

aktinoidy	89 Ac 227,03 10 070	90 Th 232,04 11 720	91 Pa 231,04 15 370	92 U 238,03 19 050	93 Np 237,05 20 250	94 Pu 244 19 820
lanthanoidy	57 La 138,91 6 160	58 Ce 140,12 6 770	59 Pr 140,91 6 500	60 Nd 144,24 7 010	61 Pm 145 7 220	62 Sm 150,40 7 500

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1 H 1,008 vodik	2 He 4,003 helium	3 Li 6,941 lithium	4 Be 9,012 berylitium	5 B 10,81 bor	6 C 12,011 uhlík	7 N 14,007 dusík	8 O 15,999 kyslík
9 F 18,998 fluor	10 Ne 20,179 neon	11 Na 22,990 sodík	12 Mg 24,305 hořčík	13 Al 26,982 hliník	14 Si 28,086 křemík	15 P 30,974 fosfor	16 S 32,06 síra
17 Cl 35,453 chlór	18 Ar 39,948 argon	19 K 39,098 draslík	20 Ca 40,08 vápník	21 Sc 44,956 scandium	22 Ti 47,90 titan	23 V 50,941 vanad	24 Cr 51,996 chrom
25 Mn 54,938 mangan	26 Fe 55,847 železo	27 Co 58,933 kobalt	28 Ni 58,69 nikl	29 Cu 63,546 měď	30 Zn 65,38 zinek	31 Ga 69,72 galium	32 Ge 72,59 germanium
33 As 74,922 arsén	34 Se 78,96 selen	35 Br 79,904 brom	36 Kr 83,80 krypton	37 Rb 85,468 rubidium	38 Sr 87,62 stroncium	39 Y 88,906 yttrium	40 Zr 91,22 zirkon
41 Nb 92,906 niob	42 Mo 95,94 molybden	43 Tc 97 technecium	44 Ru 101,07 ruthenium	45 Rh 102,91 rhodium	46 Pd 106,42 paládium	47 Ag 107,87 stříbro	48 Cd 112,41 kadmium
49 In 114,82 indium	50 Sn 118,71 cín	51 Sb 121,75 antimon	52 Te 127,60 tellur	53 I 126,90 jód	54 Xe 131,30 xenon	55 Cs 132,91 cezius	56 Ba 137,33 baryum
57 La 138,91 lanthanoidy	58 Ce 140,12 lanthanoidy	59 Pr 140,91 lanthanoidy	60 Nd 144,24 lanthanoidy	61 Pm 145 lanthanoidy	62 Sm 150,40 lanthanoidy	63 Eu 151,96 europium	64 Gd 157,25 gadolin
65 Tb 158,93 terbium	66 Dy 162,50 dyspros	67 Ho 164,93 holmium	68 Er 167,26 erbium	69 Tm 168,93 thulium	70 Yb 173,04 ytterbium	71 Lu 174,97 lutecium	72 Hf 178,49 hafnium
73 Ta 180,95 tantal	74 W 183,85 wolfram	75 Re 186,21 rhenium	76 Os 190,2 osmium	77 Ir 192,22 iridium	78 Pt 195,09 platina	79 Au 196,97 zlato	80 Hg 200,59 rtuť
81 Tl 204,37 thallium	82 Pb 207,20 olovo	83 Bi 208,98 bismut	84 Po 209 polonium	85 At 210 astat	86 Rn 222 radon	87 Fr 223 francium	88 Ra 226,03 aktinoidy
89 Ac 227,03 aktinoidy	90 Th 232,04 aktinoidy	91 Pa 231,04 aktinoidy	92 U 238,03 aktinoidy	93 Np 237,05 aktinoidy	94 Pu 244 aktinoidy	95 Am 243 aktinoidy	96 Cm 247 aktinoidy

Tabulka č. 2 : Periodická tabulka prvků

Tabulka č. 2

VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	0
								helium 2 He 4,003 0,19663
			bór 5 B 10,81 2 340	uhlík 6 C 12,011 2 240	dusík 7 N 14,007 1 165	kyslík 8 O 15,999 1 331	fluor 9 F 18,998 1 580	neon 10 Ne 20,179 0 839
			hliník 13 Al 26,982 2 699	křemík 14 Si 28,086 2 328	fosfor 15 P 30,974 1 828	síra 16 S 32,06 2 060	chlór 17 Cl 35,453 2 995	argon 18 Ar 39,948 1 662
	nikl 28 Ni 58,70 8 600	měď 29 Cu 63,546 8 960	zinek 30 Zn 65,38 7 140	galium 31 Ga 69,72 5 100	germanium 32 Ge 72,59 5 327	arsén 33 As 74,922 5 720	selen 34 Se 78,96 4 807	brom 35 Br 79,904 3 120
	paládium 46 Pd 106,4 12 020	stříbro 47 Ag 107,87 10 503	kadmium 48 Cd 112,41 8 650	indium 49 In 114,82 7 362	cín 50 Sn 118,71 7 298	antimon 51 Sb 121,75 9 691	tellur 52 Te 127,60 9 250	jód 53 I 126,90 4 930
	platina 78 Pt 195,09 21 450	zlato 79 Au 196,97 19 320	rtuť 80 Hg 200,59 13 546	thallium 81 Tl 204,37 11 850	olovo 82 Pb 207,20 11 350	bismut 83 Bi 208,98 9 750	polonium 84 Po 209 6 320	astat 85 At 210 ?
								radon 86 Rn 222 9,28

europium	gadolin	terbium	dyspros	holmium	erbium	thulium	ytterbium	lutecium
63 Eu 151,96 5 166	64 Gd 157,25 7 868	65 Tb 158,93 8 290	66 Dy 162,50 8 565	67 Ho 164,93 8 800	68 Er 167,26 9 050	69 Tm 168,93 9 330	70 Yb 173,04 9 660	71 Lu 174,97 8 040

americ.	curium	berkelium	kaliforn.	einstein.	fermium	mendělej.	nobelium	lawrenc.
95 Am 243 13 670	96 Cm 247 13 510	97 Bk 247 ≈14000	98 Cf 251	99 Es 254	100 Fm 257	101 Md 258	102 No 259	103 Lr 260

1. Elektrostatika.
 - 1A. Mikrostruktura elektrického náboje, Coulombův zákon.
 - 1B. Intenzita elektrického pole, pole tvořené bodovým nábojem.
 - 1C. Výpočet intenzity elektrického pole systému nábojů, Gaussova věta.
 - 1D. Potenciál elektrického pole bodového náboje, vzťah mezi intenzitou a potenciálem.
 - 1E. Výpočet potenciálu elektrického pole systému nábojů, elektrická potenciální energie.
 - 1F. Kapacita, Hustota energie elektrického pole.
 - 1G. Elektrické pole v látkách.
 - 1H. Kombinované úlohy.
2. Elektrotechnika.
 - 2A. Elektrický proud, hustota proudu.
 - 2B. Ohmův zákon.
 - 2C. Práce a výkon elektrického proudu.
 - 2D. Jednoduchý obvod. Kirchhoffovy zákony.
 - 2E. Faradayův zákon elektrolýzy.
 - 2F. Kombinované úlohy.
3. Magnetismus.
 - 3A. Magnetická indukce, Lorenzova síla, síla kterou působí magnetické pole na vodič protékající elektrickým proudem.
 - 3B. Magnetické pole ustálených proudů, Biotův-Savartův zákon, Ampérův zákon.
 - 3C. Vzájemně působení proudů.
 - 3D. Kombinované úlohy.
4. Elektromagnetická indukce.
 - 4A. Indukční tok.
 - 4B. Faradayův zákon elektromagnetické indukce.
 - 4C. Vlastní a vzájemná indukce, přechodové jevy v R-L obvodech.
 - 4D. Energie a hustota energie magnetického pole.
 - 4E. Střídavé proudy.
 - 4F. Kombinované úlohy.
5. Magnetické pole v látkách.
 - 6A. Vznik a vlastnosti elektromagnetického vlnění.
 - 6B. Intenzita elektromagnetického vlnění.
7. Optika.
 - 7A. Vlnová optika, interference.
 - 7B. Interakce elektromagnetického vlnění s látkou, polarizace.
 - 7C. Odraz a lom elektromagnetického vlnění.
 - 7D. Optické zobrazení.
 - 7E. Optické přístroje, oko.
 - 7F. Fotometrie.
 - 7G. Kombinované úlohy.
8. Principy kvantové fyziky.
 - 8A. Experimentální základy kvantové fyziky, fotoelektrický jev, teplotní záření.
 - 8B. Principy kvantové mechaniky.
 - 8C. Elektronový obal atomu.
 - 8D. Kombinované úlohy.

