

## Otázky fyzikálneho minima 2010 - FYZIKA pre študentov FIIT

1. Napíšte vzťah pre veľkosť vektora rýchlosťi pri zadaných troch súradničach  $v_x, v_y, v_z$ .
2. Ako súvisí kruhová frekvencia s periódou pri rovnomernom pohybe po kružnici. ←
3. Napíšte vzťah pre dosredivé zrýchlenie pri rovnomernom pohybe po kružnici.
4. Ktoré fyzikálne veličiny sa zachovávajú pri pružnej zrážke dvoch telies.
5. Vyjadrite moment zotrvačnosti pre hmotný bod, ktorý sa rovnomerne pohybuje po kruhovej dráhe.
6. Napíšte vzťah pre Coulombov zákon vo vektorovom tvare.
7. Definujte intenzitu elektrického poľa ako vektor, napište jej jednotku.
8. Definujte potenciál v elektrostatickom poli, uvedte jeho jednotku..
9. Napíšte vzťah pre rozdiel potenciálov elektrostatického poľa s intenzitou  $E(\mathbf{r})$  medzi bodmi s polohovými vektormi  $\mathbf{r}_1$  a  $\mathbf{r}_2$ .
10. Vyjadrite Gaussovu vetu v elektrostatickom poli, aj slovne.
11. Definujte elektrický dipól a jeho dipólový moment, nakreslite obrázok.
12. Napíšte vzťah vyjadrujúci moment síl pôsobiaci na elektrický dipól nachádzajúci sa v homogénnom elektrickom poli.
13. Napíšte vzťah vyjadrujúci polohovú energiu elektrického dipólu v homogénnom elektrickom poli.
14. Definujte elektrickú polarizáciu, uvedte jej jednotku.
15. Definujte elektrickej indukcii, uvedte jej jednotku.
16. Napíšte Maxwellovu rovnicu pre vektor elektrickej indukcii.
17. Definujte kapacitu sústavy dvoch vodičov.
18. Napíšte vzťah vyjadrujúci energiu nabitého kondenzátora.
19. Napíšte vzorec vyjadrujúci objemovú hustotu energie elektrostatického poľa.
20. Ako je definovaný elektrický prúd, uvedte jeho jednotku
21. Definujte vektor prúdovej hustoty.
22. Napíšte vzťah medzi prúdovou hustotou  $j$  a intenzitou elektrického poľa  $E$ .
23. Napíšte rovnicu spojitosťi pre elektrický prúd.
24. Definujte magnetický indukčný tok vzorcom aj slovne.
25. Vyjadrite silu pôsobiacu na element prúdovodiča cez ktorý tečie prúd  $I$ , nachádzajúceho sa v magnetickom poli s indukciou  $\mathbf{B}$ .
26. Napíšte Biotov-Savartov zákon, nakreslite príslušný obrázok.
27. Napíšte vetu o cirkulácii vektora magnetickej indukcie vo vákuu.
28. Definujte magnetický moment prúdovej slučky.
29. Napíšte vzťah pre polohovú energiu magnetického dipólu v homogénnom magnetickom poli.
30. Definujte vektor magnetizácie.
31. Definujte intenzitu magnetického poľa v reálnom prostredí.
32. Napíšte vzťah vyjadrujúci objemovú hustotu energie magnetického poľa.
33. Napíšte vzorec vyjadrujúci Faradayov zákon elektromagnetickej indukcie.
34. Vyjadrite indukované napätie na cievke s vlastnou indukčnosťou  $L$ .
35. Napíšte vzorec vyjadrujúci magnetickú energiu cievky s vlastnou indukčnosťou  $L$ .
36. Uveďte ktorú veličinu nazývame Maxwellovým posuvným prúdom.
37. Napíšte vzťah medzi rýchlosťou elektromagnetických vĺn a permitivitou a permeabilitou.
38. Uveďte vzorec definujúci Poyntingov žiarivý vektor a jeho jednotku.
39. Aký je vzájomný smer vektorov  $E, B$  a smeru šírenia rovinnej elektromagnetickej vlny? Nakreslite obrázok.
40. Napíšte vzťah pre tlak žiarenia v závislosti od intenzity žiarenia.

1.

$$|\vec{N}| = \sqrt{N_x^2 + N_y^2 + N_z^2} = N$$

$$\vec{N} = N_x \cdot \hat{i} + N_y \cdot \hat{j} + N_z \cdot \hat{k}$$

2.

$$\boxed{\lambda = \frac{1}{T}}$$

$$\omega = 2\pi f ; \quad \boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}}$$

 $f \dots [\text{Hz}]$  $T \dots [\text{s}]$ 

3.

$$a_d = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r \quad \boxed{\text{OBVODOVÁ RÝCHLOST}} \quad [r^{-1}]$$

$$\vec{a}_d = \frac{v^2}{r} \cdot \vec{S} = \omega^2 \cdot r \cdot \vec{S} \quad [mr^{-2}]$$

↑ jednotkový vektor v smere pohybu  
polomer kružnice

4.

pri pohybe rovnice na základě:

**HYBNOSŤ** ...  $\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad [\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

**KINET. ENERGIA** ...  $E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad [\text{J}]$

5.

moment rily:  $\vec{J} = m \cdot \vec{r} = m \cdot r \cdot \vec{v} = m \cdot r \cdot \alpha \cdot \vec{r} = \boxed{m \cdot r^2} \cdot \alpha = J \cdot \alpha$

↓  
základnosť od vzdialenosť od osi (polomery)

↓  
velosť zväčš.  $[r^{-1}]$  moment základnosť

6.

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^3} \cdot \vec{r}_{12} \quad [N]$$

polostroj vektor  $q_2$  vtedajšom na  $q_1$ 

↓  
plamivlosť vektoru  $\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \quad \boxed{F_{m^{-1}}} = \boxed{\text{kg}^{-1} \text{m}^{-3} \text{s}^4 \text{A}^2}$

el.-st. nálož vzdialosť medzi náložmi [N]

"FARAD"

- res. veličina, definovaná podielom rily pôsobiacou na el. nálož v danom mieste a súčtu náloží

7.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^3} \cdot \vec{r} \quad \boxed{\text{VOLT}} = \boxed{\text{N} \cdot \text{C}^{-1}}$$

- res. veličina, definovaná podielom rily pôsobiacou na el. nálož v danom mieste a súčtu náloží

8.

$$V_A = \frac{U_A}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_A} \quad [V]$$

potenc. energie [J] nálož  
súčet náloží  $Q = \text{nálož "A"}$ 

- skalárna veličina, definovaná podielom prace el. sil vykonanej na preniesenie el. náloží zo vzdialého miesta do bodu, na ktorej je určené a kolko náloží

9.

