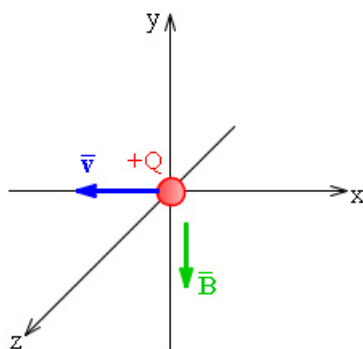
Na kterou částici působí pole **největší** silou ?

- a) na 1.částici (Q, m_1)
- b) na 2.částici (Q, m_2)
- c) na 3.částici (Q, m_3)
- d) ze zadání nelze rozhodnout
- e) na všechny tři částice působí pole stejně velkou silou

ZTO 3.3.1.-9

Na obrázku O 3.3.1.-9 vidíte částici ($+Q, m$), která se pohybuje rychlostí $\vec{v}$ v homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$. Magnetické pole působí na částici silou, která má směr

- a) kladné osy x
- b) záporné osy x
- c) kladné osy y
- d) záporné osy y
- e) kladné osy z
- f) záporné osy z
- g) $F = 0$ N

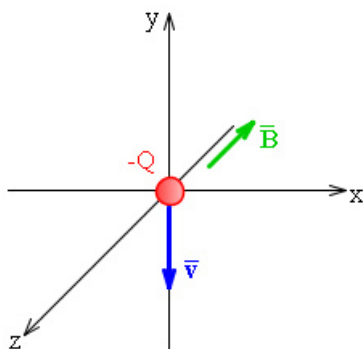


O 3.3.1.-9

ZTO 3.3.1.-10

Na obrázku O 3.3.1.-10 vidíte částici ($-Q, m$), která se pohybuje rychlostí $\vec{v}$ v homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$. Magnetické pole působí na částici silou, která má směr

- a) kladné osy x
- b) záporné osy x
- c) kladné osy y
- d) záporné osy y
- e) kladné osy z
- f) záporné osy z
- g) $F = 0$ N

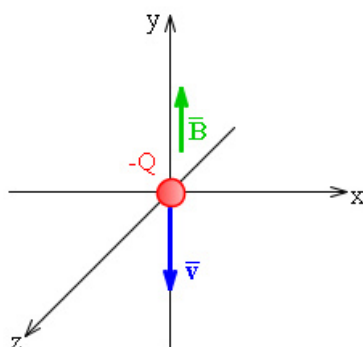


O 3.3.1.-10

ZTO 3.3.1.-11

Na obrázku O 3.3.1.-11 vidíte částici $(-Q, m)$, která se pohybuje rychlostí $\vec{v}$ v homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$. Magnetické pole působí na částici silou, která má směr

- a) kladné osy x
- b) záporné osy x
- c) kladné osy y
- d) záporné osy y
- e) kladné osy z
- f) záporné osy z
- g) $F = 0 \text{ N}$

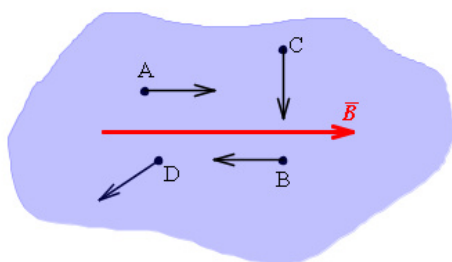


O 3.3.1.-11

ZTO 3.3.1.-12

Do homogenního magnetického pole vpustíme čtyři identické nabitě částice A, B, C, D, jejichž rychlosti mají stejnou velikost, ale různý směr podle obrázku O 3.3.1.-12. Na kterou částici působí magnetické pole **největší** silou?

- a) na A
- b) na B
- c) na C
- d) na D

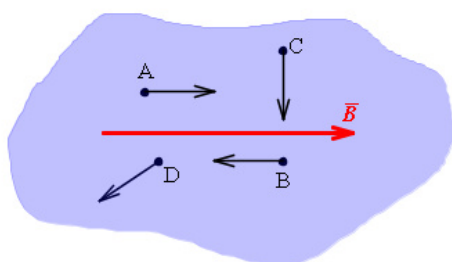


O 3.3.1.-12

ZTO 3.3.1.-13

Do homogenního magnetického pole vpustíme čtyři identické nabité částice A,B,C, D, jejichž rychlosti mají stejnou velikost, ale různý směr podle obrázku O 3.3.1.-12. Na kterou částici působí magnetické pole **nejmenší** silou?

- a) na A
- b) na B
- c) na C
- d) na D

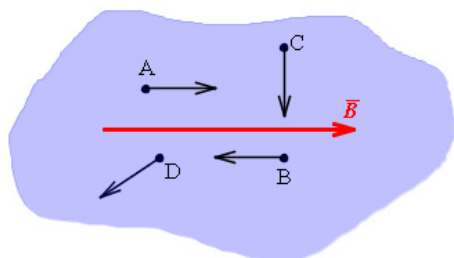


O 3.3.1.-12

ZTO 3.3.1.-14

Do homogenního magnetického pole vpustíme čtyři identické nabité částice A,B,C, D, jejichž rychlosti mají stejnou velikost, ale různý směr podle obrázku O 3.3.1.-12. Které částice se budou pohybovat pohybem rovnoměrným přímočarým?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) žádná

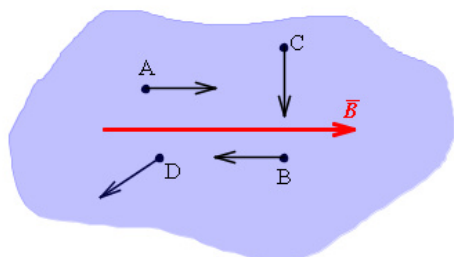


O 3.3.1.-12

ZTO 3.3.1.-15

Do homogenního magnetického pole vpustíme čtyři identické nabité částice A,B,C, D, jejichž rychlosti mají stejnou velikost, ale různý směr podle obrázku O 3.3.1.-12. Které částice se budou pohybovat pohybem přímočarým rovnoměrně zrychleným (zpžděným)?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) žádná



O 3.3.1.-12

ZTO 3.3.1.-16

Do homogenního magnetického pole vpustíme čtyři identické nabité částice A,B,C, D, jejichž rychlosti mají stejnou velikost, ale různý směr podle obrázku O 3.3.1.-12. Které částice se budou pohybovat pohybem rovnoměrným křivočarým?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) žádná

ZTO 3.3.1.-17

Nabitá částice vniká do homogenního magnetického pole rychlostí v tak, že vektor její rychlosti je kolmý na vektor magnetické indukce. Magnetické pole na ni působí silou F .

Pod jakým úhlem by musela částice do pole vstupovat (za jinak stejných podmínek), aby pole na ni působilo poloviční silou, tj. $F/2$?

ZTO 3.3.1.-18

Název jednotky magnetické indukce je.....

ZU 3.3.1.-1

Elektron se pohybuje rychlostí $6 \cdot 10^6$ m/s kolmo k vektoru magnetické indukce velikosti 0,2 T. Náboj elektronu je $1,6 \cdot 10^{-19}$ C a jeho hmotnost je $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg. Vypočítejte sílu, kterou pole působí na elektron.

ZU 3.3.1.-2

V magnetickém poli o indukci 2 T se pohybuje elektron kolmo na indukční čáry. Jakou má rychlost, je-li z magnetického pole vytlačován silou $1 \cdot 10^{-13}$ N?

ZU 3.3.1.-3

Elektron v televizní obrazovce letí rychlostí $7,2 \cdot 10^6$ m.s⁻¹ v magnetickém poli o indukci 83 mT. Vypočítejte velikost maximální síly, kterou působí magnetické pole na elektron. Co můžete říci o nejmenší velikosti této síly?

BU 3.3.1.-4

Částice ($m = 7 \cdot 10^{-8}$ kg, $Q = 2,8 \cdot 10^{-6}$ C) má v magnetickém poli indukce $\vec{B} = 0,04\vec{k}$ T rychlost $\vec{v} = (3\vec{i} + 5\vec{j}) \cdot 10^4$ m/s. Určete vektor síly, kterou magnetické pole působí na částici.

$$\vec{F}_m = -3,36 \cdot 10^{-3} \vec{j} \text{ N}$$

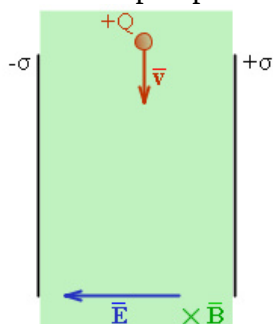
BU 3.3.1.-5

Elektron se pohybuje rychlostí $6 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ kolmo k vektoru magnetické indukce velikosti $0,2 \text{ T}$.

- Vypočítejte sílu, kterou pole působí na elektron.
- Vypočítejte celkové zrychlení elektronu.

BU 3.3.1.-6

Magnetické pole indukce $B = 3 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ a elektrické pole intenzity $E = 6 \cdot 10^3 \text{ V/m}$ jsou realizována tak, že vektor $\vec{B}$ je kolmý na vektor $\vec{E}$ (obrázek O 3.3.3.-6). Najděte rychlost protonů za předpokladu, že nejsou vychýleny ze svého původního směru.



O 3.3.3.-6

BU 3.3.1.-7

Vyjádřete jednotku indukce (tesla) pomocí základních jednotek soustavy SI.

3.3.2. INDUKČNÍ TOK

SHRNUTÍ



Magnetické pole znázorňujeme pomocí **magnetických indukčních čar**. Indukční čáry jsou uzavřené křivky. Vycházejí ze severního pólu magnetu a vstupují do jižního pólu magnetu. Opačné póly magnetu se přitahují, souhlasné se odpuzují.

Homogenní magnetické pole je charakterizováno konstantní indukcí, tedy $\vec{B}$ je konst. a proto jsou zde indukční čáry rovnoběžné a jejich hustota je konstantní.

S magnetickou indukcí $\vec{B}$ těsně souvisí skalární veličina - magnetický **indukční tok** Φ_m , který je definován skalárním součinem vektorů indukce a plochy

$$\Phi_m = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

nebo

$$\Phi_m = \vec{B} \cdot \vec{S}$$

Jednotkou magnetického indukčního toku je **weber** (Wb).

ZTO 3.3.2.-1

V homogenním magnetickém poli **jsou indukční čáry**

- soustředné kružnice
- různoběžné křivky



- c) rovnoběžné přímky, jejichž vzdálenost může ale nemusí být konstantní
d) rovnoběžné přímky, jejichž vzdálenost je konstantní

ZTO 3.3.2.-2

V následujících obrázcích O 3.3.2.-12 (a-d) **doplňte** chybějící označení pólů magnetů tak, aby se magnety přitahovaly či odpuzovaly jak je naznačeno v obrázcích.

Použijte označení : S....severní pól, J....jižní pól.

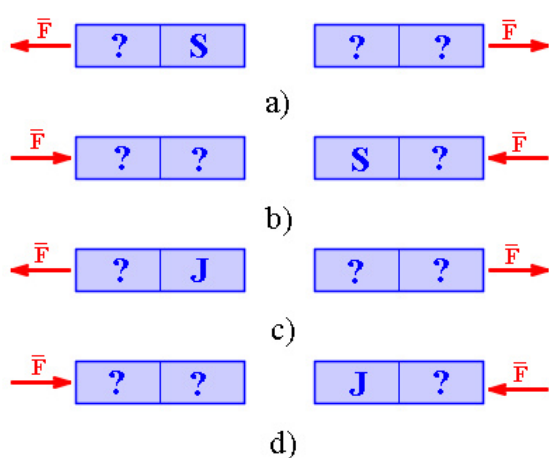
Odpověď pro každý obrázek запиšte jako uspořádanou trojici symbolů (postupujte ve směru zleva $\rightarrow$).

obrázek a)

obrázek b)

obrázek c)

obrázek d)



O 3.3.2.-12 (a-d)

ZTO 3.3.2.-3

V homogenním magnetickém poli o indukci velikosti B se nachází rovinný závit v klidu. Plochou S , vymezenou závitem, prochází indukční tok ϕ_m .

Plochou $2.S$ (za jinak stejných podmínek) **bude procházet** indukční tok

- a) stejný
b) 2krát větší
c) poloviční
d) ze zadání nelze rozhodnout

ZTO 3.3.2.-4

V homogenním magnetickém poli o indukci velikosti B se nachází rovinný závit v klidu. Plochou S , vymezenou závitem, prochází indukční tok ϕ_m .

V poli o indukci $2.B$ (za jinak stejných podmínek) **bude procházet** indukční tok

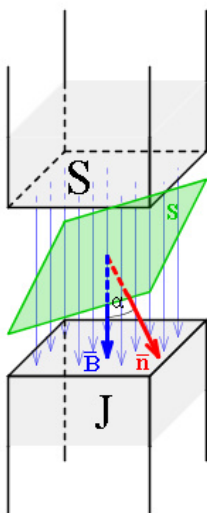
- a) stejný
b) 2krát větší
c) poloviční
d) ze zadání nelze rozhodnout

ZTO 3.3.2.-5

V homogenním magnetickém poli o indukci velikosti B se nachází rovinný závit (viz obrázek O 3.3.2.-5). Úhel, který svírá vektor indukce $\vec{B}$ s normálou plochy $\vec{n}$ je postupně

- a) 10°
- b) 30°
- c) 60°

Ve kterém případě **prochází plochou S** vymezenou závitěm **největší** indukční tok ϕ_m ?

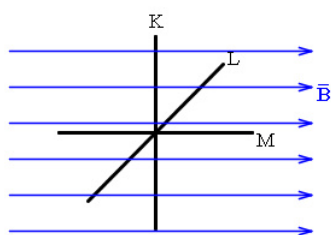


O 3.3.2.-5

ZTO 3.3.2.-6

V homogenním magnetickém poli o indukci $\vec{B}$ se nachází rovinný závit. Na obrázku O 3.3.2.-8 jsou nakresleny tři různé polohy K,L,M závitu vzhledem k indukčním čarám. **Ve které poloze** závitu je úhel, který svírá vektor indukce $\vec{B}$ s normálou plochy $\vec{n}$ roven 0° ?

- a) v poloze K
- b) v poloze L
- c) v poloze M



O 3.3.2.-8

ZTO 3.3.2.-7

V homogenním magnetickém poli o indukci $\vec{B}$ se nachází rovinný závit. Na obrázku O 3.3.2.-8 jsou nakresleny tři různé polohy K,L,M závitu vzhledem k indukčním čarám. **Ve které poloze** závitu je úhel, který svírá vektor indukce $\vec{B}$ s normálou plochy $\vec{n}$ roven 90° ?