Obsah

V kuličkových závorkách za číselnou hodnotou konstanty jsou uvedeny směrodatné odchylky, řád odchylky souhlasí s řádem poslední platné číslice konstanty.

<i>I</i> _s	solární konstanta	1 372 W·m ⁻²
<i>l</i>	konvenční zraková vzdálenost	250 mm
<i>F</i>	Faradayova konstanta	9,648 538 33 83 (83) · 10 ⁴ C·mol ⁻¹
<i>k</i> _B	Boltzmannova konstanta	1,380 650 5 (24) · 10 ⁻²³ J·K ⁻¹
<i>b</i>	Wienova konstanta	2,897 768 5 (51) · 10 ⁻³ m·K
<i>σ</i>	Stefanov-Boltzmannova konst.	5,670 400 (40) · 10 ⁻⁸ W·m ⁻² ·K ⁻⁴
<i>μ</i> _B	Bohrův magneton	9,274 009 49 (80) · 10 ⁻²⁴ A·m ²
<i>e</i> / <i>m</i> _e	měrný náboj elektronu	1,758 819 62 (53) · 10 ¹¹ C·kg ⁻¹
<i>a</i> ₀	Bohrův poloměr (atomu H)	5,291 772 49 (24) · 10 ⁻¹¹ m
<i>m</i> _n	klidová hmotnost neutronu	1,674 927 28 (29) · 10 ⁻²⁷ kg
<i>m</i> _p	klidová hmotnost protonu	1,672 621 71 (29) · 10 ⁻²⁷ kg
<i>m</i> _e	klidová hmotnost elektronu	9,109 382 6 (16) · 10 ⁻³¹ kg
<i>u</i>	atomová hmotnostní jednotka	1,660 538 86 (28) · 10 ⁻²⁷ kg
<i>g</i> _n	normální tíhové zrychlení	9,806 65 m·s ⁻² (přesně)
<i>G</i>	gravitační konstanta	6,672 6 (9) · 10 ⁻¹¹ m ³ ·s ⁻² ·kg ⁻¹
<i>N</i> _A	Avogadrova konstanta	6,022 141 5 (10) · 10 ²³ mol ⁻¹
<i>h = h</i> /2π	Planckova konstanta	1,054 571 68 (18) · 10 ⁻³⁴ J·s
<i>h</i>		6,626 069 3 (11) · 10 ⁻³⁴ J·s
<i>e</i>	elementární náboj	1,602 176 53 (14) · 10 ⁻¹⁹ C
<i>ε</i> ₀	permitivita vakua	8,854 187 817 · 10 ⁻¹² F·m ⁻¹ (přesně)
<i>μ</i> ₀	permeabilita vakua	4π · 10 ⁻⁷ H·m ⁻¹ (přesně)
<i>c</i> ₀	rychlost světla ve vakuu	2,997 924 58 · 10 ⁸ m·s ⁻¹ (přesně)

Tabulka č. 1 : Vybrané fyzikální konstanty

Literatura

Norma ČSN ISO 31-5, *Elektřina a magnetizmus*.

Norma ČSN ISO 31-6, *Světlo a příbuzná elektromagnetická záření*.

Norma ČSN ISO 31-9, *Atomová a jaderná fyzika*.

Norma ČSN ISO 31-13, *Fyzika pevných látek*.

Kolektiv: *Výkladový slovník fyziky*. Praha: Prometheus, 1999.

ČMELÍK, M., MACHONSKÝ, L., ŠÍMA, Z. *Fyzikální tabulky*. Liberec: TUL, 2005.

KVASNICA, J. *Matematický aparát fyziky*. Praha: Academia, 1989.

ŠIMEK, L., MACHONSKÝ, L., ČMELÍK, M. *Matematika pro fyziku s příklady. Část 1*. Liberec: TUL, 2004.

HRUŠKA, J., KRAVÁRIK, J. *Fyzika I. – cvičení*. Praha: ČVUT, 1984.

KOPAL, A., ERHART, J., ČMELÍK, M., MACHONSKÝ, L. *FYZIKA II*. Liberec: TUL, 2008.

KOPAL, A. a kol. *Příklady z fyziky I*. Liberec: TUL, 2008.

MACHONSKÝ, L., ČMELÍK, M., BURIANOVÁ, L. *Fyzikálních laboratoře*. Liberec: TUL, 2007.

ŘÍMAN, E. *Fyzika v řešených příkladech*. Praha: SNTL, 1960.

SLÁDKOVÁ, J. a kol. *Sbirka úloh z fyziky*. Brno: VUT, 1998.

SODOMKA, L. a kol. *Cvičení z fyzikálních vlastností pevných látek*. Skriptum VŠST Liberec, Liberec, 1976.

WAGNER, J. a kol. *Příklady z fyziky*. 2. vyd. Skriptum VŠST, Liberec, 1988.

WAGNER, J., KOPAL, A. *Fyzika, II. díl*. Liberec: TUL, 1995.

HAJKO, V. a kol. *Fyzika v příkladech*. 6. vydání. Bratislava: Alfa, 1989.

PIŠÚT, J., ZAJAC, R. *O atómech a kvantování*. 2. vyd. Bratislava: Alfa, 1988.

The Feynman Lectures on Physics – Excercises. (ruský překlad Zadači i upražnění s odpovědmi i řešeními. Moskva: Nauka, 1978).

BUECHE, F.J. *Theory and problems of college physics*. New York: McGraw-Hill, 1979.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika, část 3: Elektřina a magnetizmus; část 4: Elektromagnetické vlny – Optika – Relativita; část 5: Moderní fyzika*. Praha: Prometheus, 2000.

IRODOV, I. Je. *Zadači po obščeј fizike*. Moskva: Nauka, 1979.

OHANIAN, H.C. *Physics*. New York: Norton, 1989.

ROBERTSON, B.C. *Modern physics for applied science*. New York: J.Wiley & Sons, 1981.

Na závěr bychom Vám rádi dali důležitě *doporučení*: neřešte úlohy bez minimální znalosti teorie a naopak nestudujte samotnou teorii bez řešení úloh. Obě složky studia se musí vzájemně doplňovat a bez toho je studium často jen ztrátou času. Přejeme Vám úspěch a mnoho radosti z vlastního objevování a pronikání do tajů fyziky.

Náš sbírka je určena studentům všech fakult, kteří mají ve svém programu základní kurz fyziky. Jsou to fakulty strojní, přírodovědně-humanitní a pedagogická, fakulta mechatroniky, informatiky a mezinoborových inženýrských studií i fakulta architektury a umění a Ústav zdravotnických studií.

Naše sbírka je určena studentům všech fakult, kteří mají ve svém programu základní kurz fyziky. Jsou to fakulty strojní, přírodovědně-humanitní a pedagogická, fakulta mechatroniky, informatiky a mezinoborových inženýrských studií i fakulta architektury a umění a Ústav zdravotnických studií.

Naše sbírka je určena studentům všech fakult, kteří mají ve svém programu základní kurz fyziky. Jsou to fakulty strojní, přírodovědně-humanitní a pedagogická, fakulta mechatroniky, informatiky a mezinoborových inženýrských studií i fakulta architektury a umění a Ústav zdravotnických studií.

Naše sbírka je určena studentům všech fakult, kteří mají ve svém programu základní kurz fyziky. Jsou to fakulty strojní, přírodovědně-humanitní a pedagogická, fakulta mechatroniky, informatiky a mezinoborových inženýrských studií i fakulta architektury a umění a Ústav zdravotnických studií.