~~$$U = V(\vec{r}_1) - V(\vec{r}_2) = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{E}(r) dr$$~~

$$U = V(\vec{r}_1) - V(\vec{r}_2) = \int_{r_1}^{r_2} \vec{E}(r) dr \quad [V]$$

↓  
meranie

10.

$$\oint \vec{E} d\vec{s} = \frac{\sum_i Q_i}{\epsilon_0}$$

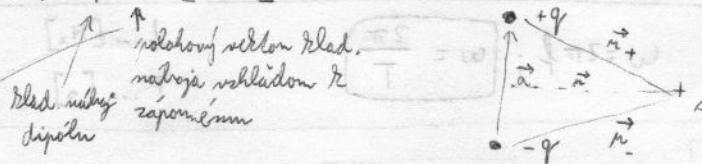
- tot. intenzita el.-st. pola (vektor) cez súmelnú plochu cez súmnu podielu celkovej náloži obmedzeného konca súmelnou plochou a plamivlosť vektoru

11.

EL. DIPÓL - ~~el. nábojové momenty vektorové~~

uvedená dvoch nesamek vektorov el. nábojov opačného znamienka, el. vzájomná vzdialenosť je v porovnaní so vzdialenosťami, z el. pozorujeme jeho súčinu, zanedbateľnú.

$$\text{dipólový moment} \dots \vec{p} = q \cdot \vec{a} \quad [\text{C} \cdot \text{m}]$$



12.

$$\vec{p} = \vec{a} \times q \cdot \vec{E} = \vec{p} \times \vec{E} \quad [\text{N} \cdot \text{m}]$$

$$= (q \cdot \vec{a} \times \vec{E}) \quad \begin{matrix} \text{intenzita pola} \\ \text{el. moment dipolu} \end{matrix}$$

13.

$$U_p = U_+ + U_- = q_+ V_+ + q_- V_- = q(V_+ - V_-) = q \cdot dV = q(-\vec{E}) \cdot d\vec{a} =$$

vôľová energia  
el. dipolu

$$= q \cdot \vec{a} \cdot \vec{E} = [-\vec{p} \cdot \vec{E}] \quad [\text{J}]$$

14.

$$\vec{P} = \vec{D} - \vec{E} \cdot \epsilon_0 \quad \left[ \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \right]$$

el. polarizácia      el. indukcia

- nevl. vektor, det. ako podiel vek. náboja  
- vektor súčet momentov el. dipolov na jednotku objemu

**OBL. HUSTOTA  
EL. MOMENTU  
V POLARIZOVANOM  
DIELEKTRIKU**

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$$

- vek. rel., charakterizujúca el. pole, kde vektor závisí iba od smeru vektoru náboja el. nábojov v priestore

$$\vec{P} = \frac{\vec{p}}{V}$$

$$\vec{D} = \vec{P} + \vec{E} \cdot \epsilon_0 \quad \left[ \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \right]$$

el. indukcia      celková intenzita el. pola

15.

$$\nabla \vec{D} = 0$$

objemová hust. náboja

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k}$$

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{Q}{V} \left[ F \right] = \left[ \frac{\text{C}}{\text{V}} \right]$$

el. náplň

- kapacita je daná podielom náboja na jednom z vodičov a potenciálu medzi vodičmi vzhľadom na vodič druhý

16.

$$E_e = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad [\text{J}]$$

energia kondenzátora

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k}$$

$$E_e = \frac{U}{V} \cdot \frac{F}{V} = \frac{U}{V} \cdot \frac{1}{2} E \cdot D = \frac{1}{2} \epsilon_0 F_r E^2 = \left[ \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right]$$

energie el.-ves. pola      objem

17.

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad [\text{A}]$$

- menšieho náboja, ktoré prejde prierezom vodiča za jednotku času

"  $q \cdot N \cdot n_d \cdot S$

(21.)  $\vec{J} = \frac{I}{S} \vec{s}$   $[A \text{ m}^{-2}]$   
 |  
 ↓  
 smer proudu  
 smer plochy  
 vlastního proudu  
 vlastní plocha

$$\vec{J} = \frac{I}{S} \quad [A \text{ m}^{-2}]$$

vlastní plochy

- velk. veličina určená podielom  
prúdu a vlastnej vlastnej  
plochy, kt. preláska máloj  
časťi

na mikroplochách:  $\vec{J} = e \cdot N \cdot v_d \vec{s}$

| |  
 máloj výške časťi  
 časťi časťi

vel. driftová rýchlosť časťí

(22.)  $\vec{J} = G \cdot \vec{E} \quad [A \text{ m}^{-2}]$

↳ menší el. odpor (konduktivita)  $[S \text{ m}^{-1}]$

$$\left( \vec{J} = \frac{1}{\rho} \vec{E} \rightarrow \text{resistivita } [\Omega \text{ m}] \right)$$

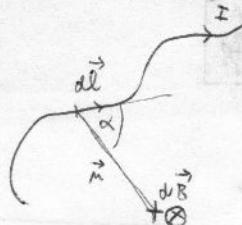
(23.)  $\oint \vec{J} d\vec{s} = - \frac{dQ}{ds} \quad (\text{dif. tvar: } \text{dir. } J = - \frac{\partial P}{\partial L} \text{ - dir. turbula máloj})$

(24.)  $\Phi_m = \int_S \vec{B} d\vec{s} \quad [Wb] = [T \text{ m}^2]$   
 |  
 weber  
 mag. induc. pol.

... základny zákon magnetickéj inducie cez určitú plochu

(25.)  $d\vec{f} = I d\vec{l} \times \vec{B} \quad [N]$   
 |  
 nízka mag. element pôsobenia  
 mag. inducia vlastného pola

(26.)  $\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{I d\vec{l} \times \vec{n}}{r^3} \quad [T]$   
 permeabilita väčšia ...  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} T \text{ m A}^{-1}$



(27.)  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{n} = \mu_0 \sum_{i=1}^n I_i \quad$  - mier. výsledok prúdu cez plochu obsahujúcou množstvo kružnic  
 ↳ kružnice integrovali mag. indukciu po kružniciach množstva kružnic ktoré je priamo пропорцionalnej celk. el. proudu, kt. leží cez kružnicu povrchu kružnice

(28.)  $\vec{m}_m = I \cdot \vec{s} \quad [A \text{ m}^2]$   
 |  
 mag. moment vlastní plochy

- angívav mag. moment - velk. veličina definovaná ako mier.  
prúdu a smeru prúdujúcej súčasťi