- a) v poloze K

- b) v poloze L
- c) v poloze M

ZTO 3.3.2.-8

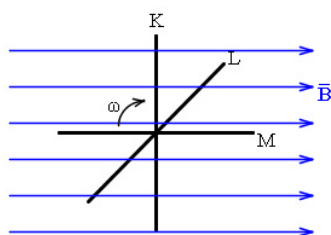
V homogenním magnetickém poli o indukci $\vec{B}$ se nachází rovinný závit. Na obrázku O 3.3.2.-8 jsou nakresleny tři různé polohy K,L,M závitu vzhledem k indukčním čarám. **Ve které poloze** závitu prochází plochou vymezenou závitem **největší** magnetický indukční tok

- a) v poloze K
- b) v poloze L
- c) v poloze M
- d) ve všech polohách stejný

ZTO 3.3.2.-9

Na obrázku O 3.3.2.-10 se v homogenním magnetickém poli o indukci $\vec{B}$ otáčí rovinný závit s konstantní úhlovou rychlostí ω . Indukční tok ϕ_m , který prochází plochou vymezenou závitěm, není konstantní. Jeho velikost se mění (v závislosti na čase). **Je tomu tak proto**, že se mění

- a) velikost indukce B
- b) směr vektoru indukce $\vec{B}$
- c) velikost plochy závitu S
- d) úhel α , který svírá vektor indukce $\vec{B}$ s normálou plochy $\vec{n}$



O 3.3.2.-10

ZTO 3.3.2.-10

Z mechaniky víte, že pro konstantní úhlovou rychlost ω platí

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

Otáčí-li se závit v homogenním magnetickém poli o indukci $\vec{B}$ konstantní úhlovou rychlostí ω , potom pro magnetický indukční tok ϕ_m , který prochází plochou S (vymezenou závitěm) **platí**

- a) $\phi_m = B \cdot S \sin \omega t$
- b) $\phi_m = B \cdot S \sin \omega / t$
- c) $\phi_m = B \cdot S \cos \omega t$
- d) $\phi_m = B \cdot S \cos \omega / t$

ZTO 3.3.2.-11

Název jednotky indukčního toku je.....

ZTO 3.3.2.-12

Indukční tok Φ_m je

- a) skalár
- b) vektor

ZTO 3.3.2.-13

Velikost magnetického indukčního toku Φ_m plochou $\vec{S}$ závisí

- a) na velikosti magnetické indukce
- b) na velikosti plochy S
- c) na $\sin\alpha$, kde α je úhel mezi vektorem indukce a normálou plochy
- d) na $\cos\alpha$, kde α je úhel mezi vektorem indukce a normálou plochy

ZU 3.3.2.-1

Vypočítejte magnetický indukční tok protékající plochou o obsahu 40 cm^2 , kolmou na indukční čáry, při magnetické indukci $1,1 \text{ T}$.

ZU 3.3.2.-2

Magnetická indukce homogenního pole je $1,8 \text{ T}$. Určete velikost magnetického indukčního toku procházejícího kruhovým závitem o průměru 12 cm , kolmým na magnetické indukční čáry.

ZU 3.3.2.-3

Jaká je magnetická indukce homogenního magnetického pole, jestliže kruhovým závitem s poloměrem $0,1 \text{ m}$ prochází indukční tok $4 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$. Závít je kolmý na indukční čáry.

ZU 3.3.2.-4

Vypočítejte magnetický indukční tok obdélníkovým závitem o rozměrech $0,1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$ v homogenním magnetickém poli o indukci 2 T . Rovina závitu svírá se směrem vektoru indukce úhel 30° .

BU 3.3.2.-5

Rovinná smyčka, jejíž vektor plochy $\vec{S} = (2\vec{i} + 2\vec{j}) \text{ m}^2$, se nachází v magnetickém poli indukce $\vec{B} = (3t\vec{i} + 2t^2\vec{j}) \cdot 10^{-3} \text{ T}$. Vypočítejte indukční tok Φ_m jdoucí plochou dané smyčky v čase $t = 2 \text{ s}$.

BU 3.3.2.-6

Drátěná smyčka plochy 10 cm^2 rotuje v homogenním magnetickém poli indukce $0,2 \text{ T}$ s frekvencí 10 Hz .

- a) Určete závislost indukčního toku, procházejícího plochou závitu, na čase.
- b) Vypočítejte maximální velikost indukčního toku, procházejícího plochou závitu

BU 3.3.2.-7

Vyjádřete jednotku indukčního toku – weber- pomocí základních jednotek soustavy SI.

3.3.3. POHYB NABITÉ ČÁSTICE V MAGNETICKÉM POLI

SHRNUTÍ



Částice (Q, m) , tedy nabitá částice hmotnosti m s nábojem Q , která se pohybuje rychlostí $\vec{v}$ v homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$, se může pohybovat :

- **rovnoměrným přímočarým pohybem.** Bude to v případě, když rychlost částice $\vec{v}$ je rovnoběžná s vektorem indukce $\vec{B}$.
- **rovnoměrným pohybem po kružnici.** Bude to v případě, kdy rychlost částice $\vec{v}$ je kolmá na vektor indukce $\vec{B}$. Síla, kterou magnetické pole působí na částici, působí jako dostředivá síla.

$$m \frac{v^2}{R} = Q \cdot v \cdot B$$

Z této rovnice můžeme vyjádřit poloměr kružnice R , respektive hmotnost částice m a dále periodu pohybu T nebo frekvenci f .

- **po šroubovici.** Bude to v případě, kdy rychlost částice $\vec{v}$ svírá s magnetickou indukcí $\vec{B}$ úhel α , pro který platí $0 < \alpha < \pi/2$.



ZTO 3.3.3.-1

Do homogenního magnetického pole indukce $\vec{B}$ vnikne částice (Q, m) rychlostí $\vec{v}$ tak, že vektor rychlosti $\vec{v}$ svírá s vektorem indukce $\vec{B}$ úhel α . **Kdy se bude částice** pohybovat v poli rovnoměrným přímočarým pohybem ?

a) vždy

b) nikdy

c) když $\alpha = 0^\circ$

d) když $\alpha = 90^\circ$

ZTO 3.3.3.-2

Do homogenního magnetického pole indukce $\vec{B}$ vnikne částice (Q, m) rychlostí $\vec{v}$ tak, že vektor rychlosti $\vec{v}$ svírá s vektorem indukce $\vec{B}$ úhel α . **Kdy se bude částice** pohybovat v poli po kružnici ?

a) vždy

b) nikdy

c) když $\alpha = 0^\circ$

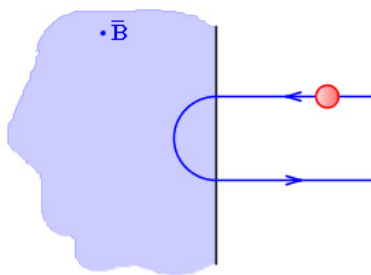
d) když $\alpha = 90^\circ$

ZTO 3.3.3.-3

Na obrázku [O 3.3.3.-9](#) vidíte nabitou částici, která vstupuje s rychlostí o velikosti v do homogenního magnetického pole o indukci $\vec{B}$ a pohybuje se v něm po půlkružnici. **Jaký náboj** má částice ?

a) kladný

b) záporný



O 3.3.3.-9

ZTO 3.3.3.-4

Na obrázku O 3.3.3.-9 vidíte nabitou částici, která vstupuje s rychlostí o velikosti v do homogenního magnetického pole o indukci $\vec{B}$ a pohybuje se v něm po půlkružnici. Částice opouští magnetické pole s rychlostí, která je

- a) rovna v
- b) menší než v
- c) větší než v

ZTO 3.3.3.-5

Elektron a proton vstupují se stejnou rychlostí do homogenního magnetického pole o indukci $\vec{B}$ a pohybují se v něm po kružnicích o poloměrech R_e (elektron) a R_p (proton) pro které platí:

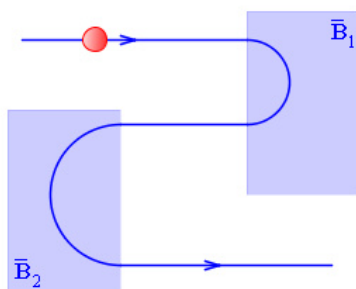
- a) $R_e > R_p$
- b) $R_e < R_p$
- c) $R_e = R_p$

ZTO 3.3.3.-6

Na obrázku O 3.3.3.-10 je stopa elektronu, který prolétá dvěma oblastmi homogenního magnetického pole s magnetickými indukcemi o velikostech B_1 a B_2 . Jeho trajektorie má v každé z oblastí tvar půlkružnice.

Které pole má větší magnetickou indukci ?

- a) $B_1 < B_2$
- b) $B_1 > B_2$
- c) ze zadání nelze určit



O 3.3.3.-10

ZTO 3.3.3.-7

Na obrázku O 3.3.3.-10 je stopa elektronu, který prolétá dvěma oblastmi homogenního magnetického pole s magnetickými indukcemi o velikostech B_1 a B_2 . Jeho trajektorie má v každé z oblastí tvar půlkružnice. Doba, po kterou se elektron

pohybuje v oblasti s indukcí B_1 je T_1 a doba, po kterou se pohybuje v oblasti s indukcí B_2 je T_2 . **Které tvrzení je správné?** Nejdříve si promyslete, zda dochází či nedochází ke změně rychlosti elektronu.

- a) $T_1 < T_2$
- b) $T_1 > T_2$
- c) $T_1 = T_2$

ZTO 3.3.3.-8

Poloměr kruhové trajektorie nabitě částice, která vltne do magnetického pole kolmo na směr magnetických indukčních čar **je**

- a) nepřímo úměrný náboji částice
- b) přímo úměrný hmotnosti částice
- c) nepřímo úměrný hmotnosti částice
- d) přímo úměrný rychlosti částice
- e) nepřímo úměrný magnetické indukci B

ZTO 3.3.3.-9

Na obrázku [O 3.3.3.-11](#) máte údaje o čtyřech částicích, které se pohybují v homogenním magnetickém poli. Všechny částice se pohybují tak, že vektor jejich rychlosti je kolmý na vektor indukce magnetického pole a pohybují se tedy všechny po kružnicích. **Seřadte částice** podle velikosti poloměrů a to **vzestupně** (od nejmenšího).

	<i>hmotnost</i>	<i>rychlost</i>	<i>náboj</i>	<i>indukce</i>	<i>poloměr</i>
1	m	v	Q	B	
2	2m	2v	Q	B	
3	m	4v	2Q	3B	
4	3m	2v	Q	2B	

[O 3.3.3.-11](#)

ZTO 3.3.3.-10

Nabitá částice (Q, m) vltla do magnetického pole indukce $\vec{B}$ rychlostí 10^5 m/s tak, že vektor její rychlosti je **rovnoběžný** s vektorem indukce. **Jakou dráhu** urazí částice v magnetickém poli za 5 ms? **s =**

- a) $5 \cdot 10^5$ m
- b) $2 \cdot 10^4$ m
- c) $5 \cdot 10^2$ m
- d) nejde řešit pro nedostatečné zadání

ZU 3.3.3.-1

V homogenním magnetickém poli o indukci 0,5 T obíhá po kružnici elektron rychlostí rovnou 10% rychlosti světla.

1. Vypočítejte dostředivou sílu, která působí na elektron.
2. Vypočítejte dostředivé zrychlení elektronu.
3. Vypočítejte kinetickou energii elektronu.
4. Vypočítejte poloměr kružnice, po níž se elektron pohybuje.

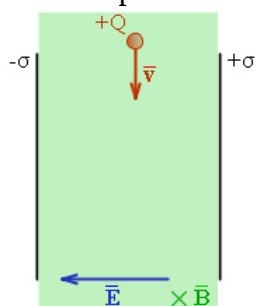
ZU 3.3.3.-2

Elektron má kinetickou energii 1,2 keV a pohybuje se po kružnici v rovině kolmé k vektoru magnetické indukce $\vec{B}$. Poloměr této kružnice je 25 cm. Určete:

1. velikost rychlosti elektronu
2. velikost magnetické indukce B pole
3. frekvenci otáčení
4. periodu otáčení.

BU 3.3.3.-3

Homogenní magnetické pole o indukci $B = 5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ a homogenní elektrické pole o intenzitě $E = 1 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ je realizováno tak, že vektor $\vec{B}$ je kolmý na vektor $\vec{E}$. Elektrony vstupují do tohoto zkříženého pole rychlostí v tak, že vektor jejich rychlosti $\vec{v}$ je kolmý k vektoru $\vec{B}$ i k vektoru $\vec{E}$. Prohlédněte si obrázek O 3.3.3.-6a. Orientace polí je zde nakreslena pro pohyb kladného protonu.



O 3.3.3.-6a

1. Vyjádřete obecně velikost síly F_e , kterou působí na elektrony **elektrické** pole.
2. Vyjádřete obecně velikost síly F_m , kterou působí na elektrony **magnetické** pole.
3. Vypočítejte rychlost elektronů za předpokladu, že nejsou vychýleny ze svého původního směru.
4. Jak musíte změnit O 3.3.3.-6a, aby zařízení fungovalo jako rychlostní filtr pro elektrony (mají záporný náboj).

ZU 3.3.3.-4

Uranové ionty s nábojem $3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ vstupují s rychlostí $4,04 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ do homogenního magnetického pole o indukci $B = 0,49 \text{ T}$. Zde se pohybují po půlkružnici o poloměru 1 m . Vypočítejte hmotnost iontů.

BU 3.3.3.-5

Najděte kinetickou energii protonu, který se pohybuje po kružnici poloměru R v magnetickém poli indukce B .

BU 3.3.3.-6

Elektron pohybující se rychlostí $4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ vlétne kolmo do homogenního magnetického pole indukce $1 \cdot 10^{-3} \text{ T}$. Vypočítejte tangenciální a normálové zrychlení elektronu.

BU 3.3.3.-7

Elektron, urychlený potenciálním rozdílem 1 kV , vlétne kolmo do homogenního magnetického pole o indukci $1,19 \text{ mT}$. Vypočítejte:

- a) poloměr dráhy elektronu
- b) dobu oběhu elektronu
- c) velikost momentu hybnosti elektronu.

BLP 3.3.3.-8

Jednomocné ionty izotopů draslíku 39 a 41 jsou urychleny stejným potenciálním rozdílem a vlétnou do homogenního magnetického pole kolmo k vektoru indukce. Jaký je poměr poloměrů jejich drah?

1) Oba ionty jsou jednomocné, jejich náboj je tedy identický a roven $Q = e$.

Jejich hmotnosti jsou m_1 a m_2 . Jaké rychlosti v_1 a v_2 získají ionty, projdou-li stejným potenciálním rozdílem? Vyjádřete jejich hybnosti

$$m_1 v_1 = ? \quad m_2 v_2 = ?$$

2) Vyjádřete poloměry R_1 a R_2 obou iontů a dosadte do něj výsledky, získané v předešlém kroku. Nyní už můžete odpovědět na otázku z textu. $\frac{R_1}{R_2} =$

BU 3.3.3.-9

Nabitá částice, která má energii 12 keV se pohybuje v magnetickém poli po kružnici o poloměru 4 cm rychlostí $1 \cdot 10^6$ m/s. Indukce pole má velikost 0,3 T. Najděte náboj částice.