Naše sbírka je určena studentům všech fakult, kteří mají ve svém programu základní kurz fyziky. Jsou to fakulty strojní, přírodovědně-humanitní a pedagogická, fakulta mechatroniky, informatiky a mezinoborových inženýrských studií i fakulta architektury a umění a Ústav zdravotnických studií.

Naše sbírka je určena studentům všech fakult, kteří mají ve svém programu základní kurz fyziky. Jsou to fakulty strojní, přírodovědně-humanitní a pedagogická, fakulta mechatroniky, informatiky a mezinoborových inženýrských studií i fakulta architektury a umění a Ústav zdravotnických studií.

56	9. Jaderná fyzika	56
	9A. Struktura atomového jádra. Vazební energie.	
	9B. Jaderné reakce, energetická bilance.	
	9C. Radioaktivita.	
	9D. Jaderná energetika.	
59	10. Principy fyziky pevných látek	59
	10A. Struktura pevných látek, rentgenová difrakce.	
	10B. Mechanické, tepelné, elektrické a optické vlastnosti pevných látek.	
61	Výsledky.	61
85	Tabulky.	85
88	Použitá a doporučená literatura.	88

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická

Katedra fyziky

Antonín KOPAL
Tomáš BAHNÍK
Lidmila BURIANOVÁ
Lubor MACHONSKÝ
Ladislav ŠIMEK
Karel VOKURKA

Příklady z fyziky II

Elektromagnetizmus
Optika
Jaderná fyzika
Fyzika pevných látek

$$C = \frac{Q}{U} ; E_{el} = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \tilde{Q} U = \frac{2C}{2} \cdot$$

Kapacita a energie elektrického pole nabitého kondenzátoru

$$C = \frac{Q}{\phi} \text{ [F]} .$$

Kapacita osamělého vodiče

$$w_{el} = \frac{dE_{el}}{dV} = \frac{1}{2} \epsilon_r \epsilon_0 E^2 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-3}\text{]} .$$

Objemová hustota energie elektrického pole

Napětí: $U_{AB} = \phi_A - \phi_B$

Vztah mezi intenzitou a potenciálem

$$\vec{E} = -\nabla\phi ; \phi(r) = -\int_r^\infty \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\int_r^\infty \vec{E} \cdot d\vec{r} .$$

Elektrická potenciální energie soustavy bodových nábojů

$$E_{el} = \frac{1}{2} \sum_i Q_i \phi_i .$$

Intenzita a potenciál pole vytvořeného bodovým nábojem \tilde{Q}

$$\vec{E}(r) = \frac{1}{\tilde{O}} \frac{4\pi\epsilon}{r^2} ; \phi(r) = \frac{1}{\tilde{O}} \frac{4\pi\epsilon}{r} .$$

Gaussov zákon elektrostatiky (Gaussova věta)

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \sum_i Q_i / \epsilon_0 .$$

\vec{F} je síla, kterou působí v daném místě elektrické pole na bodový náboj q .

Intenzita elektrického pole

$$\vec{E}(r) = \frac{1}{\tilde{O}} \frac{4\pi\epsilon}{r^2} \frac{q}{4\pi r^2} = \frac{1}{\tilde{O}} \frac{4\pi\epsilon}{r^2} r_{12}^2 = -\vec{r}_{21} .$$

Coulombov zákon

1. ELEKTROSTATIKA

$T_{1/2}$	poločas přeměny (rozpadu)
$U; U_i$	rozdíl potenciálů, napětí; indukované elektromotorické napětí
v_{drift}	driftová rychlost volných nosičů náboje
$v_g (v_r)$	grupová (fázová) rychlost
$w_{el} (w_{mg})$	(objemová) hustota energie elektrického (magnetického) pole
W	práce
Z	protonové číslo; impedance
$\epsilon, \epsilon_0, \epsilon_r$	permitivita, permitivita vakua, relativní permitivita
E_v	vazební energie jádra připadající na jeden nukleon
θ	Braggův úhel
λ	přeměnová konstanta; vlnová délka
μ	(lineární) součinitel zeslabení, absorpce
μ, μ_0, μ_r	permeabilita, permeabilita vakua, relativní permeabilita
$\rho; \rho(\vec{r})$	rezistivita, hustota; (objemová) hustota náboje
σ	plošná hustota náboje; hustota; Stefan-Boltzmannova konstanta
τ	délková hustota náboje
ϕ	elektrický potenciál
Φ	magnetický indukční tok; světelný tok
Φ_E	tok intenzity elektrického pole
ω	úhlová frekvence

(A.K.)	Doc. RNDr. Antonín Kopal, CSc.
(K.V.)	Prof. Ing. Karel Vokurka, DrSc.
(L.B.)	Doc. Mgr. Lidmila Burianová, CSc.
(L.M.)	Mgr. Lubor Machonský, CSc.
(L.Š.)	Mgr. Ladislav Šimek
(T.B.)	Mgr. Tomáš Bahník, Ph.D.

Příklady dvakrát podtržené jsou určeny především pro posluchače fakulty mechatroniky a mezioborových inženýrských studií a posluchače fakulty přírodovědně-humanitní a pedagogické s kombinací X–Fy.

Příklady jedenkrát podtržené především pro posluchače fakulty přírodovědně-humanitní a pedagogické s kombinací X–Fy.

Příklady čárkovane podtržené jsou určeny pro posluchače fakulty mechatroniky a mezioborových inženýrských studií.

Příklady nepodtržené jsou vhodné pro všechny posluchače absolvující základní kurz fyziky na TUL.

$$c^A(t) \text{ [Bq}\cdot\text{m}^{-3}\text{]} - \text{měrná aktivita v okamžiku } t .$$

$$9.15. A = \frac{A(0)}{\exp\left(-\frac{t}{T_{1/2}}\right)} = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 6,1 \text{ l} ,$$

$$9.14. t = \frac{\ln 2}{\ln[A(0)/A(t)]} \cdot T_{1/2} = 4220 \text{ roky} .$$

$$9.13. N_A = \frac{m \cdot \ln 2}{A(0) T_{1/2}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} ; A \text{ [Bq]} - \text{aktivita} .$$

$$N_{Na} = 3,0 \cdot 10^{12} \text{ kg} ; m_{Co} = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ kg} ; m_{Cs} = 3,1 \cdot 10^{-7} \text{ kg} .$$

$$N_{Na} = 7,75 \cdot 10^{10} ; N_{Co} = 2,39 \cdot 10^{14} ; N_{Cs} = 1,36 \cdot 10^{15} ;$$

$$9.12. a) N(0) = A(0) / \lambda ; m = N \cdot M / N_A ;$$

$$9.11. N^t(t) = N(0) - N(t) = N(0) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_{1/2}}\right) \right] = 1,44 \cdot 10^{19} .$$

$$t = \frac{\ln 2}{\ln\left[\frac{1}{1 - N^t(t)/N(0)}\right]} T_{1/2} ; t = 26,6 \text{ dne} (131 \text{ J}) ; t = 93 \text{ roky} (90 \text{ Sr}) .$$

$$N^t(t) = N(0) - N(t) .$$

9.10. Počet $N^t(t)$ jader rozpadlých do okamžiku t , je roven původnímu počtu $N(0)$ jader, zmenšenému o počet $N(t)$ jader dosud nepřeměněných v okamžiku t :

$$\lambda_m = \frac{2m_e c}{h} = 1,213 \text{ pm} .$$

9.9. Dvojice elektron-pozitron se generuje přeměnou fotonu záření v poli jader těžkých prvků. Klidová hmotnost Δm vzniklého páru je v tomto případě rovna $2m_e$. Přístetek klidové hmotnosti elektron-pozitronového páru vzniká podle Einsteina. Polocím minimální energie E_f jednoho fotonu elektromagnetického záření.

$$9.8. E_k = \frac{1}{2} m v^2 = (m^a + m_N^a) / m^a \cdot \tilde{O} = 1,52 \text{ MeV} ; \tilde{O} = 1,18 \text{ MeV} .$$

$$a) \text{ } ^1_1\text{p} ; b) \text{ } ^0_1\text{n} ; c) \text{ } ^3_6\text{Li} ; d) \text{ } ^+_0\text{e} ; e) \text{ } ^-_0\text{e} ; f) \text{ } ^1_2\text{H} .$$

9.7. Při uvedených jaderných přeměnách se musí zachovat počet nukleonů (nukleonové číslo A) a elektrický náboj (protonové číslo Z). Tedy například u přeměny a) musí platit: $14 + A_x = 17 + A_x \Leftrightarrow A_x = 1$ a $7 + 2 = 8 + Z_x \Leftrightarrow Z_x = 1$, hledaným objektem je proton ^1_1p .