(29.)  $U_m = - \vec{m} \cdot \vec{B} \quad [J]$

pol. energ. mag. dipolu

(30.)  $\vec{M} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum \vec{m}_x}{\Delta V} = \frac{d \vec{m}}{d V} \quad$  - velk. mier. elementárnej mag. momentov  
 |  
 vlastní plocha  
 magnetizácia

infinitesimálny objem látky

spomínavý mag. moment  $[A \text{ m}^{-1}]$

$$[A \text{ m}^{-1}]$$

$$[A \text{ m}^{-1}]$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

$\uparrow$   
sídelná magnetizácia  
 $\rightarrow$  súčinu mag. polia

$$[A_{m^{-1}}]$$

- nest. veličina nazývaná tiež náboj, ktorá poskytuje

mierom mierle pola na zaneobdelného náboja

delením kruhov. kôlky

$$e_m = \frac{1}{2} \vec{B} \cdot \vec{H} = \frac{1}{2} \frac{\vec{B}^2}{\mu_0} \left[ \frac{J}{m^2} \right]$$

$\hookrightarrow$  obj. hustota energie  
mag. polia

$$U_i = - \frac{d \Phi_m}{d t} \quad \text{mag. indukčnosť} [V]$$

$\hookrightarrow$  indukčnosť el.-mag.  
napätie

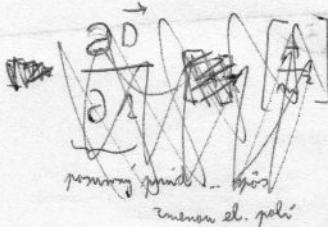
$$U_i = -L \frac{d I}{d t} [V]$$

$\hookrightarrow$  vlastná  
indukčnosť súčtu [H]  
 $\hookrightarrow$  Henry

$$E_m = \frac{1}{2} L I^2 [J]$$

$\hookrightarrow$  vlastná indukčnosť

$\rightarrow$  mag. energia súčtu



$$I = S \cdot \frac{\partial \vec{D}}{\partial \vec{x}} [A]$$

$\hookrightarrow$  ponorový prúid ... správobnížený zmenou  
el. polí

- el. prúid, el. je správobnížený zmenou  
el. polí (a nie zohľadzuje nosičové ráboja)

$$n = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = C \left[ m_{s^{-1}} \right]$$

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} \left[ \frac{W}{m^2} \right] = \left[ \frac{V}{m} \cdot \frac{A}{m} \right]$$

$\hookrightarrow$  Poynktovosúčinu medzi ... funkcie hovorí el.-mag. energie

$\vec{E}, \vec{B}, \vec{n}$  ... návazajúce polné  
 $\downarrow$  smere súčtu súčtu



$$\vec{E}(x, t) = E_0 \cdot \vec{j} \cdot \sin(\omega t - \frac{x}{c})$$

$$\vec{B}(x, t) = B_0 \cdot \vec{k} \cdot \sin(\omega t - \frac{x}{c})$$

$$P_{elek} = \frac{t}{S} = \frac{\Delta N}{\Delta R \cdot S} = \frac{\Delta E}{\Delta R \cdot S \cdot c} = \frac{I}{C} \quad \text{... súčinu súčtu} \left[ J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \right]$$

$\downarrow$  ... mód. súčtu;  $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot s^{-1}$

(pri odvodení súčtu)  
 $P_{elek} = \frac{2I}{c}$

## FYZIKA pre študentov 1. ročníka FIIT – teoretické otázky na skúšku 2010

- 1 Popíšte rovnomerný pohyb po kružnici na základe uhlových veličín: uhol natočenia, uhlová rýchlosť, uhlové zrýchlenie. Vyjadrite vzájomné súvislosti týchto veličín. Vyjadrite kinetická energiu pri takom pohybe, moment hybnosti, dostredivé zrýchlenie.
- 2 Formulujte tri zákony Newtona v dynamike hmotného bodu, definujte príslušné veličiny a napíšte ich fyzikálne jednotky.
- 3 Odvodte Gaussovou vetu v elektrostatickom poli.
- 4 Odvodte vzorec pre potenciál v okolí elektrického dipólu, vyjadrite  $E$  v smere osi dipólu a v rovine dipólu.
- 5 Odvodte vzťahy pre silu, moment sily a polohovú energiu elektrického dipólu vo vonkajšom elektrickom poli.
- 6 Zavedte vektor elektrickej polarizácie a vektor elektrickej indukcie, odvodte vzťah medzi vektormi  $E$ ,  $D$  a  $P$ .
- 7 Odvodte vzorce pre energiu nabitého telesa a energiu nabitého kondenzátora.
- 6.1 Odvodte vzorec pre hustotu energie elektrického poľa.
- 7.1 7.2 7.3 Definujte elektrický prúd, vektor prúdovej hustoty a odvodte rovnicu spojitosti. Ukážte, že v stacionárnom prípade predstavuje I. Kichhoffov zákon.
- 8 Na základe klasických predstáv odvodte Ohmov zákon v diferenciálnom tvare.
- 9 Zavedte induciu magnetického poľa a vyjadruje silu pôsobiacu na prúdový element v magnetickom poli.
- 10 Odvodte vzorec pre moment sily pôsobiaci na prúdovú slučku v homogénnom magnetickom poli.
- 11 Zavedte magnetický moment prúdovej slučky a odvodte vzorec pre jeho polohovú energiu v homogénnom magnetickom poli.
- 12 Vypočítajte veľkosť a určite smer sily pôsobiacej medzi dvoma nekonečne dlhými priamymi vodičmi. Definujte jednotku ampér.
- 13 Zavedte vektor magnetizácie a vektor intenzity magnetického poľa v hmotnom prostredí.
- 14 Definujte magnetický indukčný tok, uvedte Lenzovo pravidlo a odvodte Faradayov zákon elektromagnetickej indukcie.
- 15 Odvodte vzorec vyjadrujúci energiu magnetického poľa vodiča, ktorým preteká ustálený elektrický prúd.

! → ? 16 Odvodte vzorec pre objemovú hustotu energie magnetického poľa.

— 17 Opíšte význam Maxwellových rovníc a ukážte význam Maxwellovho posuvného prúdu a odvodte jeho vzorec.

18 Vyjadrite súvislosti v smeroch a veľkostiach vektorov  $E$  a  $B$  v rovinnej elektromagnetickej vlnie vzhľadom na smer šírenia vlny.

19 Vyjadrite Poyntingov žiarivý vektor pre rovinnú elektromagnetickú vlnu, uvedte jeho význam a rozmer v SI. Súvis medzi Poyntigovým žiarivým vektorom a intenzitou žiarenia. Tlak žiarenia v závislosti od intenzity žiarenia.

20 Opíšte javy súvisiace s odrazom svetelných a lomom lúčov na rovnom rozhraní (podmienky pre lom a odraz, úplný odraz, Brewsterov uhol). Optické vlákna.