BLP 3.3.3.-10

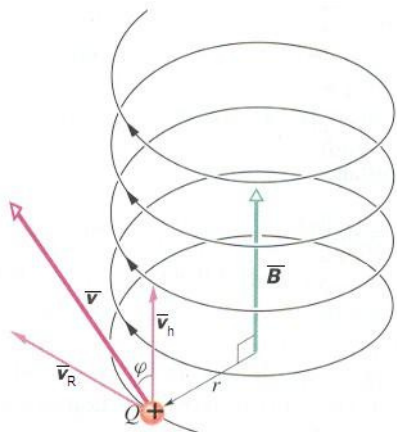
Elektron urychlený potenciálním rozdílem 6 kV vlétne do homogenního magnetického pole pod úhlem 30° ke směru indukce a pohybuje se po šroubovici. Najděte její poloměr a stoupání, je-li velikost indukce magnetického pole $2,6 \cdot 10^{-4}$ T.

1) Nejdříve vyřešte rychlost v se kterou elektron vstupuje do pole.

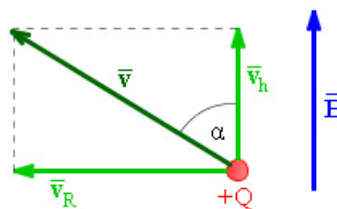
$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = eU$$

2) A nyní se znovu podívejte na vztah $F_m = Q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$.

- Pokud je úhel $\alpha = 90^\circ$ částice se pohybuje v jedné rovině po **kružnici** s poloměrem R .
- Pokud je úhel $\alpha = 0^\circ$ částice se pohybuje po **přímce** rovnoměrným přímočarým pohybem.
- Pokud částice vlétne do magnetického pole pod obecným úhlem α , pohybuje se po **šroubovici**, jak vidíte na obrázku O 3.3.3.-5b (na obrázku se pohybuje $+Q$ a diskutovaný úhel je označen φ). Pohyb po šroubovici vzniká složením dvou pohybů: kruhového a rovnoměrného přímočarého.



O 3.3.3.-5b



O 3.3.3.-5a

3) Rychlost $\vec{v}$ rozložíme do dvou složek (obrázek O 3.3.3.-5a). Složka $\vec{v}_R$ bude určovat poloměr kružnice a složka $\vec{v}_h$ stoupání. Velikost těchto složek je:

$$v_R = v \cdot \sin \alpha$$

$$v_h = v \cdot \cos \alpha$$

Stoupání h určíte jako dráhu rovnoměrného přímočarého pohybu za dobu jedné periody T .
Periodu T vypočítáte ze složky rychlosti v_R .

$$v = 4,59 \cdot 10^7 \text{ m/s} \quad R = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad T = 2,7 \cdot 10^{-9} \text{ s} \quad h = 11 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

3.3.4. SÍLY PŮSOBÍCÍ NA VODIČ V MAGNETICKÉM POLI



SHRNUTÍ

Na přímý vodič délky L s proudem I , který se nachází v homogenním magnetickém poli o indukci $\vec{B}$, působí **Ampérova síla**.

Její **velikost** závisí - na délce vodiče L

- na proudu I

- na velikosti indukce B

- na úhlu, který svírá vodič s vektorem $\vec{B}$

$$F_m = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha$$

Vektor síly $\vec{F}_m$ zapíšeme takto

$$\vec{F}_m = I(\vec{L} \times \vec{B})$$

Na element vodiče dL působí síla

$$d\vec{F}_m = I(d\vec{L} \times \vec{B})$$

Pokud je vodič kolmý na vektor indukce $\vec{B}$, tj. pro $\alpha = 90^\circ$ ($\sin 90^\circ = 1$), maximální velikost síly je

$$F_m(\max) = B \cdot I \cdot L$$

Pro velikost magnetické indukce plyne

$$B = \frac{F_m(\max)}{I \cdot L}$$

Směr Ampérovy síly určíme Flemingovým pravidlem levé ruky.

Na smyčce s proudem I působí magnetické pole o indukci $\vec{B}$ momentem síly, pro jehož velikost platí vztah

$$M = B \cdot I \cdot S \cdot \sin \beta$$

Otáčivý účinek magnetického pole na smyčce závisí na

- velikosti magnetické indukce B
- proudu I , který smyčkou prochází
- na velikosti plochy smyčky S

Velikost momentu síly M závisí také na okamžité poloze smyčky v magnetickém poli, tj na úhlu β , který svírá normála plochy smyčky s vektorem $\vec{B}$. Pokud umístíme do magnetického pole cívku, která má N závitů uvedených parametrů, potom velikost momentu síly je

$$M = N \cdot B \cdot I \cdot S \cdot \sin \beta$$



ZTO 3.3.4.-1

V homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$ se nachází vodič délky L , kterým prochází proud I . Vodič je rovnoběžný s indukčními čarami. Jak velkou silou působí magnetické pole na tento vodič s proudem ?

$F =$

ZTO 3.3.4.-2

V homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$ se nachází vodič délky L , kterým prochází proud I . Vodič je kolmý k indukčním čarám. Jak velkou silou působí magnetické pole na tento vodič s proudem ?

$F =$

ZTO 3.3.4.-3

V homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$ se nachází vodič délky L , kterým prochází proud I . Vodič svírá s vektorem $\vec{B}$ úhel α . **Ve kterém případě** působí magnetické pole na vodič **největší** silou ?

- a) když $\alpha = 0^\circ$
- b) když $\alpha = 45^\circ$
- c) když $\alpha = 90^\circ$

ZTO 3.3.4.-4

Vodič délky L , kterým prochází proud I je umístěn do homogenního magnetického pole, kolmo k vektoru indukce $\vec{B}$. Magnetické pole působí na vodič silou $F = 2 \text{ N}$. **Jak velkou silou** bude působit magnetické pole na tento vodič, zvětší-li se velikost jeho indukce 3krát ? $F =$

ZTO 3.3.4.-5

Tři rovnoběžné vodiče jsou umístěny v homogenním magnetickém poli. Délky vodičů a proudy, které jimi prochází jsou uvedeny v následující tabulce:

vodič	délka (m)	proud (A)
1.	0,5	3
2.	1	2
3.	2	5

Na který vodič působí magnetické pole **nejmenší** silou ?

- a) na 1. vodič
- b) na 2. vodič
- c) na 3. vodič
- d) na všechny působí stejně velkou silou

ZTO 3.3.4.-6

V homogenním magnetickém poli jsou umístěny tři rovnoběžné vodiče stejné délky.

1. vodičem prochází proud $I_1 = 2 \text{ A}$
2. vodičem prochází proud $I_2 = 10 \text{ A}$
3. vodičem prochází proud $I_3 = 1 \text{ A}$

Na který vodič působí magnetické pole největší silou ?

- a) na první
- b) na druhý
- c) na třetí
- d) na všechny působí stejně velkou silou

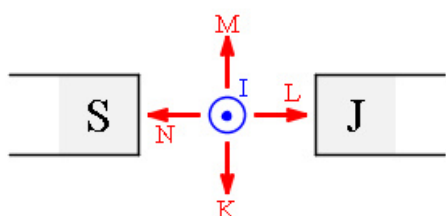
ZTO 3.3.4.-7

Na obrázku O 3.3.4.-5 je umístěn přímý vodič v homogenním magnetickém poli.

Vodičem prochází proud I , jehož směr je kolmý k rovině obrázku a míří na vás.

Vodič je vytlačován směrem

- a) K
- b) L
- c) M
- d) N



O 3.3.4.-5

ZU 3.3.4.-1

Přímý vodič délky 0,4 m je umístěn v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci 0,08 T. Vodičem prochází proud 2 A.

- a) Jak velká magnetická síla působí na vodič, je-li kolmý ke směru indukčních čar ?
- b) Jak velká magnetická síla působí na vodič, svírá-li se směrem indukčních čar úhel 30° ?

ZU 3.3.4.-2

Na přímý vodič o délce 0,5 m, vložený do homogenního magnetického pole s magnetickou indukci o velikosti 0,02 T kolmo k indukčním čarám, působí síla o velikosti 0,1 N. Vypočítejte proud procházející vodičem.

ZU 3.3.4.-3

Přímý vodič o délce 0,4 m, kterým prochází proud 21 A, leží v homogenním magnetickém poli s magnetickou indukci o velikosti 1,2 T v poloze kolmé k indukčním čarám. Vypočítejte práci, kterou musíme vykonat při posunutí vodiče po dráze 25 cm ve směru kolmém k indukčním čarám.

BU 3.3.4.-4

Částice s nábojem Q se pohybuje po kružnici o poloměru R rychlostí o velikosti v . Považujte její kruhovou dráhu za proudovou smyčku, kterou protéká stálý proud $I = Q/T$, kde T je doba oběhu. Určete maximální moment sil, kterým působí na smyčku homogenní magnetické pole o indukci B .

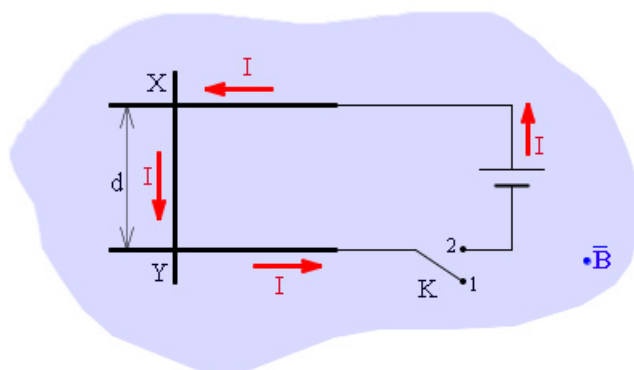
Řešte obecně pomocí Q (náboj částice), v (rychlost částice), R (poloměr kružnice), B (velikost indukce magnetického pole).

ZU 3.3.4.-5

Mezi póly magnetu je homogenní magnetické pole indukce 0,1 T. V poli je umístěn vodič délky 70 cm tak, že je kolmý k indukčním čarám. Vodičem prochází proud 70 A. Jakou silou působí pole na vodič?

BU 3.3.4.-6

Kovový vodič XY může klouzat bez tření po dvou vodorovných kolejnicích, které jsou ve vzdálenosti d , jak vidíte na obrázku O 3.3.4.-3.



O 3.3.4.-3

Druhý rozměr obdélníkového obvodu je b . Celá soustava je v homogenním magnetickém poli o indukci $\vec{B}$. Její směr vidíte na obrázku

(míří na vás). V obvodu je zapojen zdroj. Pokud je klíč K v poloze 1, neprochází obvodem proud a v obvodu se nic neděje. Pokud zapneme klíč K do polohy 2, prochází obvodem stejnosměrný proud I a kovový vodič délky d začne klouzat po kolejnicích (v našem případě doleva).

- 1) Pokud je klíč K v poloze 1 vodič XY je v klidu. Jaký indukční tok protíná plochou obvodu?
- 2) S jakým zrychlením se bude pohybovat vodič XY pokud je klíč K v poloze 2? Hmotnost vodiče XY je m , tření neuvažujte.
3. Jakou práci vykoná síla F_m posune-li se vodič XY po dráze s ?

BU 3.3.4.-7

Cívka galvanometru má 400 závitů, které jsou vinuty na pravoúhlé kostře o rozměrech 3 cm x 2 cm. Cívka je zavěšena na vláknech v homogenním magnetickém poli indukce 0,1 T a prochází jí proud $1 \cdot 10^{-7}$ A. Vypočítejte maximální velikost momentu sil, kterým pole působí na cívku. Vypočítejte tento moment v případě, že rovina cívky svírá s vektorem indukce úhel 60° .

BU 3.3.4.-8

Uvažujte cívku, která má 100 závitů průřezu $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ v homogenním magnetickém poli indukce 1 T. Stanovte práci potřebnou k otočení této cívky z polohy, ve které je osa cívky rovnoběžná se směrem indukce do polohy, ve které je osa cívky kolmá na indukci. Cívkou protéká proud 10 A.

3.4. VZNIK MAGNETICKÉHO POLE

3.4.1. MAGNETICKÉ POLE ELEKTRICKÉHO PROUDU



SHRNUTÍ

Pohybující se elektricky nabitě částice vytvářejí ve svém okolí magnetické pole. Elektrický proud a jeho magnetické pole existují vždy současně. Indukce $\vec{B}$ magnetického pole vodiče s proudem závisí na - **proudu**, který vodičem prochází

- **tvaru** vodiče
- **poloze** zkoumaného bodu.

Magnetické pole **přímého dlouhého vodiče** lze charakterizovat takto:

velikost magnetické indukce ve vzdálenosti R od vodiče, kterým prochází proud I je

$$B = \mu_o \frac{I}{2\pi \cdot R}$$

Indukční čáry jsou soustředné kružnice se středem ve vodiči. Jejich orientaci a tím taky **směr** indukce určíme pomocí pravidla pravé ruky.

Dva dlouhé rovnoběžné vodiče s proudem I_1 a I_2 působí na sebe vzájemnou silou

$$F_m = \mu_o \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot R} L$$

Z tohoto vzájemného silového působení dvou vodičů, kterými prochází proud, definujeme jednotku proudu – ampér.

Magnetické pole **cívky s proudem** lze charakterizovat takto:

Velikost magnetické indukce v dutině dlouhé cívky je

$$B = \mu_o \frac{N \cdot I}{l}$$

Směr indukce určíme pomocí pravidla pravé ruky.

Magnetické pole uvnitř solenoidu můžeme považovat za homogenní, magnetické pole vně solenoidu je slabé.

Velikost magnetické indukce ve **středu kruhového oblouku** vodiče se středovým úhlem φ_o a poloměrem R , kterým protéká proud I je

$$B = \frac{\mu_o I \varphi_o}{4\pi R}$$

Magnetické pole vodiče kterým protéká elektrický proud, můžeme určit použitím **Biotova – Savartova zákona**

$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}_o}{r^2}$$

$d\vec{B}$ je magnetická indukce vytvořená elementem vodiče $d\vec{s}$, kterým prochází proud I ve vzdálenosti r od bodu, v němž určíme magnetickou indukci.

Vztah mezi elektrickým proudem a magnetickou indukcí vyjadřuje vedle Biotova – Savartova zákona také **Ampérův zákon**

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_c$$

Křivkový integrál počítáme podél uzavřené orientované křivky (Ampérova křivka). Proud I_c je celkový elektrický proud, který prochází plochou, jejíž konturou je tato uzavřená křivka.



ZTO 3.4.1.-1

Kolem vodiče **vzniká** magnetické pole

- jen v případě, že vodičem prochází střídavý proud
- jen v případě, že vodičem prochází stejnosměrný proud
- vždy, když vodičem prochází proud, bez ohledu na to jaký

ZTO 3.4.1.-2

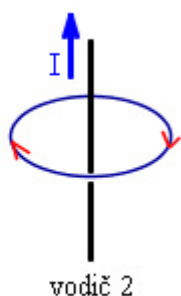
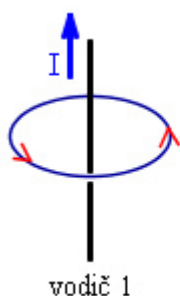
Magnetické indukční čáry, charakterizující magnetické pole přímého dlouhého vodiče s proudem I , **jsou**

- přímky, rovnoběžné s vodičem
- soustředné kružnice se středem ve vodiči
- uzavřené křivky, které začínají na jednom konci vodiče a končí na druhém konci

ZTO 3.4.1.-3

Na obrázku O 3.4.1.-17 jsou nakresleny dva vodiče s proudem I . U **kterého vodiče** je nakreslena správně orientace indukční čáky?