9.16. a) $Q = (2m_D - m_{He} - m_n) \cdot c^2 = 5,237 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 3,269 \text{ MeV}$, na jeden nukleon $E_v = 0,817 \text{ MeV}$;

b) $Q = E_v \cdot A = 211 \text{ MeV} = 33,9 \cdot 10^{-12} \text{ J}$, $E_v = 0,9 \text{ MeV}$, $A = 235$;

c) $Q = |4E_0(\pi^+) + E_0(\pi^0) - 2E_0(p)| = 1,90 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 1180 \text{ MeV}$,

$$E_v = 590 \text{ MeV}, E_0(p) = m_p c^2 .$$

$$9.17. a) e_U = \frac{m_U}{M_U} N_A Q = 5,38 \cdot 10^{32} \text{ eV}\cdot\text{kg}^{-1} = 8,6 \cdot 10^{13} \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1} ,$$

$$m_{nafta} = \frac{e_U \cdot m_U}{e_{nafta}} \approx 2100 \text{ t} ;$$

$$b) m_U = \frac{P \tau}{\eta e_U} \approx 2,2 \text{ kg} ; c) m_U = \frac{m_{TNT} e_{TNT}}{e_U} \approx 1,5 \text{ kg} .$$

$$9.18. m \approx \frac{P t}{\eta c e_U} = 25,5 \text{ t} ; \text{ dosažený výsledek odpovídá zveřejněným údajům: z celkové závažky až 80 tun paliva se předpokládá výměna jedné třetiny palivových článků ročně.}$$

10. PRINCIPY FYZIKY PEVNÝCH LÁTEK

10.1. $m_{Cu} = M_{Cu} / N_A = A_r \cdot 10^{-3} / N_A = 1,056 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$, na jednotkovou buňku o hraně a připadají v krychlové plošně centrované soustavě právě 4 atomy :

$$a = \sqrt[3]{4m_{Cu} / \rho} = 0,361 \text{ nm} .$$

$$10.2. N_{at} = \frac{\rho a^3}{A_r u} = 2, u \text{ je unifikovaná atomová hmotnostní jednotka.}$$

Na jednotkovou buňku železa připadají 2 atomy, jedná se proto o prostorově centrovanou krychlovou mřížku.

10.3. Na jednu elementární buňku NaCl připadá po 4 atomech Na a Cl.

$$a = \sqrt[3]{\frac{4u}{\rho} (A_{rNa} + A_{rCl})} = 0,5641 \text{ nm} .$$

10.5. a) Dle Braggovy rovnice $d = \lambda_1 / 2 \cdot \sin \theta_1 = 0,236 \text{ nm}$;

b) pro jinou použitou vlnovou délku λ_2 : $\theta_2 = \arcsin\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot \sin \theta_1\right) = 8,66^\circ$.

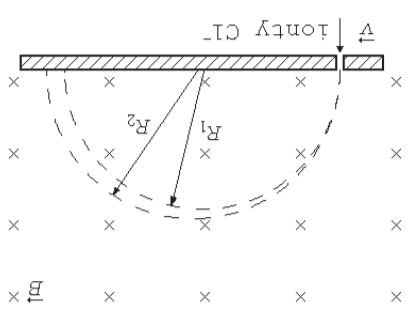
9.1. Symbolika ${}^Z_X A$, A – počet všech nukleonů v jádře atomu, Z – počet protonů, $N = A - Z =$ počet neutronů, u neutrálních atomů je počet elektronů roven počtu protonů, tedy Z . a) $Z = 92$, $N = 143$, 92 ; b) 6 , 6 , 6 ($Z = 6$ je *umtmo najiti v tabulkačh*); c) 82 , 124 , 82 ; d) 82 , 126 , 82 .

9.2. $\rho = 3m/4\pi r^3 \approx 1,8 \cdot 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $m = 12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

9.3. Průměrná relativní atomová hmotnost A_{mp} se vypočte ze vztahu $A_{\text{mp}} = p_{13} A_{13} + p_{14} A_{14} + p_{15} A_{15}$, kde p je relativní zastoupení jednotlivých izotopů, $A_{\text{mp}} = 12,011$.

9.4. Při zadané konfiguraci platí rovnost $m v^2 / R = \tilde{Q} v B$, a tedy $R_{12} = m_1 v^2 / e B$, $R_{37} = 0,182 \text{ m}$, $R_{35} = 0,173 \text{ m}$.

9.5. a) $\frac{1}{2} H : \Delta m = m_p + m_n - m_d = 3,9653 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$; $E_\nu = \Delta m \cdot c^2 = 3,5638 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 2,224 \text{ MeV}$;
b) ${}^4_2\text{He} : \Delta m = 5,04480 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$, $E_\nu = 4,53404 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 28,302 \text{ MeV}$;
9.6. ${}^{235}_{92}\text{U} : \Delta m = 3,1 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $E_\nu = 28 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 1,74 \text{ GeV}$, $E_\nu/A = 7,4 \text{ MeV}$,
 ${}^{239}_{95}\text{Pu} : \Delta m = 0,99 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $E_\nu = 8,9 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 0,55 \text{ GeV}$, $E_\nu/A = 8,5 \text{ MeV}$.



Spektrometr dobře rozliší oba izotopy: průměry kruhových trajektorií se budou lišit přibližně o 2 cm .

9.1. Symbolika ${}^Z_X A$, A – počet všech nukleonů v jádře atomu, Z – počet protonů, $N = A - Z =$ počet neutronů, u neutrálních atomů je počet elektronů roven počtu protonů, tedy Z . a) $Z = 92$, $N = 143$, 92 ; b) 6 , 6 , 6 ($Z = 6$ je *umtmo najiti v tabulkačh*); c) 82 , 124 , 82 ; d) 82 , 126 , 82 .

9.2. $\rho = 3m/4\pi r^3 \approx 1,8 \cdot 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $m = 12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

9.3. Průměrná relativní atomová hmotnost A_{mp} se vypočte ze vztahu $A_{\text{mp}} = p_{13} A_{13} + p_{14} A_{14} + p_{15} A_{15}$, kde p je relativní zastoupení jednotlivých izotopů, $A_{\text{mp}} = 12,011$.

9.4. Při zadané konfiguraci platí rovnost $m v^2 / R = \tilde{Q} v B$, a tedy $R_{12} = m_1 v^2 / e B$, $R_{37} = 0,182 \text{ m}$, $R_{35} = 0,173 \text{ m}$.

9.5. a) $\frac{1}{2} H : \Delta m = m_p + m_n - m_d = 3,9653 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$; $E_\nu = \Delta m \cdot c^2 = 3,5638 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 2,224 \text{ MeV}$;
b) ${}^4_2\text{He} : \Delta m = 5,04480 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$, $E_\nu = 4,53404 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 28,302 \text{ MeV}$;
9.6. ${}^{235}_{92}\text{U} : \Delta m = 3,1 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $E_\nu = 28 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 1,74 \text{ GeV}$, $E_\nu/A = 7,4 \text{ MeV}$,
 ${}^{239}_{95}\text{Pu} : \Delta m = 0,99 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $E_\nu = 8,9 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 0,55 \text{ GeV}$, $E_\nu/A = 8,5 \text{ MeV}$.

9. JADERNÁ FYZIKA

a) $\lambda = c/f \approx 0,015 \text{ nm}$; b) $E_k = hf_0 - hf = hf_0(1 - \cos \alpha)$, $f_0 = c/\lambda_0$.