F | 1

POTRHYB PO KRUŽNICI - pohyb  $\vec{r}$ , kde projekcia je kružnica. | normálny  $\Rightarrow$  rýchlosť sa časom mení

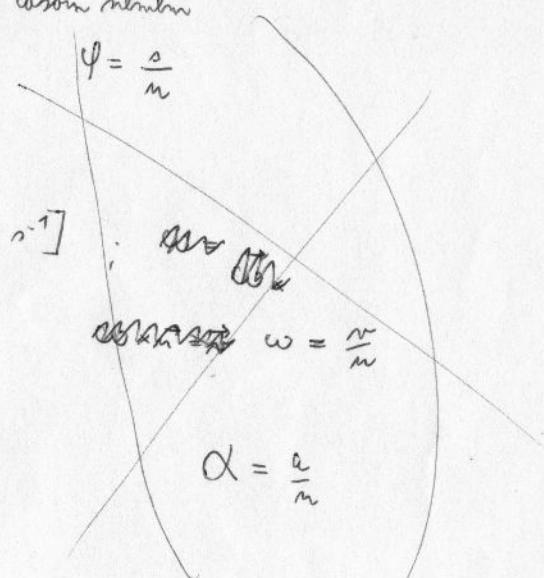
• Poloha bodu je určená:  $r$  ... polomer [m]

$\varphi$  ... uhol rotácie [rad]

• Rýchlosť poholu je určená:  $\vec{\omega}$  ... uhlová rýchlosť  $\vec{\omega} = \frac{d\varphi}{dt}$  [rad. s<sup>-1</sup>]  
 $r$  ... obvodová rýchlosť

• Znázornenie: uhlové znázornenie ...  $\vec{\alpha} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$  [s<sup>-2</sup>]

ROVNOMER, ...  $\vec{\alpha} = \vec{0}$



moment rýchlosťi:  $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m \vec{v} \quad [\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}]$

dosledové znázornenie:  $\vec{a}_d = \frac{m^2}{r} \vec{\omega} \quad [\text{m}^2 \text{s}^{-3}]$

(súč. velk.)  
 (r smere  
 zmenšovačka)

$\vec{\omega}$ $\circ$	$\vec{\omega}$ = uhlová rýchlosť $ \vec{\omega}  = \omega$ ... uhlová kružnová frekvencia $\omega = 2\pi f$
---------------------------	---

kin. energia: ...  $E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad [\text{J}]$

$\hookrightarrow$  moment zbernečnosti ...  $I = m r^2 \quad [\text{kg m}^2]$

F | 2

① NEWTONOV ZÁKON - zákon zákonitosti - "Keďkolvek bod v inerciálnej sústave zohľadzuje v položke/normomu priamočiarom pohybe, ktorý nie je mitený novými silami, ktoré sú v súlade s týmto." "

② — II — zákon sily - "v inerciálnej sústave je následná síla pôsobiacia na ktor. bod v súmene miernu hmotnosti ktorého bodu a zväčšenia, kt. sú v súlade s týmto." "(—)"

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad [N]$$

$[kg] \quad [m \cdot s^{-2}]$

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

--- síla sa novou časovou súmene pôsobí na ktorúkoli časťice, kt. spôsobí

[ALT. VERZIA]

③ — II — zákon akcie a reakcie - "dva hmot. body na seba pôsobia normovo súčinom opačného smere, kt. súčasne vznikajú aj zanikajú."

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

F | 3

$$\phi_e = \int \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\phi_i = \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q_i}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\vec{m}_i \cdot d\vec{s}}{m_i^3}$$

$$d\phi_i = \vec{E}_i \cdot d\vec{s} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_i}{m_i^3} \vec{m}_i \cdot d\vec{s} = \frac{Q_i}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\vec{m}_i \cdot d\vec{s}}{m_i^3}$$

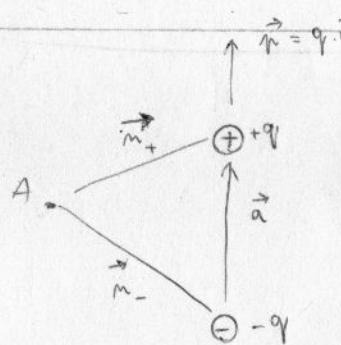
$$\phi_i = \frac{Q_i}{4\pi\epsilon_0} \cdot \oint \frac{\vec{m}_i \cdot d\vec{s}}{m_i^3}$$

$$\phi_i = \frac{Q_i}{4\epsilon_0}$$

$$\phi_e = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\epsilon_0} = \frac{\sum Q_i}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$\oint \vec{f} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\epsilon_0}$

F | 4



$$m_+ + m_- = m \Rightarrow m_- = \sqrt{(m_+ + m_-)^2} =$$

$$m_- = a + m_+ = \sqrt{(a + m_+)^2} = \sqrt{a^2 + 2am_+ + m_+^2} = m_+ + \sqrt{\frac{a^2}{m_+^2} + \frac{2am_+}{m_+^2}} + 1 = m_+ \sqrt{1 + \frac{2am_+}{m_+^2}} = m_+ \left(1 + \frac{1}{2} \frac{2am_+}{m_+^2}\right) =$$

$(a \ll m_+)$

$$V = V_+ + V_- = \frac{+q}{4\pi\epsilon_0 m_+} + \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 m_-} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{m_+} - \frac{1}{m_-} \right) =$$

$m \ll 1$   
 $(1+m)^m = 1+m \cdot n$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{m_+} - \frac{1}{m_+} \left( 1 - \frac{2am_+}{m_+^2} \right) \right) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{a} \cdot \vec{m}_+}{m_+^3} = \boxed{\frac{\vec{p} \cdot \vec{m}}{4\pi\epsilon_0 m^3}}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{p}}{2\pi\epsilon_0 m^3}$$

--> Smelzende Dipolstr.

$$\vec{E} = \frac{-\vec{p}}{2\pi\epsilon_0 m^3}$$

--> Smelzende Dipolstr.

F | 5

U DIPÓLE:

$$\text{SILA: } \vec{f} = \vec{f}_+ + \vec{f}_- = q \vec{E}_+ + (-q) \vec{E}_- = q (\vec{E}_+ - \vec{E}_-) = q \Delta \vec{E}$$

$$\text{MOMENT SILY: } \vec{m} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{a} \times \vec{f} = \vec{a} \times q \cdot \vec{E} = \vec{a} \cdot q \times \vec{E} = \vec{\mu} \times \vec{E}$$

$$\text{POLOH. ENERGIA DIPÓLU: } U_p = U_{p+} + U_{p-} = q(V_+ + V_-) = q \Delta V = -q \vec{a} \cdot \vec{E} = -\vec{\mu} \cdot \vec{E}$$

$$-\vec{E} d(\vec{a}) = dV$$

$$[A] = [z]$$

$$I = \frac{v}{a}$$

$$A = \frac{1}{2} C$$

$$Af$$

$$D = 0.1816$$

$$N \left[ \frac{C}{A} \right]$$

$$G = E \cdot \phi$$

$$\phi [A]$$

$$[J]$$

$$a_2 = 20$$

$$\frac{d}{dx} = \frac{1}{x}$$

F | 6

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E} \quad \Rightarrow \frac{\vec{P}}{V}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \vec{E} + \epsilon_0 \chi \vec{E} = \underbrace{\epsilon_0}_{\epsilon_r} (1+\chi) \vec{E} = \epsilon \vec{E}$$