- u vodiče 1
- u vodiče 2

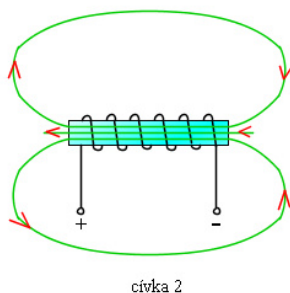
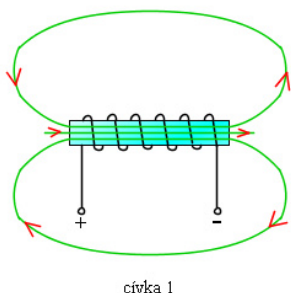


O 3.4.1.-17

ZTO 3.4.1.-4

Na obrázku O 3.4.1.-18 jsou nakresleny dvě cívky s proudem I . U **které cívky** je nakreslena správně orientace indukčních čar?

- u cívky 1
- u cívky 2



O 3.4.1.-18

ZTO 3.4.1.-5

Dlouhý přímý vodič zanedbatelného průřezu ve vakuu, kterým prochází proud I , vytváří ve vzdálenosti d od vodiče magnetické pole indukce B . Jaká je indukce B_1 tohoto pole ve vzdálenosti $2.d$ od vodiče (za jinak stejných podmínek)? $B_1 =$

- a) $2.B$
- b) $4.B$
- c) $B/2$
- d) $B/4$
- e) B

ZTO 3.4.1.-6

Dlouhý přímý vodič zanedbatelného průřezu ve vakuu, kterým prochází proud I , vytváří ve vzdálenosti d od vodiče magnetické pole indukce B . Jaká je indukce B_1 tohoto pole, procházeli vodičem proud $2.I$ (za jinak stejných podmínek)? $B_1 =$

- a) $2.B$
- b) $4.B$
- c) $B/2$
- d) $B/4$
- e) B

ZTO 3.4.1.-7

Má-li cívka N závitů, kterými prochází proud I , vzniká v dutině cívky magnetické pole indukce B . Má-li tato cívka $2.N$ závitů (za jinak stejných podmínek), bude velikost magnetické indukce $B_1 =$

- a) $2.B$
- b) $4.B$
- c) $B/2$
- d) $B/4$
- e) B

ZTO 3.4.1.-8

Má-li cívka N závitů, kterými prochází proud I , vzniká v dutině cívky magnetické pole indukce B . Má-li tato cívka $2.N$ závitů, kterými prochází proud $2.I$ (za jinak stejných podmínek), bude velikost magnetické indukce $B_1 =$

- a) $2.B$
- b) $4.B$
- c) $B/2$
- d) $B/4$
- e) B

ZTO 3.4.1.-9

Dva rovnoběžné vodiče, kterými procházejí proudy I_1 a I_2

- a) se vždy přitahují
- b) se vždy odpuzují
- c) na sebe působí dvěma silami, které jsou stejně velké ale opačného směru a proto se vyruší
- d) se buď přitahují (směr proudů je souhlasný) nebo odpuzují (směr proudů je nesouhlasný)
- e) se buď přitahují (směr proudů je nesouhlasný) nebo odpuzují (směr proudů je souhlasný)

ZTO 3.4.1.-10

Uvažujte dva přímé nekonečně dlouhé rovnoběžné vodiče umístěné ve vakuu ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Wb/A.m) ve vzdálenosti 1 m od sebe. Prochází-li oběma vodiči stejný proud $I = 1$ A, pak jeden vodič působí na 1 m délky druhého vodiče silou $F =$

- a) 1 N
- b) $4\pi \cdot 10^{-7}$ N
- c) $2 \cdot 10^{-7}$ N
- d) $4 \cdot 10^{-7}$ N

ZTO 3.4.1.-11

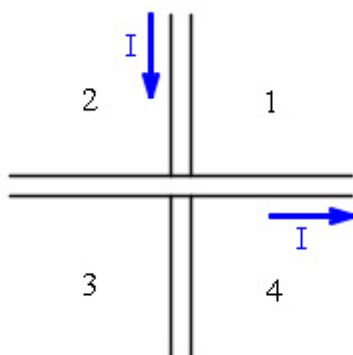
Vycházejte z definice ampéru a určete jakou silou na sebe působí dva vodiče v případě, že jimi prochází proud $I_1 = I_2 = 2$ A. $F =$

- a) 2 N
- b) $16\pi \cdot 10^{-7}$ N
- c) 4 N
- d) $8 \cdot 10^{-7}$ N

ZTO 3.4.1.-12

Na obrázku O 3.4.1.-19 jsou dva dlouhé přímé vodiče s proudem I , které se těsně kolmo míjejí, aniž se dotýkají. Ve kterém kvadrantu existují body, v nichž je výsledná magnetická indukce rovna nule?

- a) kvadrant 1
- b) kvadrant 2
- c) kvadrant 3
- d) kvadrant 4

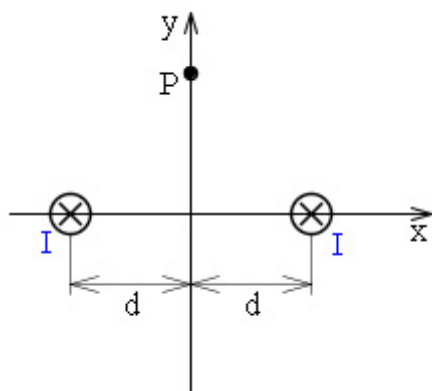


O 3.4.1.-19

ZTO 3.4.1.-13

Na obrázku O 3.4.1.-20 jsou dva dlouhé přímé vodiče kolmé k rovině obrázku. Vodiči prochází stejný proud směrem do obrázku. Určete směr výsledné magnetické indukce v bodě P.

- a) +x
- b) -x
- c) +y
- d) -y

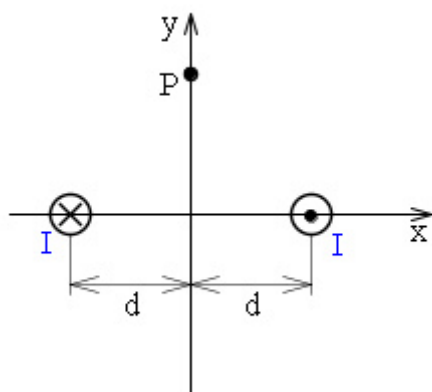


O 3.4.1.-20

ZTO 3.4.1.-14

Na obrázku O 3.4.1.-21 jsou dva dlouhé přímé vodiče kolmé k rovině obrázku. Vodiči prochází stejný proud. Jeden směrem k vám, druhý směrem od vás. Určete směr výsledné magnetické indukce v bodě P.

- a) $+x$
- b) $-x$
- c) $+y$
- d) $-y$



O 3.4.1.-21

ZTO 3.4.1.-15

Dráty trolejbusového vedení se navzájem odpuzují. Co lze říci o směru proudu v obou vodičích? Směry proudu v obou vodičích jsou:

- a) souhlasné
- b) nesouhlasné

ZTO 3.4.1.-16

Nekonečně dlouhý přímý vodič zanedbatelného průřezu ve vakuu, kterým pochází proud I , vytváří ve vzdálenosti d magnetické pole indukce B . Na obrázku O 3.4.1.-22 vidíte údaje pro čtyři vodiče. Seřadte vodiče podle velikosti indukce magnetického pole sestupně (od největší).

<i>vodič</i>	<i>proud</i>	<i>vzdálenost</i>	<i>indukce</i>
1	I	d	B
2	$2I$	$3d$	
3	$I/2$	d	
4	I	$d/3$	

O 3.4.1.-22

ZTO 3.4.1.-17

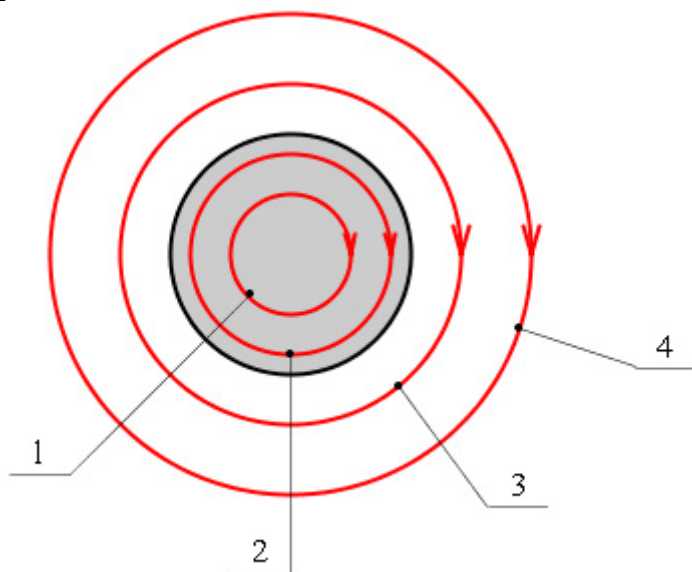
Dlouhá cívka délky l má N závitů, kterými prochází proud I . V dutině cívky vzniká homogenní magnetické pole indukce B . Na obrázku O 3.4.1.-23 vidíte údaje pro čtyři cívky. **Seřaďte** tyto cívky podle velikosti indukce **vzestupně** (od nejmenší).

<i>cívka</i>	<i>proud</i>	<i>délka</i>	<i>počet závitů</i>	<i>indukce</i>
1	I	l	N	B
2	$2I$	$4l$	$10N$	
3	I	$2l$	N	
4	$I/2$	l	$20N$	

O 3.4.1.-23

BTO 3.4.1.-18

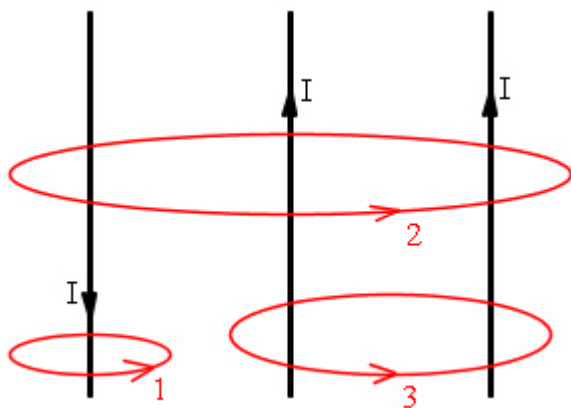
Na obrázku O 3.4.1.-24 jsou čtyři Ampérovovy křivky 1, 2, 3, 4. Válcovým vodičem prochází elektrický proud kolmo k obrázku směrem k vám. Proudová hustota je v celém kruhovém průřezu vodiče konstantní. **Seřaďte** tyto křivky **sestupně** podle velikosti integrálu $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ podél každé z nich.



O 3.4.1.-24

BTO 3.4.1.-19

Na obrázku O 3.4.1.-25 jsou tři rovnoběžné vodiče se stejně velkými proudy I a tři Ampérovy křivky. **Seřaďte** křivky **sestupně** podle velikosti $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ podél každé z nich.



O 3.4.1.-25

ZTO 3.4.1.-20

Uvažujte dvě cívky následujících vlastností:

1. cívka $n_1 = 10$ závitů/cm $I_1 = 5$ A v dutině je indukce B_1
2. cívka $n_2 = 1000$ závitů/m $I_2 = 0,5$ A v dutině je indukce B_2

Co platí o velikostech indukcí B_1 a B_2 ?

- a) $B_1 = B_2$
- b) $B_1 < B_2$
- c) $B_1 > B_2$
- d) nelze rozhodnout, neznáme délku cívky

ZTO 3.4.1.-21

Uvažujte dvě cívky následujících vlastností:

1. cívka $n_1 = 10$ závitů/cm $I_1 = 5$ A v dutině je indukce B_1 dutinou prochází tok Φ_{m1}
2. cívka $n_2 = 1000$ závitů/m $I_2 = 0,5$ A v dutině je indukce B_2 dutinou prochází tok Φ_{m2}

Co platí o velikostech indukčních toků Φ_{m1} a Φ_{m2} ?

- a) $\Phi_{m1} = \Phi_{m2}$
- b) $\Phi_{m1} < \Phi_{m2}$
- c) $\Phi_{m1} > \Phi_{m2}$
- d) nelze rozhodnout, neznáme průřez závitů

ZTO 3.4.1.-22

Uvažujte dva přímé dlouhé rovnoběžné vodiče, zanedbatelného průřezu umístěné ve vakuu. Prochází-li vodiči proud 1 A, pak jeden vodič působí na 1m délky druhého vodiče silou $2 \cdot 10^{-7}$ N. **Jak velkou** silou budou vodiče na sebe působit, prochází-li jimi proud 3 A za jinak stejných podmínek?

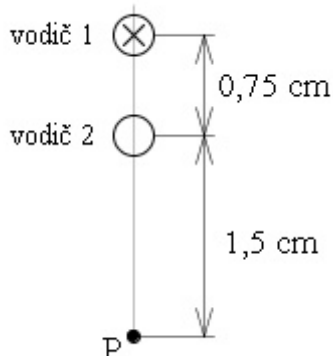
- a) $6 \cdot 10^{-7}$ N
- b) $9 \cdot 10^{-7}$ N
- c) $18 \cdot 10^{-7}$ N
- d) $12 \cdot 10^{-7}$ N

ZU 3.4.1.-1

Velikost magnetické indukce v bodě vzdáleném 88 cm od osy dlouhého přímého vodiče je $7,3 \mu\text{T}$. Jak velký proud prochází vodičem?

ZU 3.4.1.-2

Dva dlouhé přímé rovnoběžné vodiče vzdálené od sebe 0,75 cm leží kolmo k rovině obrázku O 3.4.1.-15. Vodičem 1 prochází proud 6,5 A do obrázku. Jaký musí být proud (velikost a směr) ve vodiči 2, aby výsledné magnetické pole v bodě P bylo nulové?



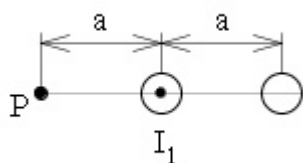
O 3.4.1.-15

ZU 3.4.1.-3

Dva dlouhé přímé rovnoběžné vodiče leží kolmo k rovině obrázku O 3.4.1.-16. levým vodičem prochází proud I_1 směrem k nám. Jestliže víte, že výsledná magnetická indukce vytvořená oběma proudy je v bodě P rovna nule, odpovězte na otázky.

a) Jaký směr musí mít proud I_2 ve druhém vodiči?

b) Jaký je poměr proudů I_2 / I_1 ?