8.31. $f = \frac{1 + \frac{m_0 c^2}{h f_0} (1 - \cos \alpha)}{f_0}$, $f_0 = c/\lambda_0$;

8.30. $\lambda_0 = \lambda - \frac{m_0 c}{h} (1 - \cos \alpha) = 1,489 \text{ pm}$.

10.6. a) $a = \sqrt[3]{\frac{N_{\text{at}} A_{\text{r}} u}{\rho}} = 0,405 \text{ nm}$, $N_{\text{at}} = 4$ (krychlová plošně centrovaná);

b) $a = \frac{\lambda \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot \sin \theta} = 0,406 \text{ nm}$;

pro krychlovou mřížku platí: $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$.

10.7. $\sigma_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^4} = 36,5 \text{ GPa}$.

10.8. a) $Q_{T_1 \rightarrow T_2} = m \cdot k \cdot \int_{T_1}^{T_2} T^3 dT$, $Q_{0 \rightarrow 10} = 2500 \cdot m \cdot k \text{ (J)}$;

b) $\bar{c}(T_1, T_2) = \frac{1}{m} \frac{Q_{T_1 \rightarrow T_2}}{T_2 - T_1} = 250 \cdot k \text{ (J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$; c) $c(10) = 1000 \cdot k \text{ (J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$

10.9. Klasicky: $R_H = \rho \cdot b_h = 36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,

kvantově: $R_H = \frac{3\pi}{8} \rho \cdot b_h = 42 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

10.10. a) $n = 5,862 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$;

b) $E_F = \frac{\hbar^2}{2m_e} (3\pi^2 n)^{2/3} = 8,836 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 5,515 \text{ eV}$;

c) $T_F = E_F / k_B = 64030 \text{ K}$, $v_F = \frac{\hbar}{m_e} (3\pi^2 n)^{1/3} = 1,39 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

d) $a = 0,4086 \text{ nm}$ (viz příklad 10.1).

10.11. Dosadíme do zadané rovnice za n_e : $n_e = \frac{\rho_{\text{led}} N_A \cdot 10}{M_{\text{H}_2\text{O}}}$.

Po algebraických úpravách vychází:

$\omega_0 = 4,0 \cdot 10^{16} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, $f_0 = 0,63 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$ – rezonance by v tomto modelu nastala pro tvrdé UF záření.

1.7. a) Jak velká elektrická síla bude působit na prachovou částici nesoucí právě jeden elementární náboj, která se nachází v homogenním elektrickém poli intenzity velikosti $E = 50 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$?
b) Jak velké bude zrychlení částice, je-li její hmotnost $m = 10^{-11} \text{ g}$ a tíhově i odporové síly je možno zanedbat?

1B. Intenzita elektrického pole, pole tvořené bodovým nábojem.

a) (naopak).
b) Druhý náboj velikosti $-1 \mu\text{C}$ je v místě o souřadnicích (4; -2; 0) m. Nalezněte souřadnice elektrické síly, kterou působí první náboj na druhý.
c) S jakou frekvencí elektron obíhá?
d) Jaká je velikost rychlosti oběhu elektronu?
e) Předpokládejte, že vlivem odstředivé síly, kterou působí jádro na elektron, obíhá elektronem a protonem v Bohrově modelu atomu vodíku z počátku 20. století.
f) Srovnajte velikosti přitažlivé gravitační a elektrické síly mezi

dvě stejné velké kovové kuličky byly nabity náboji $\tilde{Q}_1 = +25 \mu\text{C}$ a $\tilde{Q}_2 = -7 \mu\text{C}$. Kuličky se dotkly, takže se jejich náboje vyrovnaly. Poté se rozestoupily do vzdálenosti $r = 0,3 \text{ m}$. Stanovte velikost síly, kterou se v této vzdálenosti kuličky odpuzují.
a) Srovnajte velikosti přitažlivé gravitační a elektrické síly mezi elektronem a protonem v Bohrově modelu atomu vodíku z počátku 20. století.
b) Jaká je velikost rychlosti oběhu elektronu?
c) Jaká je, podle Newtonových zákonů, velikost jeho normálového zrychlení?
d) S jakou frekvencí elektron obíhá?
e) Jaká je velikost rychlosti oběhu elektronu?
f) Předpokládejte, že vlivem odstředivé síly, kterou působí jádro na elektron, obíhá elektronem a protonem v Bohrově modelu atomu vodíku z počátku 20. století.

1.3. Dvě stejné velké kovové kuličky byly nabity náboji $\tilde{Q}_1 = +25 \mu\text{C}$ a $\tilde{Q}_2 = -7 \mu\text{C}$. Kuličky se dotkly, takže se jejich náboje vyrovnaly. Poté se rozestoupily do vzdálenosti $r = 0,3 \text{ m}$. Stanovte velikost síly, kterou se v této vzdálenosti kuličky odpuzují.
a) Srovnajte velikosti přitažlivé gravitační a elektrické síly mezi elektronem a protonem v Bohrově modelu atomu vodíku z počátku 20. století.
b) Jaká je velikost rychlosti oběhu elektronu?
c) Jaká je, podle Newtonových zákonů, velikost jeho normálového zrychlení?
d) S jakou frekvencí elektron obíhá?
e) Jaká je velikost rychlosti oběhu elektronu?
f) Předpokládejte, že vlivem odstředivé síly, kterou působí jádro na elektron, obíhá elektronem a protonem v Bohrově modelu atomu vodíku z počátku 20. století.

1.2. Jaká je velikost přitažlivé elektrické síly, kterou působí všechny elektrony v jedné sklenici vody (viz předchozí úlohu) na všechny protony ve stejné sklenici vzdálené $r = 10 \text{ m}$? Sklenice považujte, vzhledem k jejím vzdálenostem, za bodové objekty.
a) Srovnajte velikosti přitažlivé gravitační a elektrické síly mezi elektronem a protonem v Bohrově modelu atomu vodíku z počátku 20. století.
b) Jaká je velikost rychlosti oběhu elektronu?
c) Jaká je, podle Newtonových zákonů, velikost jeho normálového zrychlení?
d) S jakou frekvencí elektron obíhá?
e) Jaká je velikost rychlosti oběhu elektronu?
f) Předpokládejte, že vlivem odstředivé síly, kterou působí jádro na elektron, obíhá elektronem a protonem v Bohrově modelu atomu vodíku z počátku 20. století.

1.1. Jaký je celkový kladný náboj protonů a záporný náboj elektronů ve sklenici vody o objemu 250 ml ?

1A. Mikrostruktura elektrického náboje. Coulombův zákon.

$$C = \epsilon \frac{S}{d}, \quad \epsilon = \epsilon_r \epsilon_0.$$

Kapacita deskového kondenzátoru

Použité symboly, značky a zkratky

$\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$	základní mřížkové vektory
$A; A(t)$	nukleonové číslo; aktivita
\vec{B}	magnetická indukce
c	(fázová) rychlost šíření elektromagnetických vln
c_A	objemová aktivita
C	elektrická kapacita
d	mezirovninná vzdálenost; průměr
\vec{D}	elektrická indukce
e	elementární náboj
E_F	Fermiho energie
$E_k (E_p)$	kinetická (potenciální) energie
E_V	vazební energie jádra
\vec{E}	intenzita elektrického pole
f	kmitočet, frekvence; ohnisková vzdálenost
G	gravitační konstanta
h, \hbar	Planckova konstanta
i	časově proměnný elektrický proud: $i = i(t)$
I	elektrický proud; intenzita elmag. vlnění; svítivost
I_S	solární konstanta
\vec{j}	plošná hustota elektrického proudu (proudová hustota)
\vec{J}	magnetická polarizace
k	velikost (úhlového) vlnového vektoru
k_B	Boltzmannova konstanta
L	vlastní indukčnost; jas
m_e, m_p, m_n	klidová hmotnost elektronu, protonu, neutronu
\vec{m}	magnetický (plošný) moment
M	molární hmotnost; vzájemná indukčnost; intenzita vyzařování
\vec{M}	magnetizace; moment síly
n	hustota nosičů náboje; index lomu; hlavní kvantové číslo
N	počet závitů vinutí; neutronové číslo
N_A	Avogadrova konstanta
N_f	počet fotonů
P	výkon (pro stejnosměrný proud), činný výkon (pro stř. proud)
\vec{P}	elektrická polarizace
Q, q	elektrický náboj
r	vzdálenost
\vec{r}	polohový vektor
R	elektrický odpor, rezistance; poloměr
S	plocha
t	čas