$$\vec{P} \dots \text{polarizacia} \quad \left[ \frac{C}{m^2} \right]$$

$$\vec{D} \dots \text{el. inducia} \quad \left[ \frac{C}{m^2} \right]$$

$$\vec{E} \dots \text{el. intenzita} \quad \left[ \frac{N}{C} \right]$$

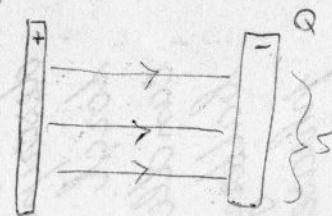
$$\epsilon_0 \dots \text{permittivita vakuu} = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$$

$$\epsilon_m \dots \text{relativna permittivita}, \epsilon_m = 1 + \chi$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_m \dots \text{skutočna permittivita}$$

$$\chi = \epsilon_m - 1 \dots \text{magnetibilita}$$

F | 7



$$V = S \cdot d$$

alejme

$$U = E \cdot d$$

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

↓

$$E_{\text{potenciál}} = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \epsilon \frac{S}{d} (E d)^2 = \frac{1}{2} \epsilon S E^2 d = \boxed{\frac{1}{2} \epsilon E^2 V}$$

F | 7.1

$$\text{Kinetická energie: } E_k = \frac{F_x}{V} = \frac{\frac{1}{2} \epsilon E^2 V}{V} = \boxed{\frac{1}{2} \epsilon E^2 V} = \frac{1}{2} D E \quad \boxed{\left[ \frac{J}{m^3} \right]}$$

Energia = praca provedená pri premiestnení náboja

$$dW = \underbrace{w(z) \cdot dz}_{\text{náplň}} = \frac{q(z)}{c} \cdot dz \quad \left( C = \frac{q(z)}{w(z)} \right)$$

$$W = \int_0^Q \frac{q(z)}{c} dz = \frac{1}{c} \cdot \frac{Q^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{c}$$

$$\Rightarrow \boxed{E_e = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{c} = \frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2} C U^2} \quad [J]$$

... TELESO

$Q_1$   $Q_2$

F 7.2

- el. prúd ... množstvo el. náloží, ktoré prejde jednotkou vodícia za jednotku času

$$I = \frac{dQ}{dt} [A]$$

$$I = q \cdot N \cdot v_d \cdot S [A]$$

- vektor prúdovej hustoty ...

$$\vec{j} = \frac{I}{S} [A \cdot m^{-2}] \dots \text{veľ. relativity, určená podielom prúdu a vektorom plochy, ktoré prechádza el. náloži}$$

$$\vec{j} = q \cdot N \cdot \vec{v}_d [A \cdot m^{-2}]$$



$$\Rightarrow I = \vec{j} \cdot \vec{S}$$



$$\vec{j} \cdot d\vec{S} = dI$$

číslom väčšie  
malyšie  
malošie

$$\oint \vec{j} \cdot d\vec{S} = I$$

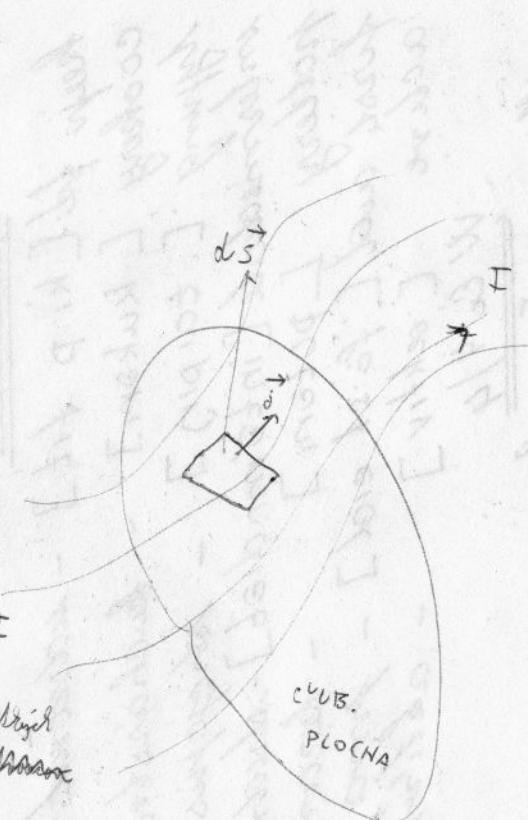
$$\oint j dS = - \frac{dQ}{dt}$$

- v stacionárnom prípade  $\Rightarrow - \frac{dQ}{dt}$  sa mení na nulovú



$$\Rightarrow \oint \vec{j} \cdot d\vec{S} = - j_1 S_1 + j_2 S_2 + j_3 S_3 = 0$$

$$- I_1 + I_2 + I_3 = 0 \Rightarrow \text{pri vlasteneckom prúdení je niesú väčší ako väčší vlastenecký prúd}$$



F | 8

Odmor zákon + dif. tvrzení:

- na dolejší volně částečná působení síla

$$\vec{f} = m \cdot \vec{a}$$

průdová proudota:  $\vec{j} = (\text{N} \cdot q) \cdot \vec{n}_a = \cancel{q} \cdot \vec{n}_a$

↓  
 objem.  
 proudota  
 malýja

elektrová výtlak:  $\vec{n}_a = m \cdot \vec{E}$ ;

→ polohovost el. malýja  $\left[ \frac{\text{m}^2}{\text{V} \cdot \text{m}^{-1}} \right]$

Konduktivita:  $\delta = A \cdot q \cdot m \quad [\text{S} \cdot \text{m}^{-1}]$

$\Rightarrow \vec{j} = \delta \cdot \vec{E}$

F | 9

- mag. indukcia:  $\vec{B} = \mu_0 \frac{\sigma}{4\pi} \oint \frac{I d\vec{l} \times \vec{n}}{l^3}$  [T]

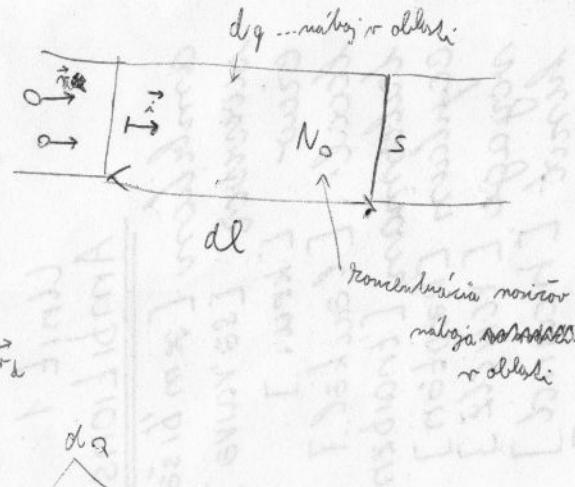
$\mu_0$  ... permeabilita [T m A<sup>-1</sup>]