O 3.4.1.-16

BU 3.4.1.-4

Částice, která má náboj Q se pohybuje konstantní rychlostí v rovnoběžně s přímým dlouhým vodičem ve vzdálenosti r od něho. Jak velká síla působí na náboj, prochází-li vodičem proud I ?

$$F_m = \mu_o \frac{I \cdot Q \cdot v}{2\pi \cdot r}$$

ZU 3.4.1.-5

Dvěma dlouhými přímými rovnoběžnými vodiči, umístěnými ve vakuu ve vzájemné vzdálenosti 1 m, procházejí proudy $I_1 = 1$ A, $I_2 = 2$ A. Vypočtěte velikost síly, která působí na jednotku délky každého vodiče.

ZU 3.4.1.-6

Kabel má délku 4 m a je tvořen dvěma měděnými vodiči vzdálenými 3 mm. Spotřebičem k němu připojeným prochází proud 40 A. Určete

a) zda se vodiče přitahují, nebo odpuzují

b) velikost síly, kterou na sebe vodiče působí v prostředí, jehož relativní permeabilita je 1.

ZU 3.4.1.-7

Dlouhou cívkou, která má 100 závitů na centimetr prochází proud 0,2 A. Vypočítejte indukci magnetického pole uvnitř cívky.

ZU 3.4.1.-8

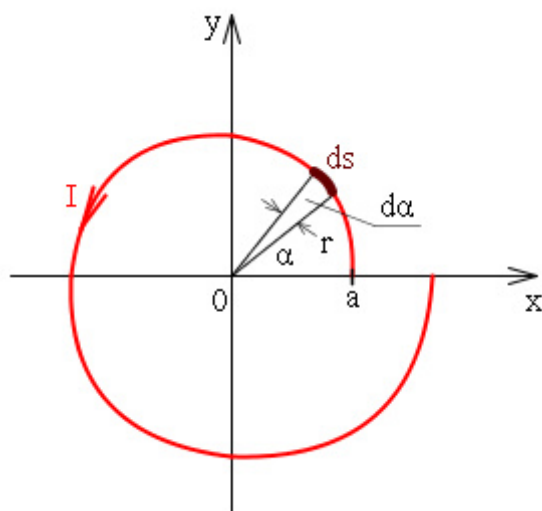
Máme navinout solenoid tak, aby při proudu 4,3 A byla velikost magnetické indukce v dutině solenoidu alespoň 8,2 mT. Vypočítejte potřebnou hustotu závitů.

ZU 3.4.1.-9

Dlouhým solenoidem s hustotou 100 závitů na centimetr prochází proud I . Elektron se pohybuje uvnitř solenoidu po kružnici o poloměru 2,3 cm kolmo na osu solenoidu. Rychlost elektronu je 0,046 c (c je rychlost světla). Určete velikost elektrického proudu, který prochází solenoidem.

BŘU 3.4.1.-10

Spirála, kterou vidíte na obrázku O 3.4.1.-26 má rovnici je $r = a \cdot e^{b \cdot \alpha}$, kde $0 \leq \alpha \leq 2\pi$. Spirálou prochází proud I . Najděte velikost indukce magnetického pole v bodě O.



O 3.4.1.-26

Řešení:

Vyjdeme ze vztahu $d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}_o}{r^2}$. Na křivce si zvolíme element ds , kterému přísluší úhel

$d\alpha$. Platí $ds = r \cdot d\alpha$. Uvedený vztah definuje vektor $d\vec{B}$, velikost tohoto vektoru je

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} I \frac{ds}{r^2} \quad \text{protože} \quad \text{-velikost vektoru } d\vec{s} \text{ je } ds$$

- velikost jednotkového vektoru $|\vec{r}_o| = 1$

-vektor $d\vec{s}$ je kolmý na jednotkový vektor $\vec{r}_o$

Pokud dosadíme za ds a r dostaneme:

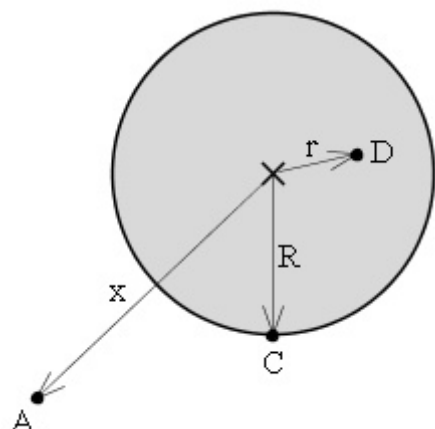
$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I}{a} e^{-b\alpha} d\alpha$$

$$B = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I}{a} \int_0^{2\pi} e^{-b\alpha} d\alpha \Rightarrow$$

$$B = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{I}{a \cdot b} (1 - e^{-2\pi b})$$

BU 3.4.1.-11

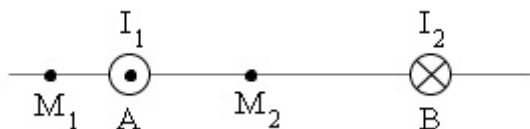
Uvažujte přímý hodně dlouhý (teoreticky nekonečně dlouhý) vodič poloměru R , kterým prochází proud I . Určete indukci magnetického pole v bodech A, C, D. Úlohu řešte za předpokladu, že hustota proudu ve vodiči je konstantní. Na obrázku O 3.4.1.-27 vidíte příčný řez zkoumaného vodiče.



O 3.4.1.-27

ZU 3.4.1.-12

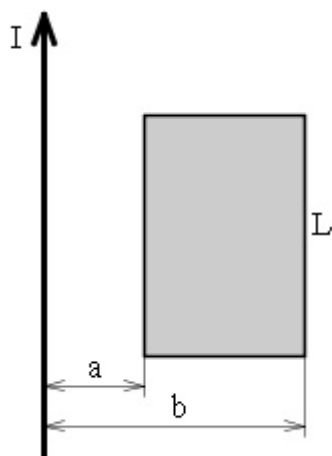
Na obrázku O 3.4.1.- 29 jsou dva dlouhé rovnoběžné vodiče, kterými prochází proud $I_1 = 20$ A a $I_2 = 30$ A, vzdálenosti $M_1A = 2$ cm, $AM_2 = 4$ cm, $AB = 10$ cm. Vypočítejte indukci magnetického pole v bodech M_1 a M_2 . Ve výsledku nedosazujte μ_0 a π .



O 3.4.1.- 29

BU 3.4.1.-13

Dlouhým přímým vodičem prochází proud I . Určete magnetický indukční tok jdoucí plochou S obdélníka na obrázku O 3.4.1.-30a Strana L obdélníka je rovnoběžná s vodičem.



O 3.4.1.-30a

BU 3.4.1.-14

Kruhovým závitem prochází proud I . Ve středu závitu je magnetické pole indukce B , napětí na koncích závitu je U . Jak je třeba změnit toto napětí, aby magnetická indukce ve středu závitu zůstala stejná při dvojnásobném poloměru závitu?

BU 3.4.1.-15

Dva kruhové závity poloměru R leží ve vzájemně kolmých rovinách tak, že jejich středy jsou totožné. Oběma závity prochází stejný proud I . Určete indukci magnetického pole ve středu těchto závitů.

ZU 3.4.1.-16

Jaký poloměr musí mít válcová cívka vinutá drátem o průměru $d = 1,2$ mm závit vedle závitu, aby při proudu 2 A byl magnetický indukční tok cívkou $3 \cdot 10^{-6}$ Wb? Uvnitř cívky předpokládejte homogenní pole.

BU 3.4.1.-17

Uvažujte dva přímé rovnoběžné vodiče ve vakuu, které jsou ve vzdálenosti $0,1$ m od sebe. Vodiči prochází proud $I_1 = 20$ A, $I_2 = 30$ A. Jaká práce musí být vykonána (na 1 m délky vodiče) aby vzdálenost vodičů se zvětšila na $0,2$ m?

3.4.2. MAGNETICKÉ POLE LÁTEK**SHRNUTÍ**

Magnetické pole látky má původ v magnetických vlastnostech atomů. Elementární částice s nábojem, ze kterých se skládá atom (zejména elektrony), mají kolem sebe magnetické pole. Tato magnetická pole se skládají tak, že

- vytvářejí navenek výrazné magnetické pole (feromagnetické látky)
- se vyruší a žádné výraznější magnetické pole jako výsledek nevznikne (paramagnetické a diamagnetické látky).

Velikost magnetické indukce B_0 uvnitř solenoidu můžeme ovlivnit vložením jádra do jeho dutiny.

Výsledná velikost indukce v dutině solenoidu bude

$$B = \mu_r \cdot B_0$$

kde μ_r je **relativní permeabilita**. Je to bezrozměrné číslo, pro vakuum (a přibližně pro vzduch) je

$$\mu_r = 1.$$

Látky, pro které je

$$\mu_r < 1 \quad \text{jsou } \mathbf{diamagnetické} \quad B < B_0$$

$$\mu_r > 1 \quad \text{jsou } \mathbf{paramagnetické} \quad B > B_0$$

$$\mu_r \gg 1 \quad \text{jsou } \mathbf{feromagnetické} \quad B \gg B_0$$

Diamagnetická látka umístěná do vnějšího magnetického pole způsobí mírné zeslabení indukce tohoto vnějšího magnetického pole.

Paramagnetická látka umístěná do vnějšího magnetického pole způsobí mírné zesílení indukce tohoto vnějšího magnetického pole.

Feromagnetická látka (charakterizována doménovou strukturou) umístěná do vnějšího magnetického pole způsobí značné zesílení indukce tohoto vnějšího magnetického pole.

Diamagnetismus a paramagnetismus zmizí jestliže vnější pole odstraníme. Magnetické pole feromagnetické látky částečně zůstává, i když vnější magnetické pole odstraníme. Tento jev se nazývá **hystereze**. Velikost **remanentní magnetické indukce** je důležitá pro posuzování magneticky tvrdých a měkkých materiálů. Přesáhne-li teplota feromagnetického vzorku jeho Curieovu teplotu, vzorek vykazuje pouze paramagnetismus.



ZTO 3.4.2.-1

Vyberte správnou odpověď: relativní permeabilita μ_r

- a) je vždy větší než 1
- b) je vždy menší než jedna
- c) může být menší než 1, větší než jedna, nebo hodně větší než 1

ZTO 3.4.2.-2

Pro magnetické vlastnosti látek **platí** následující tvrzení:

- a) diamagnetické látky mírně zesilují vnější magnetické pole
- b) feromagnetické látky silně zesilují vnější magnetické pole
- c) ferity jsou diamagnetické látky tvořené sloučeninami oxidu železa
- d) remanentní magnetická indukce charakterizuje magnetické pole permanentních magnetů

ZTO 3.4.2.-3

Do které skupiny patří ferity? **Jsou to látky:**

- a) diamagnetické
- b) paramagnetické
- c) feromagnetické

ZTO 3.4.2.-4

Má tekuté železo feromagnetické vlastnosti?

- a) ano
- b) ne

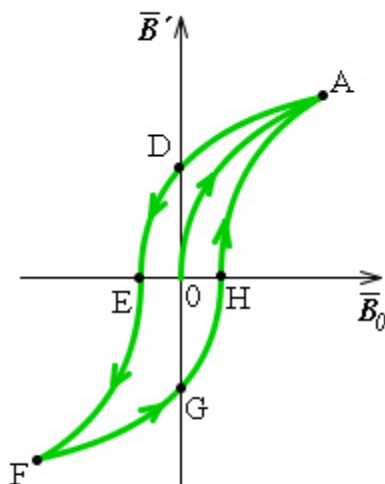
ZTO 3.4.2.-5

Magnetická indukce cívky se vzduchovým jádrem je 0,05 T. magnetická indukce této cívky s jádrem o permeabilitě μ_r (za jinak stejných podmínek) je 5 T. Jaká je relativní permeabilita jádra? $\mu_r =$

ZTO 3.4.2.-6

Na obrázku [O 3.4.2.-2](#) je hysterezní smyčka. Určete velikost magnetické remanence. Je to:

- a) délka úsečky OH
- b) délka úsečky OE
- c) délka úsečky OD
- d) délka úsečky OG



O 3.4.2.-2

ZU 3.4.2.-1

Cívka s jádrem délky l má N závitů, kterými protéká proud I . Jaký proud I_1 musí protékat cívkou, aby při odstranění jádra zůstala indukce v cívce stejná?

3.5. ELEKTROMAGNETICKÁ INDUKCE

3.5.1. FARADAYŮV ZÁKON ELEKTROMAGNETICKÉ INDUKCE



SHRNUTÍ

Mění-li se v čase magnetický indukční tok Φ_m plochou ohraničenou uzavřenou vodivou smyčkou, vzniká ve smyčce elektromotorické napětí a smyčkou bude procházet elektrický proud. Tento děj se nazývá **elektromagnetická indukce**.

Podle Faradayova zákona pro indukované elektromotorické napětí platí

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

Tento vztah lze použít v případě, že změna indukčního toku Φ_m je rovnoměrná.

Pokud tato podmínka není splněna je okamžité indukované elektromotorické napětí

$$U_i = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

můžeme pokračovat

$$U_i = - \frac{d(\vec{B} \cdot \vec{S})}{dt} = - \frac{d(B \cdot S \cdot \cos \alpha)}{dt}$$

Nahradíme-li smyčku hustě navinutou cívkou o N závitech, pak

$$U_i = -N \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

respektive

$$U_i = -N \frac{d\Phi_m}{dt}$$

Směr indukovaného proudu určíme podle Lenzova pravidla. Indukovaný proud má takový směr, že jeho magnetické pole brání té změně magnetického pole, která proud vyvolává.



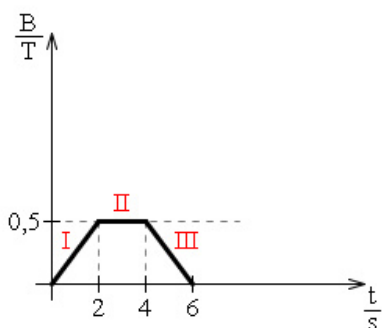
ZTO 3.5.1.-1

Magnetické pole ve vodivé smyčce se mění v čase podle obrázku [O 3.5.1.-11](#)

Graf má tři části I, II, III. **Ve které části** grafu se bude na smyčce indukovat napětí?