- 8.11. a) $T_Z = \sqrt{\frac{4\sigma}{I_S}} = 279 \text{ K}$; b) $T_N = \sqrt{\frac{4\sigma}{I_N}} = 51 \text{ K}$, $I_N = I_S \left(\frac{r_N}{r_Z}\right)^2$.
 c) $t = M_S \cdot c^2 / 100P = 4,60 \cdot 10^{18} \text{ s} \approx 1,5 \cdot 10^{11} \text{ let}$.
- 8.10. a) $P/S = \sigma T^4 = 63,5 \text{ MW} \cdot \text{m}^{-2}$; b) $P = 4\pi R_S^2 \sigma T^4 = 3,91 \cdot 10^{26} \text{ W}$;
 8.9. $T_S = \sqrt[4]{\frac{I_S r_Z^2}{\sigma R_S^2}} = 5790 \text{ K}$, $r_Z - \text{vzdálenost Slunce-Země}$.
- 8.8. a) 14500 K , b) 5270 K , c) 3625 K .
 8.7. a) $0,193 \text{ nm}$, b) $1,79 \mu\text{m}$, c) $9,35 \mu\text{m}$, d) $1,05 \text{ mm}$.
- 8.6. Lineární regrese dá výsledky: $h = 6,671 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $M = 1,87 \text{ eV}$.
 8.5. $W = \frac{hc}{\lambda} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) = 3,02 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,88 \text{ eV}$, $k = 2$.
 8.4. a) $W = hc/\lambda_1 - E_{K1} = 2,26 \text{ eV}$, odpovídá výstupní práci pro sodík (viz tab. 8.1.); b) $E_{K2} = hc/\lambda_2 - W \approx 2,62 \text{ eV}$.
- 8.3. a) $N_f = \frac{E}{h\nu} = 3,5 \cdot 10^{18}$,
 b) $p = \frac{4E(r+1)}{4E(r+1)} = 127 \text{ kPa}$, $r = 0,5$ je součinitel odrazivosti.
- 8.2. a) $n = \frac{N_f}{P} = \frac{hc}{\lambda} = 1,6 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$; b) $F = \frac{c}{P} = 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ N}$.
- 8.1. $N_f = \frac{E}{h\nu} \approx 900$, $E = N_f \cdot E_f$.

8. PRINCIPY KVANTOVÉ FYZIKY

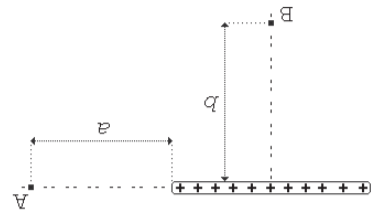
- 7.52. $T_S = \frac{4\pi R_S \lambda_\nu}{\Delta \lambda \cdot c} = 2,17 \cdot 10^6 \text{ s} \approx 25 \text{ dnů}$; $R_S = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$.
 7.51. $M = \frac{2\pi G}{c^3} \frac{z}{\lambda} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, $p = \frac{h}{\lambda} = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ m}$, $z = \Delta \lambda / \lambda_\nu$.
 7.50. Rayleighovo kritérium pro kruhový otvor průměru d : $d \cdot \sin \alpha = 1,22 \lambda$
 $\Delta = \alpha \cdot D_{ZJ} = 60420 \text{ km}$ (nejmenší vzdálenost dvou bodových zdrojů světla).

- 8.12. $I = \frac{\pi d T^2}{2} \sqrt{\frac{\sigma d}{\rho}} = 1,48 \text{ A}$.
- 8.13. $\tau = \frac{cd\rho}{12\sigma} \left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3} \right)$; a) $\tau_a = 0,58 \text{ s}$; b) $\tau_b = 30 \text{ s}$.
- 8.14. a) $\frac{P_{\text{vyz}} - P_{\text{abs}}}{S} = \sigma (T_1^4 - T_2^4) = 693 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
 b) $\left(\frac{P_{\text{vyz}} - P_{\text{abs}}}{S} \right)^* = A_3 \sigma (T_1^4 - T_3^4) = 89 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$; c) $T_3 = \sqrt[4]{\frac{T_1^4 + T_2^4}{2}} = 323 \text{ K}$.
- 8.15. $\lambda = h/\sqrt{2m_e eU} = 86,7 \text{ pm}$.
- 8.16. a) $\lambda = h/\sqrt{2m E_K}$, $\lambda_e = 1,23 \cdot 10^{-10} \text{ m}$; b) $\lambda_p = 2,86 \cdot 10^{-12} \text{ m}$,
 $\lambda_f = hc/E = 1,24 \cdot 10^{-8} \text{ m}$: $\lambda_p < \lambda_e < \lambda_f$.
- 8.17. $\lambda = h/\sqrt{3k_B T M/N_A} = 1,04 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,104 \text{ nm}$.
- 8.18. $\Delta v \approx \hbar/m_e \Delta x = 2,3 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\Delta v \approx v_{1\text{Bohr}}$ (srovnej př. 8.23. b)).
- 8.19. a) $\Delta v \approx 230 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; b) $\Delta v \approx 0,13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; c) $\Delta v \approx 0,54 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.
- 8.20. a) $\rho_1(x) = \frac{2}{a} \cdot \sin^2 \frac{\pi x}{a}$, maximum v bodě o souřadnici $x = a/2$,
 $\rho_2(x) = \frac{2}{a} \cdot \sin^2 \frac{2\pi x}{a}$, maxima v bodech o souřadnicích $x = a/4$, $x = 3a/4$;
 b) $\rho(x;t) = \frac{1}{2} \left(\rho_1(x) + \rho_2(x) + \frac{4}{a} \cdot \sin \frac{\pi x}{a} \cdot \sin \frac{2\pi x}{a} \cdot \cos \frac{E_2 - E_1}{\hbar} t \right)$.
 Hustota je nyní periodickou funkcí času s frekvencí $f_r = \frac{E_2 - E_1}{h}$ (tzv. kvantové rázy).
- 8.21. a) Integrujeme od 0 do a : $D \approx \exp \left[-\frac{2a}{\hbar} \sqrt{2m(E_{p0} - E)} \right]$,
 b) $x_1 = \frac{Ea}{E_{p0}}$, $x_2 = a$; $D \approx \exp \left[-\frac{4a\sqrt{2m}(E_{p0} - E)^{3/2}}{3\hbar E_{p0}} \right]$,
 c) $x_{1,2} = \pm a \sqrt{\frac{E_{p0} - E}{E_{p0}}}$; $D \approx \exp \left[-\frac{\pi a}{\hbar} \sqrt{\frac{2m}{E_{p0}}} (E_{p0} - E) \right]$.