- mag. sila:  $\vec{F}_m = q \vec{v} \times \vec{B}$

→ průniková indukcia  $\vec{j} = \frac{I}{S}$   ~~$\vec{j} = \mu_0 \sigma \vec{B} \vec{n}$~~

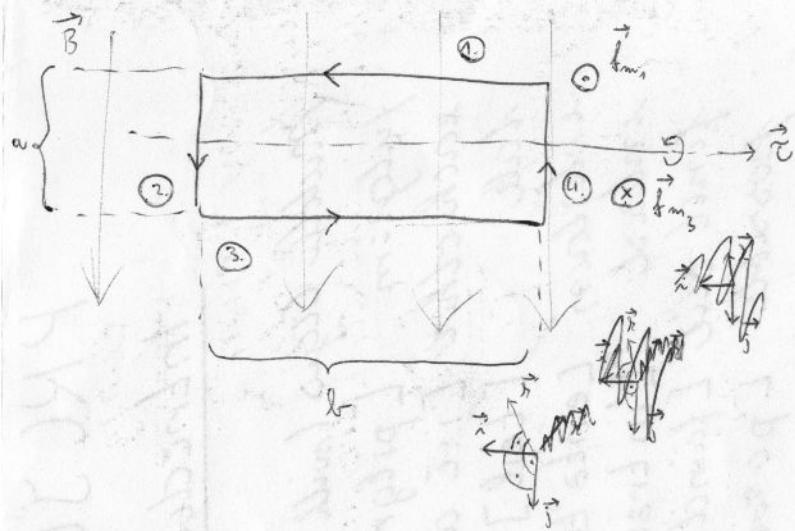
- element průnikovodíka:  $I d\vec{l} = (\vec{j} \cdot \vec{s}) d\vec{l} = (\vec{j} \cdot \vec{n} \cdot S) d\vec{l} = \vec{j} \cdot dV = \sigma \vec{n} \cdot dV = d\vec{q} \cdot \vec{n}$

$\Rightarrow d\vec{f}_m = \cancel{d\vec{q} \cdot \vec{n}} I d\vec{l} \times \vec{B} = d\vec{q} \cdot \vec{n} \times \vec{B}$



$\Sigma d\vec{q} \cdot \vec{n} = I d\vec{l}$

F | 10



$$\text{celk. sila: } \vec{F}_m = \vec{f}_{m_1} + \vec{f}_{m_2} + \vec{f}_{m_3} + \vec{f}_{m_4} = I \cdot b \cdot B \vec{j} + \theta + I \cdot b \cdot B(-\vec{i}) + \theta = \theta$$



$\Leftrightarrow$   
oddíl na kov

-> výsledek ② a ④ je  $\vec{n} \parallel \vec{B}$  a teda  $|\vec{f}_{m_2}| = |\vec{f}_{m_4}| = |\rho \vec{n} \times \vec{B}| = \theta$

-> výsledek ① a ③ mají normálové síly  $|\vec{f}_{m_1}| = |\vec{f}_{m_3}| = \oint I dl \vec{x} \times \vec{B} = [dl \perp \vec{B}]$

$$= \oint I dl \vec{B} = I \vec{B} \oint dl =$$

$b$

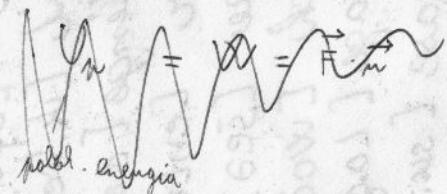
$$= I B \cdot b$$

$$\begin{aligned} \vec{\tau} &= \tau(\vec{n} \times \vec{F}) \quad \text{--- moment dvojice níž, když priblížíme hřeben} \\ \vec{\tau} &= \tau(-\vec{i}) = (-\vec{j}) \frac{a}{2} \times I b B \vec{i} - \vec{j} \frac{a}{2} \times I b B (\vec{i}) = \\ &= a I b B (-\vec{j} \times \vec{i}) = I ab \vec{i} \times B (\vec{j}) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \vec{\tau} = \boxed{I \cdot \vec{s} \times \vec{B}} \quad = \vec{m} \times \vec{B} \end{aligned}$$

pukadlo cez os otáčania a  
men má ležiť, aby sa otáčanie  
celosa videliak rôznou rúzne,  
t.j. puká menom hod. miernie

(F) 11

$$\vec{m}_m = I \cdot \vec{S} \quad [A \cdot m^2] \quad , \quad \vec{\tau} = \vec{m}_m \times \vec{B} \quad [N \cdot m]$$



pole. energia

$B$

- mag. pole posúvajúca mag. dipólov momentom m, preto koná pri jeho otáčaní prácu.

Práca sa mení na následneho výsledku potenc. energie. Posúvajúci  $\vec{\tau}$  sa môže medzi smerom  $m$  a  $\vec{B}$  zmeniť, preto sa polohu myšľaného nekonáneho malého prúdu množí:

$$dW = -dU_{pot} \quad U_{pot m}$$

$$dW = -\vec{\tau} d\varphi$$

$$\Rightarrow dU_m = m \cdot B \cdot \sin \varphi d\varphi$$

$$U_m = \int m \cdot B \cdot \sin \varphi d\varphi = m \cdot B \int \sin \varphi d\varphi = m \cdot B \cdot (-\cos \varphi) = -m \cdot B \cdot \cos \varphi \quad [J]$$

1A ... Ampér ... stály el. proude, el. pru pohybe droma priamymi rovnoležiacimi sústavami  
dlžkami rodicmi zanedbatelného prierezu smerkovanými vo veku  
vo vzáj. vzdial. 1m myrolá medzi nimi silu  $F = 2 \cdot 10^{-7} N$  na 1m dĺžky rodica.

- mag. pole v okolí ~~rodicov~~ priameho rodica:

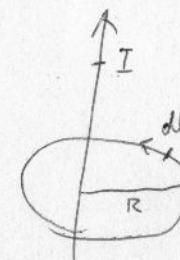
$$\text{zákon cel. prúdu: } \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

$$\text{ak } \vec{B} \parallel d\vec{l} \Rightarrow \int B \cdot dl = \mu_0 I$$

$$\text{ak } B = \text{konst.} \Rightarrow B \int dl = \mu_0 I$$

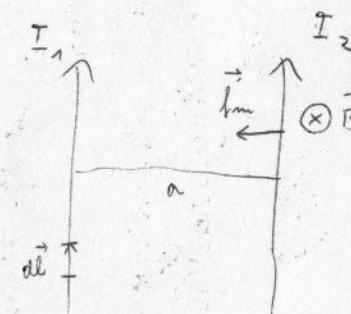
$$\frac{\mu_0}{2\pi R}$$

$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$



- sila pôsobiaca medzi 2 priamymi rodicmi:

$$d\vec{f}_m = I_2 d\vec{l}_2 \times \vec{B} = I_2 d\vec{l}_2 \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a} \\ (\vec{dl}_2 \perp \vec{B})$$



- sila na dĺžku  $d\vec{l}_2$ :

$$\vec{f}_m = \cancel{I_2} \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l_2$$

F 13

vektor magnetizácie:  $\vec{M} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum \vec{m}}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} [A_m^{-1}]$  -- vekt. súčes elem. mag. momentov na infinitesimalnej objem látky

vektor intenzity mag. pola:  $H = \frac{\vec{B}}{m_0} - \vec{M} [A_m^{-1}]$  -- vekt. veličina vyjadrujúca miernu silu, ktorá pôsobí v určitej miere pola na zadaného objem látky.