- a) v části I
- b) v části II
- c) v části III

d) ve všech částech grafu



[O 3.5.1.-11](#)

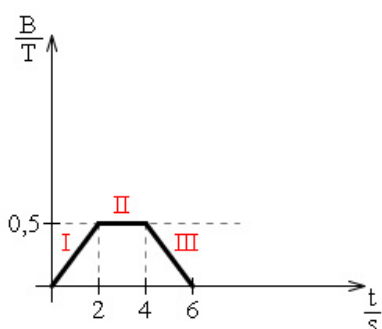
ZTO 3.5.1.-2

Magnetické pole ve vodivé smyčce se mění v čase podle

obrázku [O 3.5.1.-11](#)

Graf má tři části I, II, III. **Určete velikost** rychlosti změny magnetické indukce

- a) v části I $\Delta B/\Delta t = \dots\dots T/s$
- b) v části II $\Delta B/\Delta t = \dots\dots T/s$
- c) v části III $\Delta B/\Delta t = \dots\dots T/s$



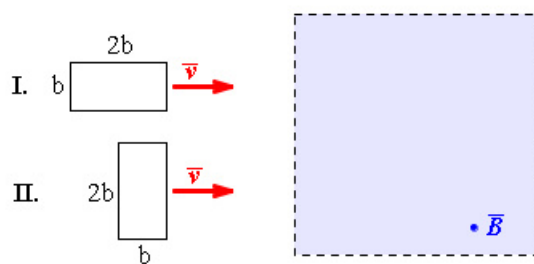
[O 3.5.1.-11](#)

ZTO 3.5.1.-3

Obrázek [O 3.5.1.-12](#) ukazuje dvě vodivé uzavřené smyčky I. a II. s délkami stran b nebo $2b$. Obě smyčky budou vnikat stejnou stálou rychlostí do oblasti homogenního magnetického pole indukce $\vec{B}$. Vektor indukce má směr z obrázku. **Na které** smyčce se indukuje větší elektromotorické napětí během vstupu do pole?

- a) na smyčce I.
- b) na smyčce II.

c) na obou stejně velké



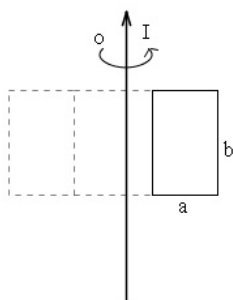
O 3.5.1.-12

ZTO 3.5.1.-4

Na obrázku O 3.5.1.-13 je obdélníkový vodivý závit se stranami a , b a přímý velmi dlouhý vodič, kterým prochází konstantní proud I .

Závit koná rovnoměrný otáčivý pohyb kolem pevné osy o , která leží v přímém vodiči. Prochází závitem indukovaný proud ?

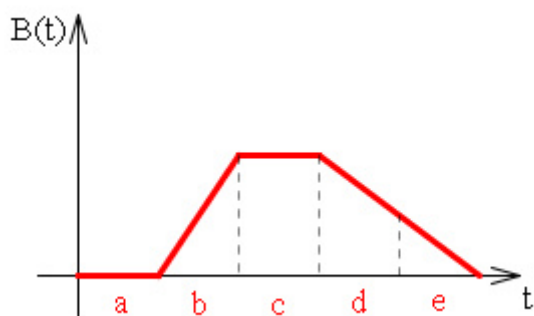
- a) ano
- b) ne



O 3.5.1.-13

ZTO 3.5.1.-5

Na obrázku O 3.5.1.-15 vidíte graf, který udává velikost $B(t)$ homogenního magnetického pole procházejícího kolmo k rovině pevné smyčky. Uspořádejte pět úseků grafu vzestupně podle velikosti napětí indukovaného ve smyčce.



O 3.5.1.-15

BTO 3.5.1.-6

Indukční tok procházející plochou smyčky je $\Phi_m = 5 \cos(3\pi t)$ (Wb,s). Ve smyčce se indukuje napětí $U_i =$

ZU 3.5.1.-1

Magnetický indukční tok 8 Wb závitem se zmenšuje rovnoměrně tak, že za 1,6 s klesne na nulu. Vypočítejte velikost elektromotorického napětí indukovaného v závitě.

ZU 3.5.1.-2

Jaké napětí se indukuje v kruhovém závitě, jestliže se indukční tok závitě mění rovnoměrně o 140 mWb za 0,4 s?

ZU 3.5.1.-3

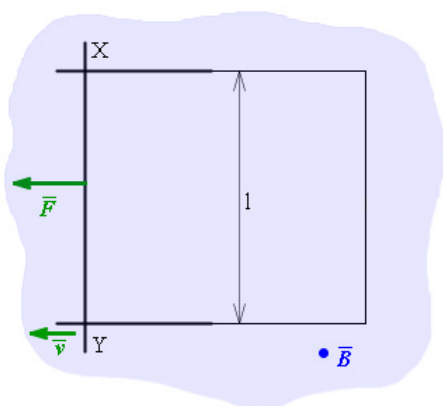
V obvodu tvořeném vodivou smyčkou se při změně magnetického indukčního toku smyčkou o 0,12 Wb indukovalo napětí 0,6 V. Jakou dobu trvala změna?

ZU 3.5.1.-4

Závit plochy 100 cm^2 se nachází v magnetickém poli, jehož magnetická indukce má velikost 1 T. Plocha závitu je kolmá k indukčním čarám. Určete indukované napětí v závitě, klesne-li velikost indukce rovnoměrně na nulu za 0,01 s.

BU 3.5.1.-5

Jak velké napětí se indukuje na koncích přímého vodiče délky 0,1 m, jestliže se pohybuje rychlostí 0,2 m/s kolmo na vektor magnetické indukce? Velikost magnetické indukce je 0,5 T (viz obrázek O 3.5.1.- 1b).



O 3.5.1.- 1b

ZU 3.5.1.-6

Čtvercový závit o straně 5 cm je umístěn v magnetickém poli tak, že indukční čáry jsou stále kolmé na rovinu závitu. Jakou rychlostí se musí měnit velikost magnetické indukce, aby se v závitě indukovalo napětí 0,01 V?

ZU 3.5.1.-7

V homogenním magnetickém poli umístíme rovinnou čtvercovou smyčku o straně 20 cm a odporu $20 \text{ m}\Omega$ tak, že magnetická indukce o velikosti 2 T je kolmá k rovině smyčky. Jestliže protáhneme smyčku tak, že se dvě protilehlé strany vzdálí a zbývající dvě přiblíží, zmenší se plocha smyčky. Za dobu $\Delta t = 0,2 \text{ s}$ zmenšíme plochu až na nulu.

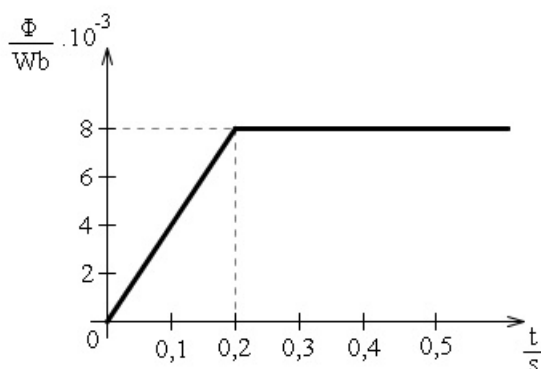
- Jaká je průměrná velikost indukovaného napětí ve smyčce během Δt ?
- Jaký je průměrný proud indukovaný ve smyčce během Δt ?

ZU 3.5.1.-8

Na obrázku O 3.5.1- 14 je graf závislosti magnetického indukčního toku závitě na čase.

- Jaké napětí se indukuje v závitě během prvních dvou desetín sekundy?

b) Jaké napětí se indukuje v závitu v časovém intervalu $t_1 = 0,3 \text{ s}$ až $t_2 = 0,4 \text{ s}$?



O 3.5.1- 14

ZU 3.5.1.-9

Rychlost reaktivního letounu je 950 km/h . Letadlo se pohybuje ve vodorovné rovině po přímce v oblasti, v níž má vertikální složka magnetické indukce Země velikost $5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$. Rozpětí křídel je $12,5 \text{ m}$. Vypočítejte velikost indukovaného napětí na koncích křídel.

BLP 3.5.1.-10

Rovinná smyčka, jejíž vektor plochy je $\vec{S} = (2\vec{i} + 2\vec{j}) \text{ m}^2$ se nachází v magnetickém poli, jehož vektor indukce se mění v závislosti na čase takto: $\vec{B} = (3t\vec{i} - 2t^2\vec{j}) \cdot 10^{-3} \text{ (T,s)}$. Vypočítejte velikost indukovaného napětí na smyčce v čase $t = 3 \text{ s}$.

1) Nejdříve určete indukční tok Φ_m jako skalární součin $\vec{B} \cdot \vec{S}$

$$\Phi_m = (6t - 4t^2) \cdot 10^{-3} \text{ (Wb,s)}$$

2) Použijte definice $U_i = -\frac{d\Phi_m}{dt}$ Protože hledáme velikost indukovaného napětí, znaménko mínus nebudeme uvažovat. $U_i =$

$$U_i = \frac{d\Phi_m}{dt} \Rightarrow U_i = (6 - 8t) \cdot 10^{-3} \text{ (V,s)}$$

3) Dosadíme $t = 3 \text{ s}$. $U_i =$

$$18 \text{ mV}$$

BU 3.5.1.-11

V homogenním magnetickém poli indukce $0,1 \text{ T}$ rotuje cívka s frekvencí 5 Hz . Cívka má 100 závitů, plocha závitu je 100 cm^2 . Vypočítejte maximální hodnotu napětí, které se indukuje na cívce.

BU 3.5.1.-12

Čtvercový závit z měděného vodiče průřezu 1 mm^2 a rezistivity $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ je umístěn v magnetickém poli, jehož indukce se mění podle vztahu $B = 0,01 \sin(100\pi \cdot t) \text{ (T,s)}$. Plocha závitu má velikost 25 cm^2 a je kolmá k indukci. Určete:

a) indukční tok, procházející plochou závitu

b) indukované napětí na závitě

c) proud, protékající závitěm.

3.5.2. VLASTNÍ A VZÁJEMNÁ INDUKCE



SHRNUTÍ

Prochází-li elektrický proud cívkou o N závitech je indukční tok každým závitem Φ_m a indukční tok cívkou je $N \cdot \Phi_m$. Tento tok je přímo úměrný proudu I , který prochází cívkou. **Indukčnost** L cívky pak je

$$L = \frac{N \cdot \Phi_m}{I}$$

Jednotkou indukčnosti v soustavě SI je **henry** (H).

Pro solenoid s vakuovým (přibližně vzduchovým) jádrem lze odvodit vztah

$$L = \mu_0 \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

Mění-li se proud I v cívce s indukčností L rovnoměrně, indukuje se v ní elektromotorické napětí

$$U_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Pokud tato podmínka není splněna je okamžité indukované elektromotorické napětí na cívce

$$U_i = -L \frac{dI}{dt}$$

děj nazýváme **vlastní indukce**.

Jsou-li dvě cívky blízko sebe, pak proměnný proud v jedné z nich indukuje elektromotorické napětí ve druhé cívce

$$U_{i2} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad U_{i1} = -M \frac{\Delta I_2}{\Delta t}$$

respektive
$$U_{i2} = -M \frac{dI_1}{dt} \quad U_{i1} = -M \frac{dI_2}{dt}$$

Konstantu úměrnosti M nazýváme **vzájemnou indukčnost** a tento děj nazýváme **vzájemná indukce**. Jednotka vzájemné indukčnosti je henry (H).

Připojíme-li zdroj konstantního elektromotorického napětí U_e do obvodu s rezistorem o odporu

R a cívkou o indukčnosti L , pak proud roste do ustálené hodnoty $I_o = \frac{U_e}{R}$ podle vztahu

$$I = \frac{U_e}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) = I_o (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

Odpojíme-li zdroj konstantního elektromotorického napětí U_e , klesá proud z hodnoty I_o k nule podle vztahu

$$I = \frac{U_e}{R} e^{-\frac{R}{L}t} = I_o e^{-\frac{R}{L}t}$$

Prochází-li cívkou o indukčnosti L proud I , má vzniklé magnetické pole energii

$$E_m = \frac{1}{2} L I^2$$



ZTO 3.5.2.-1

Proud, který prochází cívkou má za následek vznik magnetického pole. Magnetický indukční tok cívkou je přímo úměrný proudu, který jí prochází. Tato konstanta úměrnosti se **jmenuje**..... a **název** její jednotky je.....

ZTO 3.5.2.-2

Indukčnost cívky **závisí**

- a) na délce cívky
- b) na jakosti jejího jádra
- c) na ploše závitů
- d) na počtu závitů
- e) na proudu, který prochází cívkou
- f) na průřezu vodiče, kterým je cívka vinuta
- g) na délce vodiče, kterým je cívka vinuta

ZTO 3.5.2.-3

Indukčnost cívky o 10 závitů je L . **Jaká bude** indukčnost této cívky, zvětší-li se počet závitů za jinak stejných podmínek 10 krát?

- a) L
- b) $L/10$
- c) $10.L$
- d) $L/100$
- e) $100.L$

ZTO 3.5.2.-4

Indukčnost cívky (N závitů, délka l , průřez závitů S) je L . **Jaká bude** indukčnost cívky, bude-li její délka dvojnásobná, tj. $2.l$ (za jinak stejných podmínek)?

- a) stejná, tj. L
- b) $2.L$
- c) $L/2$
- d) $L/4$

ZTO 3.5.2.-5

Indukčnost cívky (N závitů, délka l , průřez závitů S) je L . **Jaká bude** indukčnost cívky, bude-li průřez závitů dvojnásobný, tj. $2.S$ (za jinak stejných podmínek)?

- a) stejná, tj. L
- b) $2.L$
- c) $L/2$
- d) $L/4$

ZTO 3.5.2.-6

Tři solenoidy mají stejnou délku l . Počty závitů, obsah průřezů a proud, který jimi prochází jsou uvedeny v následující tabulce

solenoid	počet závitů	obsah průřezu	proud
1	$2.N$	$2.S$	I
2	N	S	$2.I$
3	N	$4.S$	I

Který solenoid má **největší** indukčnost?

- a) první
- b) druhý
- c) třetí

Který indukční tok solenoidem je **nejmenší** ?

- a) u prvního
- b) u druhého
- c) u třetího

ZTO 3.5.2.-7

Cívkou, jejíž indukčnost je L prochází proud I . Proud klesne rovnoměrně na nulu

- 1. za 2 s
- 2. za 4 s

za stejných podmínek. **Ve kterém případě** se na cívce indukuje větší napětí ?

- a) v prvním případě
- b) v druhém případě
- c) v obou případech stejně protože L je stejné

ZTO 3.5.2.-8

Cívkou jejíž indukčnost je L prochází proud, který roste podle rovnice

- 1. $I = 2 \cdot t$ (A,s)
- 2. $I = 3 \cdot t$ (A,s)

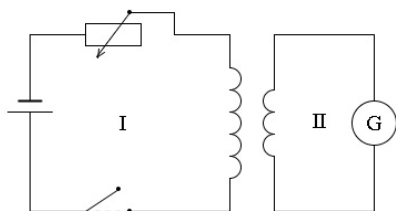
Ve kterém případě se na cívce indukuje větší napětí?