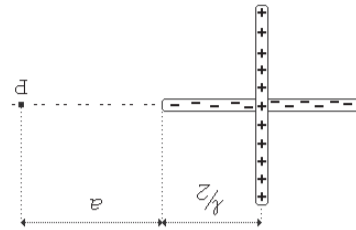
- 1.26. Vzdálenost mezi bodovými náboji $Q_1 = -3 \mu\text{C}$ a $Q_2 = +2 \mu\text{C}$ je rovna 5 cm . Najděte plochu nulového potenciálu elektrického pole tvořeného oběma náboji ve vakuu. (L.M.)
- 1.25. Volný elektron je zpochybněn v klidu ve velké vzdálenosti od osamoceného protonu. Vlivem coulombovské síly je elektron přitahován k protonu, který zůstává přibližně v klidu. Jak velkou rychlost bude elektron mít ve vzdálenosti $r = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ od protonu? (T.B.)
- 1.24. Kovová koule poloměru R_1 je nabita nábojem Q a obklopana koncentrickou koulovou vrstvou o vnitřním poloměru R_2 a vnějším poloměru R_3 . Následující integrál může být užitečný: $\int x^2 e^{-x} dx = -e^{-x}(x^2 + 2x + 2)$. (T.B.)
- Najděte velikost intenzity elektrického pole tvořeného nábojem protonu jako funkci r . Jakou bude mít hodnotu pro $r = 10^{-15} \text{ m}$? (T.B.)
- 1.23. Náboj protonu není soustředěn v bodě, ale spíše rozložen v jistém objemu. Na základě experimentu lze rozložením náboje protonu přibližně popsat objemovou hustotu náboje ve tvaru exponenciální funkce radiální vzdálenosti r od středu protonu $\rho(r) = \frac{e}{8\pi b^3} \exp(-r/b)$, $b = 0,23 \cdot 10^{-15} \text{ m}$. (L.S.)
- 1.22. Náboj je rovnoměrně rozložen s objemovou hustotou ρ v objemu relativně velké rovinné desky o tloušťce d . Osa x je kolmá na desku, její průsečíky s polovinami desky mají souřadnice $x = \pm d/2$. Určete x -ovou souřadnici intenzity elektrického pole tvořeného deskou v závislosti na x . Uvažte případy $|x| > d/2$ a $|x| < d/2$. (T.B.)
- 1.21. Relativně dlouhá válcová vrstva s vnitřním poloměrem r_1 a vnějším r_2 je nabita s konstantní objemovou hustotou náboje ρ . Určete celkový náboj připadající na jednotku délky vrstvy (měřeno podél osy válece) τ [C/m]. Prostřednictvím této délkové hustoty náboje vyjádřete velikost intenzity elektrického pole tvořeného nabitou vrstvou v oblastech $r < r_1$, $r_1 < r < r_2$ a $r > r_2$ v závislosti na vzdálenosti r od osy válece. Vrstva má elektrické vlastnosti vakua. (T.B.)
- 1.13. Dva tenké velmi dlouhé vodiče, uložené rovnoběžně ve vzájemné vzdálenosti d od sebe, jsou stejnoměrně nabity opačnými náboji délkové hustoty $+\tau$ a $-\tau$. Určete velikost intenzity elektrického pole v bodě, který má stejnou vzdálenost od obou vodičů a leží ve vzdálenosti x od roviny těchto vodičů. (L.S.)
- 1.14. Dvě dlouhá přímá a rovnoběžně umístěná (ve vzájemné vzdálenosti d) vlákna jsou kladně nabita s délkovou hustotou náboje τ . Najděte velikost intenzity $E_v = |\vec{E}_v|$ elektrického pole tvořeného vlákny v bodech vzdálených $2d$ od každého vlákna. Načrtněte obrázek znázorňující směr vektoru \vec{E}_v . (T.B.)
- 1.15. Užitím vztahu pro intenzitu pole bodového náboje určete, jak velká je intenzita elektrického pole vytvořeného v blízkosti velké rovinné plochy, na níž je náboj rozložen rovnoměrně s plošnou hustotou σ . (T.B.)
- 1.16. Elektrický náboj je rozložen na třech velkých rovnoběžných horizontálních listech papíru. Jednotlivé listy jsou nabity konstantními plošnými hustotami $+2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}$, $+2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}$ a $-2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}$ a jsou od sebe vzdáleny 1 cm . Najděte velikost intenzity elektrického pole: a) bezprostředně nad, b) mezi a c) bezprostředně pod listy. Nakreslete směr vektoru intenzity v každé ze čtyř zmíněných oblastí. (T.B.)
- 1.17. Intenzita elektrického pole Země má za jasného dne při povrchu velikost $E = 100 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ a míří vertikálně dolů. Pod povrchem Země je elektrické pole nulové, protože půda je vodivá. Uvažujte pomyslnou krychli o hraně $a = 1 \text{ m}$ s polovinou objemu pod a s polovinou nad zemí. Podstava krychle o obsahu $S = a^2$ je rovnoběžná s povrchem Země.
 a) Jaký je tok intenzity elektrického pole povrchem krychle?
 b) Jak velký je náboj uvnitř krychle? (T.B.)
- 1.18. Pomocí Gaussovy věty najděte intenzitu elektrického pole
 a) bodového náboje Q , ve vzdálenosti r od tohoto náboje,
 b) dlouhého přímého tenkého vlákna nabitého s délkovou hustotou náboje τ , ve vzdálenosti a od vlákna,
 c) v blízkosti rovinné desky nabitě s plošnou hustotou σ . (T.B.)
- 1.19. Uvažujte proton jako bodový náboj v centru kuličky o poloměru $R_p = 10^{-15} \text{ m}$.
 a) Jak velká je intenzita elektrického pole na povrchu kuličky?
 b) Jak velká odpudivá síla působí mezi dotýkajícími se protony? (T.B.)
- 1.20. Představte si, že nabijete kovovou kuličku o poloměru $R = 0,5 \text{ cm}$. Jak velký náboj na ni lze převést, než dojde k výboji v okolním vzduchu? Kritická velikost intenzity elektrického pole při níž dochází k výboji ve vzduchu je za normálního tlaku $E_{\text{krit}} = 3 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$. (T.B.)

- c) Nakreslete grafy $\phi = \phi(z)$ pro případy a) a b). (T.B.)
 b) Nulovou hodnotu potenciálu zvolte ve výšce z_0 nad deskou.
 a) Místo nulové hodnoty potenciálu zvolte na povrchu desky.
 pole ve vzdálenosti z nad touto deskou?
 hustotou σ a vytváří ve své blízkosti homogenní elektrické pole. Jaký je potenciál

Obr. 1.3a



Obr. 1.3b



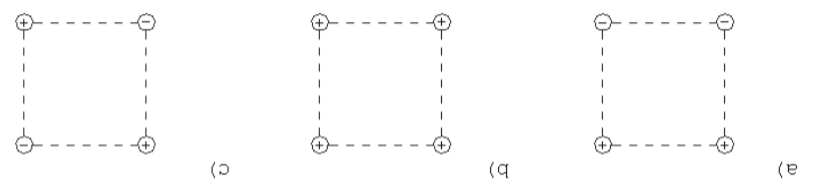
- tymi tycemi v bodě P. (T.B.)
 mčně rozložené naboje $\pm Q$. Určete potenciál elektrického pole tvořeného nabi-
 1.29. Náběj Q je rovnoměrně rozložen podél tyče délky l . Najděte potenciál
 pole tvořeného touto nabitou tyčí ve vzdálenosti a od konce tyče a ve vzdálenosti
 b od středu tyče (viz obrázek 1.3a). (T.B.)
 1.30. Dvě tyče stejné délky l jsou uspořádány dle obrázku 1.3b a nesou rovno-

IE. Výpočet potenciálu elektrického pole systému nábojů.

- Elektrická potenciální energie.
 1.28. Mezera mezi elektrodami zapalovací svíčky automobilu je $d = 0,6$ mm.
 Jaké minimální napětí je zapotřebí, aby mezi elektrodami vzniklo elektrické pole
 o střední intenzitě velikosti $E = 3 \cdot 10^6$ V·m⁻¹, potřebné k vytvoření jiskry? (T.B.)
 1.27. Ve vrcholech čtverce o straně $0,06$ m jsou umístěny ve vakuu náboje ± 1 nC.
 Určete velikost a směr intenzity i potenciál elektrického pole tvořeného danými
 náboji ve středu čtverce pro následující polaritu nábojů:

(L.B.+L.M.+L.S.)

Obr. 1.2.



- 1.27. Ve vrcholech čtverce o straně $0,06$ m jsou umístěny ve vakuu náboje ± 1 nC.
 Určete velikost a směr intenzity i potenciál elektrického pole tvořeného danými
 náboji ve středu čtverce pro následující polaritu nábojů:

- 1.8. V Millikanově experimentu byl měřen elementární náboj e studiem po-
 hybu malých olejových kapek v elektrickém poli. Kapky nesly celistvý násobek
 elementárního náboje (tedy $1e, 2e, 3e, \dots$). Při vhodné velikosti intenzity verti-
 kálně orientovaného homogenního elektrického pole kompenzovala elektrická síla
 působící na kapku tíhovou silou, a kapka se bez zrychlení vznášela ve vzduchu.
 Předpokládejte, že kapka o poloměru $R = 10^{-6}$ m nesla náboj $2e$. Jak velké inten-
 zity elektrického pole bylo zapotřebí ke kompenzaci tíhové síly?
 Hustota oleje je $\rho = 800$ kg·m⁻³. (T.B.)