F 14

- mag. indukčního toku ... vlastína vyjadrující sítový tok vedenou mag. indukcí cez určitú plochu

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B} d\vec{s} \quad [Wb] = [T m^2]$$

- Tensor zákon ... Indukčný el. prúd v kružnikom obvode má taký smer, že posilní povolenie mag. indukč. toku, keď ho myzdola.

#### — FARAD. ZÁKON EL.-MAG. INDUKCIE:

inverzná induk. el. pola

induktívne napätie na celej ploche:  $U_i = \oint \vec{E}_i \cdot d\vec{l} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) d\vec{l} = - \oint (\vec{v} \times d\vec{l}) \vec{B} =$

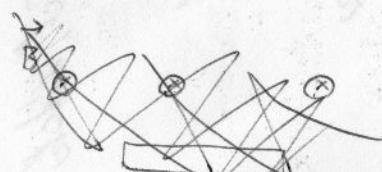
$$= - \int \frac{1}{dl} d^2 \vec{s} \cdot \vec{B} = \int - \frac{d}{dl} (\vec{B} \cdot d\vec{s}) = - \frac{d}{dl} \int \vec{B} d\vec{s} = - \frac{d\Phi_m}{dl}$$

} časová zmena mag.  
toku vedeného  
cez plochu

plocha  
okružená  
rodicou

$$\left[ \vec{v} \times d\vec{l} = \frac{1}{dl} (\vec{v} dl \times d\vec{l}) = \frac{1}{dl} d^2 \vec{s} \right]$$

pozriam



$$-\frac{d\phi}{dl}$$

"

$$\text{GZ} \quad U_e + U_i = R \cdot I$$

vlástné  
zdroje

indukované  
napětí

$$\Rightarrow U_e = \frac{d\Phi_m}{ds} + RI / .Ids$$

$$U_e Ids = \cancel{I \frac{d\phi}{dm}} + RI^2 ds$$

$\underbrace{\qquad}_{\text{tvar}}$        $\underbrace{\qquad}_{\text{energ. mag.}}$        $\underbrace{\qquad}_{\text{energ. meznice}}$   
 vlastní      roli      sa na sebe  
 energie      energie      (stav)

$$dE_m = Id\phi_m$$

$$E_m = \int_0^{I_0} Id\phi_m = \int_0^{I_0} I \cdot L \cdot dI = \boxed{\frac{1}{2} L \cdot I_0^2}$$

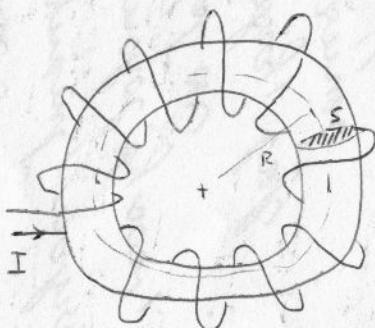
vlást. indukčnost:  $d\phi_m = L \cdot dI$

$\downarrow$   
 induktivit  
 závislost indukce

F | 16

huskola energie mag. pole ...  $E_m = \frac{E_m}{V} = \frac{\cancel{M} \cancel{I}^2}{\cancel{2}} \frac{1}{2} BH \cancel{\cancel{M}}$

TOROID:  $E_m = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \frac{m N^2 S}{2\pi R} I^2 = \frac{1}{2} \frac{m NI}{2\pi R} \frac{NI}{2\pi R} 2\pi R S = \frac{1}{2} BHV$



počet závrtov  
L  
B    N    V

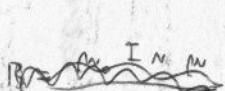
~~$B = \frac{m_0 IN}{2\pi R}$~~

~~$U_i = - \frac{d \Phi_m}{dt} = - \frac{d(BS)}{dt} = \frac{m N S dI}{2\pi R dt}$~~

~~$U = N \cdot U_i = - \left[ \frac{m N^2 S}{2\pi R} \right] \frac{dI}{dt}$~~

~~$E_m = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \Phi_m I^2 = \frac{1}{2} \Phi_m I = \frac{1}{2} BS I = \frac{1}{2} \frac{m N I}{2\pi R} S I$~~

~~$= \frac{1}{2} \frac{m N S}{2\pi R} I^2 = \frac{1}{2} \frac{m N I}{2\pi R} N I$~~



~~$U_i = - \frac{d \Phi_m}{dt} = - \frac{m NS}{2\pi R} \frac{dI}{dt} =$   
následné závrtky~~

① MAXWELL. ROVNICA:  $\oint \vec{D} d\vec{s} = Q$  ... výzadka z Gaussovy vely. Tov el. intenzity maxwellova plochou je rovný náboji na místní plochy.

② — " —  $\oint \vec{B} d\vec{s} = \emptyset$  ... tov mag. indukce maxwellova plochou je nulový.  
(zákon ~~gaussova~~ cel. pravidla)

③ — " —  $U_i = \oint \vec{E} d\vec{l} = - \frac{d \Phi_m}{ds}$ ; ... tov el. intenzity maxwellova kvádru je rovný rázové číslovej derivacií mag. indukcie pohybujúcej plochou obmedzenej maxwellovou kvádrom.