- a) v prvním případě
- b) v druhém případě
- c) v obou případech stejně

ZTO 3.5.2.-9

Sledujte obrázek [O 3.5.1.-3](#). Primárním obvodem prochází proud I_1 . V sekundárním obvodu se bude indukovat napětí U_2 , jehož velikost **závisí na**

- a) velikosti proudu I_1
- b) časové změně proudu $\Delta I_1 / \Delta t$
- c) počtu závitů obou cívek
- d) jakosti jádra
- e) vzájemné poloze obou cívek



[O 3.5.1.-3](#)

BTO 3.5.2.-10

Máme tři identické cívky, kterými prochází proudy

- 1. cívku prochází proud $I = 6 \cdot t$ (A,s)
- 2. cívku prochází proud $I = 6 \cdot t^2$ (A,s)
- 3. cívku prochází proud $I = 6$ A

Na které cívce se bude indukovat v čase $t = 1$ s **největší** napětí?

- a) na cívce 1
- b) na cívce 2
- c) na cívce 3
- d) na všech stejně
- e) nelze rozhodnout

BTO 3.5.2.-11

Máme tři identické cívky, kterými prochází proudy

1. cívkou prochází proud $I = 6 \cdot t$ (A,s)

2. cívkou prochází proud $I = 6 \cdot t^2$ (A,s)

3. cívkou prochází proud $I = 6$ A

Na které cívce se bude indukovat v čase $t = 1$ s **nejmenší** napětí?

- a) na cívce 1
- b) na cívce 2
- c) na cívce 3
- d) na všech stejně
- e) nelze rozhodnout

BTO 3.5.2.-12

Jak rychle se měnil proud v cívce o indukčnosti 2,5 H, jestliže se na ní indukuje napětí 250 V?

ZTO 3.5.2.-13

Cívka má indukčnost 0,5 H a prochází jí

- v prvním případě proud 30 A

- v druhém případě proud 0,03 A.

Které tvrzení **je správné?**

- a) V prvním případě se indukuje na cívce větší napětí, protože jí prochází větší proud.
- b) Indukčnost cívky je v obou případech stejná a proto se v obou případech indukuje stejné napětí, které je různé od nuly.
- c) Na cívce se ani v jednom případě neindukuje napětí protože v obou případech prochází cívkou konstantní proud.

BTO 3.5.2.-14

Uvažujte cívku se vzduchovým jádrem, která

- a) má N závitů délku l průřez S její indukčnost je L
- b) má $10N$ závitů délku l průřez S její indukčnost je $x \cdot L$
- c) má N závitů délku $2l$ průřez S její indukčnost je $y \cdot L$
- d) má N závitů délku l průřez $S/2$ její indukčnost je $z \cdot L$

Určete x , y , z .

ZU 3.5.2.-1

Cívkou indukčnosti 0,2 H prochází proud 3A. Jaký je magnetický indukční tok cívkou?

ZU 3.5.2.-2

Vypočítejte indukčnost cívky, v níž vznikne magnetický indukční tok 0,12 Wb, prochází-li jí proud 8,6 A.

ZU 3.5.2.-3

Určete indukčnost cívky, jestliže rovnoměrnou změnou proudu o 0,5 A za 0,01 s se v ní indukovalo napětí 100 V.

ZU 3.5.2.-4

Cívka indukčnosti 0,7 H je připojena ke zdroji stejnosměrného napětí. Za 0,2 s v ní rovnoměrně vzroste proud z nuly na 3 A. Jaké napětí se indukuje v cívce?

ZU 3.5.2.-5

Jaké napětí se indukuje v cívce s indukčností 0,7 H, v níž se mění proud s konstantní rychlostí 15 A/s?

ZU 3.5.2.-6

Vypočítejte změnu proudu v cívce o indukčnosti 1,8 H, jestliže se v ní za 15 ms indukovalo napětí 60 V.

ZU 3.5.2.-7

Cívka s 500 závitů má délku 0,3 m a plochu závitu 5 cm^2 . V dutině cívky je feromagnetické jádro s permeabilitou $\mu_r = 1\,200$. Určete indukčnost cívky.

ZU 3.5.2.-8

Vypočítejte indukčnost závitu, jestliže změna proudu o 200 mA vyvolá změnu magnetického indukčního toku závitem o $80 \text{ } \mu\text{Wb}$. Magnetické indukční čáry jsou stále kolmé na plochu závitu.

ZU 3.5.2.-9

Kolik závitů má cívka indukčnosti 0,3 H, jestliže se v ní rovnoměrnou změnou proudu o 2 A změní magnetický indukční tok o 0,5 mWb?

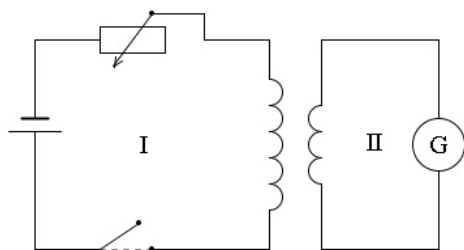
ZU 3.5.2.-10

Indukčnost hustě navinuté cívky je taková, že při změně proudu 5 A/s se v ní indukuje elektromotorické napětí 3 mV. Vypočítejte indukčnost cívky.

Stálý proud 8 A vytváří magnetický tok $40 \text{ } \mu\text{Wb}$ každým závitem této cívky. Kolik závitů má cívka?

ZU 3.5.2.-11

Primární a sekundární cívka na obrázku [O 3.5.1.-3](#) mají pevnou polohu. V primární cívce se mění proud rychlostí 15 A/s a na sekundární cívce se indukuje elektromotorické napětí 25 mV. Jaká je vzájemná indukčnost cívek?



[O 3.5.1.-3](#)

ZU 3.5.2.-12

Dva solenoidy jsou částí indukční cívky v automobilu. Jestliže proud jedním solenoidem klesne z 6 A na nulu za 2,5 ms, indukuje se na druhém solenoidu elektromotorické napětí 30 kV. Jaká je jejich vzájemná indukčnost?

ZU 3.5.2.-13

Indukčnost hustě navinuté cívky o 400 závitů je 8 mH. Vypočítejte magnetický indukční tok závitů cívky, jestliže cívku protéká proud 5 mA.

ZU 3.5.2.-14

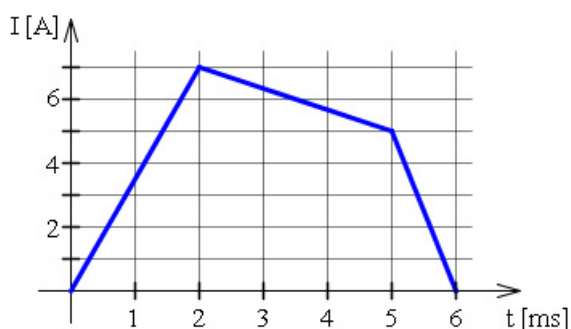
Solenoid těsně navinutý jednou vrstvou izolovaného měděného drátu má průměr 4 cm a délku 2 m. Průměr drátu je 2,5 mm. Předpokládejte, že závity se dotýkají a tloušťka izolace je zanedbatelná. Vypočítejte

- kolik má závitů
- jakou indukčnost má centimetr délky solenoidu

BU 3.5.2.-15

Proud procházející cívku o indukčnosti 4,6 H se mění v čase podle grafu na obrázku [O 3.5.2.-2](#). Najděte velikost indukovaného elektromotorického napětí v časových intervalech:

- od $t = 0$ s do $t = 2$ ms
- od $t = 2$ ms do $t = 5$ ms
- od $t = 5$ ms do $t = 6$ ms

[O 3.5.2.-2](#)**BU 3.5.2.-16**

Uvažujte dvě cívky, jejichž vzájemná indukčnost je 0,05 H. První cívku prochází proud $I_1 = 10 \sin(100\pi t)$ (A,s). Najděte

- časovou závislost indukovaného napětí na druhé cívce
- maximální velikost indukovaného napětí na druhé cívce

BU 3.5.2.-17

Cívka má odpor 1,64 Ω a indukčnost 0,2 H. Vypočítejte, kolikrát se zmenší proud v cívce za 0,05 s po vypnutí zdroje.

3.5.3. VZNIK A VLASTNOSTI STŘÍDAVÉHO PROUDU**SHRNUTÍ**

Jestliže se v homogenním magnetickém poli otáčí vodivá smyčka s konstantní úhlovou rychlostí ω , mění se indukční tok touto smyčkou. Ve

smyčce se indukují napětí a je-li smyčka částí uzavřeného obvodu, bude obvodem procházet indukovaný proud.

$$u = U_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

Proud a napětí jsou v obecném případě fázově posunuty. Fázový posun φ závisí na jakosti cívky (na indukčnosti L), na jakosti kondenzátoru (na kapacitě C) a na rezistoru (odporu R), pokud jsou v obvodu zapojeny.

Efektivní hodnota střídavého proudu v určitém časovém intervalu je definována jako hodnota stálého stejnosměrného proudu, který vyvine ve stejném rezistoru za tutéž dobu totéž teplo. Pro efektivní hodnoty střídavého proudu a napětí platí vztahy:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Činný výkon střídavého proudu je

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

kde $\cos \varphi$ je účinník. Činný výkon je ta část **zdánlivého výkonu** ($P_z = U \cdot I$), která se mění v teplo nebo v užitečnou práci. Jednotkou výkonu je watt (W).

Transformátor se skládá ze železného jádra, na kterém jsou navinuty dvě cívky. Primární cívka s N_1 závitů a sekundární cívka s N_2 závitů. Jestliže primární cívku připojíme ke zdroji střídavého proudu, pro napětí na primárním a sekundárním vinutí platí

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

a mezi proudy platí vztah

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$



ZTO 3.5.3.-1

Na obrázku [O 3.3.2.-10](#) se v homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$ otáčí stálou úhlovou rychlostí ω rovinný závit.

Ve které poloze prochází plochou závitu největší indukční tok?

a) je-li závit v poloze K

b) je-li závit v poloze L

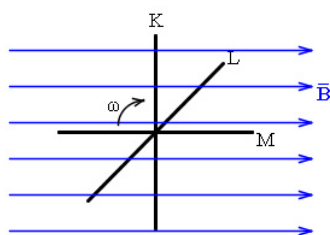
c) je-li závit v poloze M

Ve které poloze se na závitu indukují největší elektromotorické napětí?

a) je-li závit v poloze K

b) je-li závit v poloze L

c) je-li závit v poloze M



O 3.3.2.-10

ZTO 3.5.3.-2

Vodivá smyčka plochy S se otáčí v homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$ konstantní úhlovou rychlostí ω . Jaké maximální napětí se indukuje ve smyčce?

- a) $B.S$
- b) $B.S \sin \omega t$
- c) $B.S \cos \omega t$
- d) $B.S. \omega$

ZTO 3.5.3.-3

Vodivá smyčka plochy S se otáčí v homogenním magnetickém poli indukce $\vec{B}$ konstantní úhlovou rychlostí ω . Při jaké poloze smyčky je velikost indukovaného napětí maximální, tj. $U_i = B.S. \omega$?

- a) vektor indukce $\vec{B}$ je kolmý na rovinu smyčky
- b) vektor indukce $\vec{B}$ leží v rovině smyčky
- c) nelze rozhodnout

ZTO 3.5.3.-4

Rezistor o odporu R je jednou zapojen na stejnosměrný zdroj, podruhé na střídavý zdroj. Stejnosměrné napětí je rovno efektivní hodnotě střídavého napětí. Teplo, které se vyvine v rezistoru za jednu sekundu je

- a) větší, je-li R zapojen na stejnosměrný zdroj
- b) větší, je-li R zapojen na střídavý zdroj
- c) v obou případech stejné

ZTO 3.5.3.-5

Voltmetr zapojený ve střídavém obvodu ukazuje efektivní hodnotu napětí 60 V. Jaká je amplituda napětí?

ZTO 3.5.3.-6

Jak velké je efektivní napětí, jestliže maximální napětí je 300 V?

ZTO 3.5.3.-7

Zdánlivý výkon generátoru je 22 kW. Jaký má činný výkon při účinníku 0,73?

$P = \dots \text{kW}$

ZTO 3.5.3.-8

Jaký je zdánlivý výkon generátoru, který má při účinníku 0,8 činný výkon 800 kW?

$P_z = \dots \text{kW}$

ZTO 3.5.3.-9

Síťové napětí 220 V, které chceme snížit pro elektrický zvonek na hodnotu 4 V, přivádíme na primární cívku transformátoru s 1100 závitů. Kolik závitů musí mít sekundární cívka?

$N_2 = \dots\dots$ závitů

ZTO 3.5.3.-10

Závit, jehož odpor je $5\ \Omega$, rotuje v magnetickém poli a indukují se na něm napětí

$$u = 0,25 \sin(100\pi t) \quad (\text{V, s})$$

Jaká je amplituda napětí?

ZTO 3.5.3.-11

Závit, jehož odpor je $5\ \Omega$, rotuje v magnetickém poli a indukují se na něm napětí

$$u = 0,25 \sin(100\pi t) \quad (\text{V, s})$$

Jaká je efektivní hodnota napětí?

ZTO 3.5.3.-12

Závit, jehož odpor je $5\ \Omega$, rotuje v magnetickém poli a indukují se na něm napětí

$$u = 0,25 \sin(100\pi t) \quad (\text{V, s})$$

S jakou úhlovou rychlostí závit rotuje?

ZTO 3.5.3.-13

Závit, jehož odpor je $5\ \Omega$, rotuje v magnetickém poli a indukují se na něm napětí

$$u = 0,25 \sin(100\pi t) \quad (\text{V, s})$$

Kolik otáček za sekundu vykoná závit (nebo s jakou frekvencí závit rotuje)?

ZTO 3.5.3.-14

Závit, jehož odpor je $5\ \Omega$, rotuje v magnetickém poli a indukují se na něm napětí

$$u = 0,25 \sin(100\pi t) \quad (\text{V, s})$$

Jak velká je amplituda proudu, který závitem prochází?

ZTO 3.5.3.-15

Závit, jehož odpor je $5\ \Omega$, rotuje v magnetickém poli a indukují se na něm napětí

$$u = 0,25 \sin(100\pi t) \quad (\text{V, s})$$

Jaká bude amplituda napětí na cívce, která rotuje za stejných podmínek a má 100 takových závitů?

ZU 3.5.3.-1

Napětí na zdroji je $u = 30 \sin(350t - \pi/4)$. V jakém čase (po $t = 0$ s) nabude napětí poprvé maxima?

ZU 3.5.3.-2

Střídavý proud o frekvenci 800 Hz má amplitudu 2 A. Vypočítejte jeho

- periodu
- efektivní hodnotu
- okamžitou hodnotu v čase $t = 600\ \mu\text{s}$ od okamžiku, kdy má proud nulovou hodnotu.

ZU 3.5.3.-3

Rezistor $50\ \Omega$ je připojen na střídavý zdroj s amplitudou napětí 120 V, $f = 60$ Hz. Napište rovnici pro okamžitou hodnotu proudu.

ZU 3.5.3.-4

Jak velký stejnosměrný proud musí procházet daným rezistorem, aby měl stejný tepelný výkon jako střídavý proud s amplitudou proudu 2,6 A?

ZU 3.5.3.-5

Jakou efektivní hodnotu a amplitudu má střídavý proud procházející spotřebičem s odporem 40Ω a je zapojen na střídavý zdroj 50 V?