④ — " —  $\oint \vec{H} d\vec{ds} = I + \epsilon_0 \frac{d \Phi_e}{ds}$  ... tov mag. indukcie cez maxwellov kvádr je rovný náboj celkového rodiného pravidla  $I$  a posunutého pravidla. (Zosled. Ampérov zákon)

$$\epsilon_0 \frac{d \Phi_e}{ds} = \frac{d \Phi_B}{ds} \rightarrow \text{rovný pravidlo - pravidlo, ktoré je spoľahlivo zmenené el. polí (nie políkom nosičov náboja).}$$

$$\epsilon_0 \frac{d \Phi_e}{ds} = \frac{d (\epsilon_0 E \cdot s)}{ds} = \frac{d (B \cdot s)}{ds}$$

↳ Maxwell mimoriadne dokázal napr. snedlo ako el.-mag. vlnenie aj existenciu el.-mag. vlnenia ato ďalej, že pravidlo môže vzniknúť aj zmenou polí, <sup>čo</sup> el.-a mag.-polia môžu vznikať --

F | 18

$$\vec{E}(x, t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx)$$

$$\vec{B}(x, t) = \vec{B}_0 \cos(\omega t - kx)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

stacionární

el.-mag. vlny

$$\frac{\partial \vec{E}(x, t)}{\partial x} = -\frac{\partial \vec{B}(x, t)}{\partial t}$$

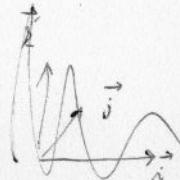
$$-E_{\max} \sin(\omega t - kx)/t = B_{\max} \sin(\omega t - kx)\omega$$

$$E_{\max} = B_{\max} \cdot \frac{\omega}{k}$$

$$\frac{\omega}{k} = \frac{2\pi f}{\frac{2\pi}{\lambda}} = f/\lambda = n$$

$$\Rightarrow B_{\max} = \frac{E_{\max}}{n} = \sqrt{\mu_0 E_0}$$

$$\Rightarrow \vec{B} = \frac{1}{n} \sqrt{\mu_0 E_0} \vec{i} \times \vec{E} = \frac{1}{n} (\vec{i} \times \vec{E})$$



$$\vec{E}(x, t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \frac{x}{n})$$

$$\vec{B}(x, t) = \vec{B}_0 \cos(\omega t - \frac{x}{n})$$

$$\frac{\partial \vec{E}(x, t)}{\partial x} = -\frac{\partial \vec{B}(x, t)}{\partial t}$$

$$\vec{E}_0 \cos(\omega t - \frac{x}{n}) \left( \frac{1}{n} \right) = -\vec{B}_0 \cos(\omega t - \frac{x}{n})$$

$$\vec{E}_0 \cdot \frac{1}{n} = \vec{B}_0$$

$$\vec{E}_0 = \vec{B}_0 \cdot n ; \quad n = c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

#/A/B

$$\vec{B} = \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \vec{i} \times \vec{E}$$

F 19

- hukola el.-mag. energie:

$$E_{\text{em}} = E_e + E_m = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} + \frac{1}{2} \vec{B} \cdot \vec{H} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{E^2}{\epsilon_0 \mu_0} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\epsilon_0 \mu_0} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\epsilon_0 \mu_0}$$

- el.-mag. energias:  $dE_{\text{em}} = E_{\text{em}} \cdot dV = E_{\text{em}} \cdot S dx = \epsilon_0 E^2 \cdot S \cdot c \cdot dx$

- hukola hukla el.-mag. energiel:  $P = \frac{dE_{\text{em}}}{ds \cdot S} = \epsilon_0 c E^2 = \epsilon_0 c E \cdot c \cdot B = \frac{\epsilon_0 c B E}{\epsilon_0 \mu_0} = [E \cdot H] \left[ \frac{W}{m^2} \right]$



$$P = E \frac{B}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0 c} E^2 = \frac{1}{\mu_0 c} E_0^2 \sin^2 \omega \left( 1 - \frac{x}{c} \right)$$

$$P = E \frac{B}{\mu_0} = \frac{B^2 c}{\mu_0} = \frac{c}{\mu_0} B_0^2 \sin^2 \omega \left( 1 - \frac{x}{c} \right)$$

hukola

$$P_{\text{hukla}} = \frac{l}{S} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{\Delta E}{\Delta t S \cdot c} = \frac{I}{c} [P_2]$$

intenzita řádnia [ $J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ]

$$I = \frac{1}{\mu_0 c} E^2 - \frac{1}{2} = \langle P \rangle$$

slv. hodnota P

energia ...  $E = \sqrt{m_e^2 c^4 + p^2 c^2}$  [J] polohy  
 polyglavýs  $\Delta E = \Delta p \cdot c$   
 m   
 časice

mídl. metoda

$$\left( \text{Pri odrazom řádku: } P_{\text{hukla}} = \frac{2 I}{c} \right)$$

- pri prechode ~~medz~~ medzi dve optické súrodnosti možno dosiať opäť optických pomerov, ktorí môžu dojsť k jeho lomu a (alebo) odrazu ak je závisomosť na obr.:

- lúč vždy odraží v novom dopadu
- uhol dopadu sa nová uhlia odrazu
- platí Snellov zákon (nov. obr.)
- ak sa lúč prechádza do opt. medzneho prostredia a má  $d_1 \geq d_m = \text{medz} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$

$$(n_1 > n_2) \quad \downarrow \quad \text{medz uhol}$$

$$\text{ak } \beta \geq 90^\circ$$

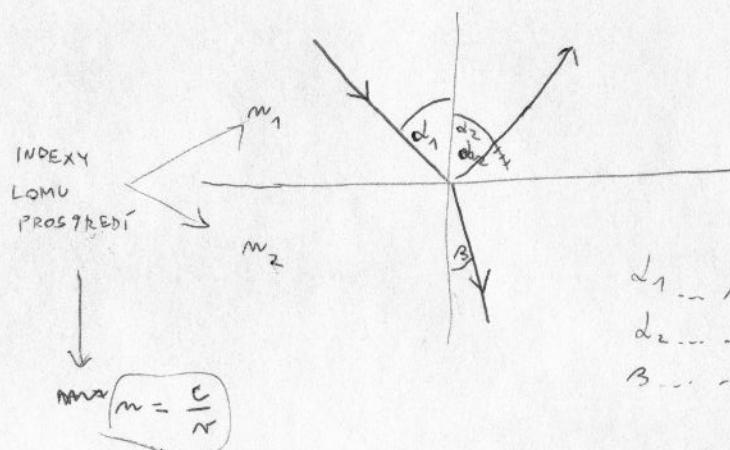
$\downarrow$

Medz lúč sa odváže napäť do ďalšieho opt. prostredia

$\downarrow$   
ÚPLNÝ ODRÁZ

↳ princip opt. vlniek - metoda lúču v miestach na miestach v miestach. Samu dopadá pod uholom  $> 90^\circ \Rightarrow$  zmena smeru odrazu

z jedného lomu na druhý



$$d_1 = d_2$$

$$n_1 \cdot \sin d_1 = n_2 \cdot \sin \beta$$

SNELLOV ZÁKON

$\alpha_1$  ... uhol dopadu  
 $\alpha_2$  ... uhlia odrazu  
 $\beta$  ... uhlia lomu

- Barevný uhol - uhol, při ktorém se z dopadajúceho nepolarizovaného svetla odraží lumen s obou polarizacemi zároveň na novom dopadu - výplň polarizace odrazeného svetla.

$$\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$$

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$$

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \left( \frac{\pi}{2} - \beta \right)$$

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \cos \beta$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{n_2}{n_1}$$

Aplikácia: ak dopadajúce svetlo nlobzuje kolmé zložky, nie sa menej.