ZU 3.5.3.-6

Ampérmetr zapojený v obvodu střídavého proudu s rezistorem o odporu 50Ω naměří proud 480 mA. Určete:

- a) efektivní hodnotu
- b) amplitudu střídavého napětí.

ZU 3.5.3.-7

Na žárovce je uvedeno: 230 V, 100 W. Jaký proud prochází žárovkou?

ZU 3.5.3.-8

Okamžité hodnoty proudu a napětí ve střídavém obvodu jsou dány rovnicemi

$$u = 20 \sin \omega t \quad (\text{V}, \text{s})$$

$$i = 0,5 \sin(\omega t + \pi/4) \quad (\text{A}, \text{s})$$

Jakou hodnotu má účinník? Jakou velikost má činný výkon?

ZU 3.5.3.-9

Elektromotor odebírá proud 42 A při svorkovém napětí 380 V a pracuje s účinníkem 0,8. Vypočtete:

- a) zdánlivý výkon
- b) činný výkon

ZU 3.5.3.-10

Na svorkách sekundární cívky je napětí 4000 V a proud 0,02 A. Jaký proud prochází primární cívkou při napětí 230 V, je-li účinnost transformátoru 98 % ?

ZU 3.5.3.-11

Rozvodný transformátor je napájen primárním napětím $U_1 = 22 \text{ kV}$ a dodává energii do spotřebitelské sítě při napětí $U_2 = 230 \text{ V}$ (obě napětí jsou efektivní). Uvažujme ideální snižovací transformátor, čistě odporovou zátěž, účinník roven jedné. Jaký je poměr závitů transformátoru N_1/N_2 ?

Výkon spotřebičů v domech napájených z transformátoru je 78 kW. Jaká je efektivní hodnota proudu na primárním a sekundárním vinutí transformátoru?

3.5.4. STŘÍDAVÉ OBVODY R,L,C**SHRNUTÍ****Obvod s rezistorem o odporu R .**

Napětí na zdroji $u = U_m \sin \omega t$

Proud je ve fázi s napětím, tj.

$$\varphi = 0^0 \quad \text{tedy} \quad i = I_m \sin \omega t \quad I_m = \frac{U_m}{R}$$

V obvodech střídavého proudu odporovou zátěž R nazýváme **rezistance**. Jednotkou je ohm.

Obvod s kondenzátorem kapacity C .

Napětí na zdroji $u = U_m \sin \omega t$

Proud předbíhá napětí, tj.

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \quad \text{tedy} \quad i = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad I_m = \frac{U_m}{X_C} \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

X_C je **kapacitance** (nebo **kapacitní reaktance**). Jednotkou je ohm.

Obvod s cívkou indukčnosti L .

Napětí na zdroji $u = U_m \sin \omega t$

Proud se zpožďuje za napětím, tj.

$$\varphi = -\frac{\pi}{2} \quad \text{tedy} \quad i = I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad I_m = \frac{U_m}{X_L} \quad X_L = \omega L$$

X_L je **induktance** (nebo **induktivní reaktance**). Jednotkou je ohm.

Sériový obvod RLC .

Napětí na zdroji $u = U_m \sin \omega t$

Protože R, L, C jsou zapojeny v sérii,

- protéká obvodem tentýž proud

$$I = I_m \sin(\omega t - \varphi) \quad I_m = \frac{U_m}{Z} \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Z je **impedance** obvodu. Jednotkou je ohm.

- napětí na rezistoru, kondenzátoru a cívce se sčítá **vektorově**
- R, X_C a X_L se sčítá **vektorově**

- podmínka rezonance : $X_C = X_L$ a rezonanční frekvence je $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$



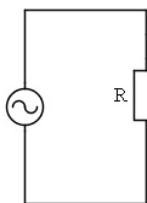
BTO 3.5.4-1

Obrázek O 3.5.4-1 ukazuje obvod sestavený z rezistoru odporu R a generátoru střídavého napětí. **Které tvrzení je pravdivé?**

a) Proud předbíhá napětí o $\frac{\pi}{2}$.

b) Proud se zpožďuje za napětím o $\frac{\pi}{2}$.

c) Proud a napětí jsou ve fázi.



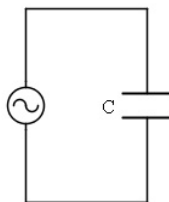
O 3.5.4-1

BTO 3.5.4-2

Obrázek O 3.5.4-2 ukazuje obvod sestavený z kondenzátoru kapacity C a

generátoru střídavého napětí. **Které tvrzení je pravdivé?**

- a) Proud předbíhá napětí o $\frac{\pi}{2}$.
- b) Proud se zpožďuje za napětím o $\frac{\pi}{2}$.
- c) Proud a napětí jsou ve fázi.

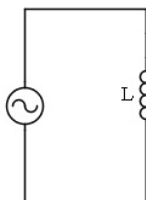


O 3.5.4.-2

BTO 3.5.4.-3

Obrázek O 3.5.4.-3 ukazuje obvod sestavený z cívky indukčnosti L a generátoru střídavého napětí. **Které tvrzení je pravdivé?**

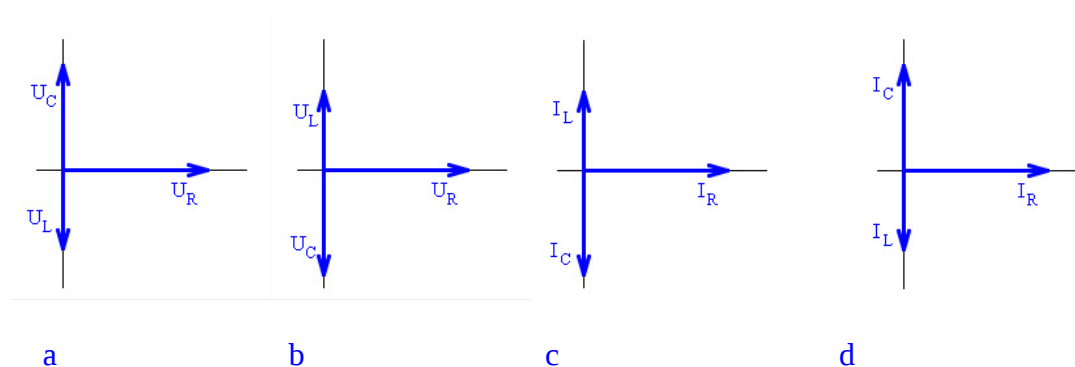
- a) Proud předbíhá napětí o $\frac{\pi}{2}$.
- b) Proud se zpožďuje za napětím o $\frac{\pi}{2}$.
- c) Proud a napětí jsou ve fázi.



O 3.5.4.-3

BTO 3.5.4.-4

Na obrázku O 3.5.4.-a, b, c, d vidíte čtyři fázorové diagramy. **Které jsou** správné pro sériový obvod RLC ?



O 3.5.4.-4 a, b, c, d

BTO 3.5.4.-5

Na obrázku O 3.5.4.- a, b, c, d vidíte čtyři fázorové diagramy. **Které jsou** správné pro paralelní obvod RLC ?

BTO 3.5.4.-6

Ke generátoru střídavého napětí s proměnnou frekvencí kmitů je připojena cívka. S rostoucí frekvencí zdroje **induktance** X_L

- a) bude klesat
- b) bude růst
- c) zůstane konstantní

BTO 3.5.4.-7

Ke generátoru střídavého napětí s proměnnou frekvencí kmitů je připojen kondenzátor. S rostoucí frekvencí zdroje **kapacitance X_C**

- a) bude klesat
- b) bude růst
- c) zůstane konstantní

BTO 3.5.4.-8

Ke generátoru střídavého napětí s proměnnou frekvencí kmitů je připojen rezistor. S rostoucí frekvencí zdroje **rezistance (odpor) R**

- a) bude klesat
- b) bude růst
- c) zůstane konstantní

BTO 3.5.4.-9

Ke generátoru střídavého napětí s proměnnou frekvencí kmitů je připojen rezistor, cívka, a kondenzátor **do série**. Jestliže frekvence zdroje splňuje podmínku rezonanční frekvence **je** impedance obvodu

- a) maximální
- b) minimální

BTO 3.5.4.-10

Ke generátoru střídavého napětí s proměnnou frekvencí kmitů je připojen rezistor, cívka, a kondenzátor **do série**. Jestliže frekvence zdroje splňuje podmínku rezonanční frekvence **je** proud procházející obvodem

- a) maximální
- b) minimální

BTO 3.5.4.-11

Ke generátoru střídavého napětí s proměnnou frekvencí kmitů je připojen rezistor, cívka, a kondenzátor **do série**. Jestliže frekvence zdroje splňuje podmínku rezonanční frekvence **platí, že**

- a) proud a napětí jsou ve fázi
- b) proud a napětí nejsou ve fázi

BTO 3.5.4.-12

V obvodu střídavého napětí 500 V (50 Hz) je impedance obvodu 625 Ω . **Určete** proud, který obvodem prochází.

BU 3.5.4.-1

Rezistor 50 Ω je připojen ke zdroji střídavého napětí. Amplituda napětí je 120 V a frekvence 60 Hz. Napište rovnici pro okamžitý proud. Jaké je efektivní napětí na rezistoru a jaký efektivní proud prochází obvodem?

BU 3.5.4.-2

Cívka indukčnosti 15 mH je připojena ke zdroji střídavého napětí. Amplituda napětí je 120 V a frekvence 60 Hz. Vypočítejte induktanci a maximální proud, který prochází obvodem.

BU 3.5.4.-3

Kondenzátor kapacity 50 μF je připojen ke zdroji $u = 30 \sin 2 \cdot 10^3 \pi t$ (V, s)

- Vypočítejte kapacitanci.
- Určete maximální proud, který prochází obvodem.
- Napište rovnici pro okamžitou hodnotu proudu.

BLP 3.5.4.-4

Ke zdroji $u = 50 \sin 2\pi \cdot 10^3 t$ (V, s) je připojena do série cívka 8 mH a rezistor 80 Ω . Určete

- impedanci obvodu
- maximální proud procházející obvodem
- fázový posuv mezi proudem a napětím
- rovnici okamžitého proudu
- maximální napětí na rezistoru
- maximální napětí na cívce
- výkon zdroje

Řešení:

- Nejdříve si určete impedanci cívky $X_L =$

$$X_L = \omega \cdot L \quad \text{a po dosazení} \quad X_L = 2\pi \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 50,26 \Omega$$

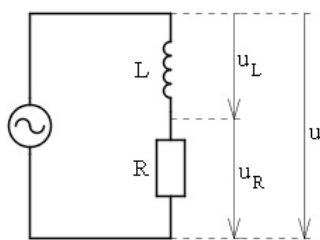
Nyní můžete vyřešit impedanci obvodu $Z =$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \text{a po dosazení} \quad Z = 94,5 \Omega$$

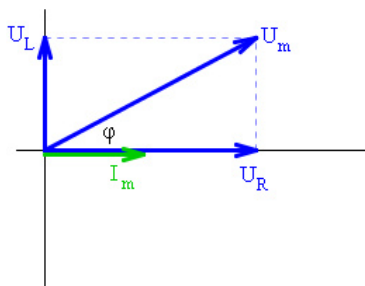
- Vypočítejte maximální proud $I_m =$

$$\text{Amplituda proudu je } I_m = \frac{U_m}{Z} \quad \text{a po dosazení} \quad I_m = \frac{50}{94,5} = 0,53 \text{ A}$$

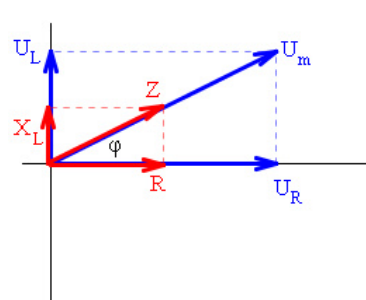
- Schéma zapojení vidíte na obrázku [O 3.5.4.-5](#), na obrázku [O 3.5.4.-6a](#) vidíte fázorový diagram obvodu.



[O 3.5.4.-5](#)



[O 3.5.4.-6a](#)



[O 3.5.4.-6b](#)

Zapojená indukčnost způsobí, že napětí na jednotlivých prvcích (cívce a rezistoru) se liší nejen velikostí, ale i vzájemnou fází. Zatímco napětí na rezistoru má stejnou fázi jako proud, napětí na cívce proud předbíhá o $\pi/2$. Tedy fázor proudu I_m má stejný směr jako fázor U_R , kdežto fázor U_L svírá s fázorem proudu úhel $\pi/2$. Cívkou i rezistorem prochází stejný proud.

Můžete tedy psát $R = \frac{U_R}{I_m}$ a $X_L = \frac{U_L}{I_m}$ (obrázek O 3.5.4.-6b je nakreslen pro $I_m = 2$).

Hledaný fázový posuv mezi proudem a napětím řešíme obvykle jako $\tan \varphi$ nebo $\cos \varphi$.
Vyřešte $\cos \varphi =$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad \text{po dosazení} \quad \cos \varphi = 0,8466, \quad \varphi = 32^\circ$$

4) Proud a výsledné napětí jsou fázově posunuty o 32° . Rovnice výsledného napětí, tj. napětí na zdroji je zadána, napište rovnici proudu.

$$i = 0,53 \sin(2\pi \cdot 10^3 t - 32^\circ) \quad (\text{A, s})$$

5) Amplituda napětí na rezistoru U_R je podle Ohmova zákona $U_R = I_m \cdot R$. Vyřešte.

$$U_R = 2,4 \text{ V}$$

6) $U_L = I_m \cdot X_L$ Vyřešte.

$$U_L = 26,6 \text{ V}$$

7) Vyřešte výkon zdroje.

$$P = 11,2 \text{ W}$$

BU 3.5.4-5

Obvod odebírá 330 W ze zdroje střídavého napětí ($U = 110 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$). Účinník je 0,6 a proud se za napětím zpožďuje.

1. Najděte kapacitu sériově zapojeného kondenzátoru tak, aby hodnota účinníku byla jedna.
2. Jaký příkon bude pak odebírán ze zdroje?

BU 3.5.4.-6

Cívka má odpor $R = 16 \Omega$ a je připojena na střídavý zdroj $U_m = 30 \text{ V}$, $f = 1,5 \text{ kHz}$. Maximální proud v obvodu je 1,2 A. Určete indukčnost cívky.

BU 3.5.4.-7

Určete impedanci sériové kombinace rezistoru $R = 55 \Omega$, kondenzátoru $3 \cdot 10^{-6} \text{ F}$ a kondenzátoru $6 \cdot 10^{-6} \text{ F}$ při frekvenci 2,5 kHz.

BU 3.5.4.-8

Ke zdroji $U_m = 8 \text{ V}$, $f = 0,15 \text{ kHz}$ je do série připojena cívka 55 mH, dva kondenzátory 30 μF a 15 μF a rezistor 15 Ω . Vypočítejte

- 1) rezonanční frekvenci obvodu
- 2) amplitudu proudu
- 3) amplitudu napětí na rezistoru, cívce a obou kondenzátorech.