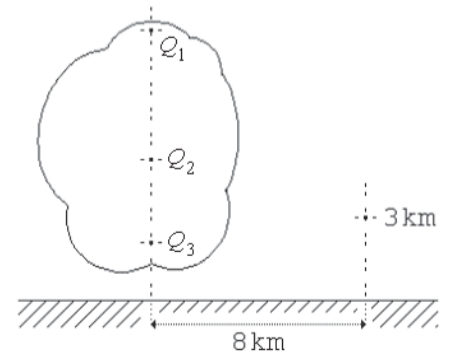
- 1.9. Jiskrový výboj ve vzduchu nastává, dosáhne-li intenzita elektrického pole
 velikosti $E_p = 3 \cdot 10^6$ V·m⁻¹. Při této intenzitě jsou volné elektrony přítomné v atmo-
 sféře urychleny na takovou rychlost, že nárazem uvolňují elektrony vázané v ato-
 mech a tak vytváří lavinu pohybujících se elektronů (proud). Jakou dráhu musí
 volný elektron podél siločar uvedeného homogenního pole urazit, aby získal ki-
 netickou energii $\Delta E_k = 3 \cdot 10^{-19}$ J, potřebnou k ionizaci nárazem? (T.B.)

- 1.10. Určete velikost intenzity elektrického pole tvořeného elektrickým dipólem
 momentu $\vec{p} = Q\vec{d}$ ve vakuu (vektor \vec{d} směřuje od bodového náboje $-Q$ k náboji $+Q$)
 a) na podélné ose symetrie dipólu,
 b) na příčné ose symetrie dipólu,

jako funkci vzdálenosti a od středu dipólu. Jaký směr má intenzita v obou přípa-
 dech? Jak velká bude intenzita ve velmi velké vzdálenosti od dipólu? (L.Š.+T.B.)

- 1.11. Na obrázku je schematické
 rozložení náboje uvnitř bouřkového
 mraku. Ve výšce 10 km nad zemí je
 náboj $Q_1 = 40$ C, ve výšce 5 km náboj
 $Q_2 = -40$ C a ve 2 km náboj $Q_3 = 10$ C.
 Tyto náboje považujte za bodové.

Jaká bude intenzita \vec{E} elektrického
 pole, které tyto náboje vytvoří ve
 výšce 3 km nad zemí a ve vzdá-
 lenosti 8 km od vertikální osy mra-
 ku? (T.B.)



Obr. 1.1

1C. Výpočet intenzity elektrického pole systému nábojů. Gaussova věta.

- 1.12. Užitím vztahu pro výpočet intenzity elektrického pole tvořeného bodovým
 nábojem vypočítejte velikost intenzity elektrického pole ve vzdálenosti a od velmi
 dlouhého tenkého přímého vlákna nabitého kladným nábojem s konstantní délko-
 vou hustotou τ . Vlákno je umístěno ve vakuu. (L.Š.)

- 7.49. $v = 2hf/\lambda/d = 7,2$ km·s⁻¹.
 7.48. $L \approx 4Ed^2/M/\pi d^2 = 3300$ cd·m⁻².
 7.47. a) $\Phi_0 = Eab = 5000$ lm; b) $L = \rho \cdot E/2\pi = 32$ cd·m⁻², $\rho = 0,8$.
 7.46. $h = \sqrt{S/2} = 2,5$ m. $t_2 = 0,62$ s.
 7.44. $h = R\sqrt{2}/2 = 71$ cm.
 7.43. $x = 53,4$ m.
 a) $k = 0,73$; b) $k = 0,4$; c) $k = 0,92$; d) $k = 0,89$.
 7.42. $E/E_R = \cos(\phi - \phi_R)$, ϕ je zeměpisná šířka.
 7.41. $E_X = E_Z(r_Z/r_X)^2$; a) $E_{\text{mars}} \approx 43000$ lx; b) $E_{\text{venus}} \approx 191000$ lx.
 7.40. $E_2/E_1 = \frac{d_2^2}{d_1^2} = 375$.
 7.39. $-\Delta r = -\frac{E_2 - E_1}{E_1} \cdot 100\% = -\frac{E_1}{E_2 - E_1} \cdot 100\% = -\frac{h^3}{h^2 + d^2} \cdot 100\% = 14,6\%$.
 b) $E_S = \frac{\Phi h}{2\pi(h^2 + d^2/4)^{3/2}} = 23,1$ lx.
 7.38. a) $E = \frac{4\pi}{\Phi} \left(\frac{h^2}{1} + \frac{d^2}{h} \right)^{3/2} = 21,3$ lx;
 7.37. a) $\Phi = IS/r_1^2 = 1,875$ lm; b) $\Phi' = IS[1/r_1^2 + 1/(r_1 + r_2)^2] = 2,708$ lm.
 7.36. a) $f_2 = f_0/(f_0 - f_1) = -0,22$ m; b) $r_2 = 0,9$ cm.
 c) $d = \frac{a \cdot f_1}{a - f_1} - |f_2| = 27,5$ cm; d) $\Delta d = f_2^2/(a - f_1) = 4,6 \cdot 10^{-3}$ m.
 7.35. a) $\beta = |f_1|/|f_2| = 10$; b) $\beta = \frac{a f_1}{a - f_1} = 10,2$;
 f_1 a f_2 - ohniskové vzdálenosti objektivu a okuláru, $\Delta = 16$ cm.
 7.34. $a_1 = \frac{f_1[\Delta \cdot (b_2 - f_2) - b_2 f_2]}{f_1[\Delta \cdot (b_2 - f_2) - b_2 f_2]} = 3,07$ mm,
 $n'/n \approx \tan u'/\tan u = 1,38$.
 7.32. $d = d_{12} + f_{\text{sonst}} + \frac{\phi_{12} d_{12}^2}{\phi_1 d_{12} - 1} = 0,23$ m.

- 8.22. a) $D_e \approx \exp\left[-\frac{2a}{\hbar} \sqrt{2m_e(E_{p0} - E)}\right] = 6 \cdot 10^{-3}$;
 b) $\frac{D_p}{D_e} = (D_e)^k \approx 6 \cdot 10^{-96}$, $k = \sqrt{m_p/m_e} - 1$.
 8.23. a) $r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2}{m_e e^2} n^2$; $r_1 = 0,529 \cdot 10^{-10}$ m, $r_2 = 2,12 \cdot 10^{-10}$ m;
 b) $v_n = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar n}$; $v_1 = 2,18 \cdot 10^6$ m·s⁻¹, $v_2 = v_1/2 = 1,09 \cdot 10^6$ m·s⁻¹;
 c) $E_n = -\frac{m_e e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \frac{Z^2}{n^2}$; $E_{1H} = -13,61$ eV, $E_{2H} = -3,40$ eV;
 d) $\lambda = hc/(E_{2H} - E_{1H}) = 121,4$ nm.

- 8.24. a) Podle Pauliho vylučovacího principu je povoleno 18 stavů, b) přechod
 povolen výběrovými pravidly ze stavů $|3; 0; 0; \pm 1/2\rangle$, $|3; 2; -1; \pm 1/2\rangle$, $|3; 2; 0; \pm 1/2\rangle$
 a $|3; 0; 1; \pm 1/2\rangle$.

- 8.25. $\lambda_{3 \rightarrow 2} = 656$ nm, $\lambda_{4 \rightarrow 2} = 486$ nm, $\lambda_{5 \rightarrow 2} = 434$ nm.

- 8.26. a) $\lambda_a = \frac{hc}{E_{1H} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)} = 486$ nm; b) $\lambda_b = \frac{\lambda_a}{Z^2} = 122$ nm;

- c) $\lambda_c = \frac{hc}{E_{1H} \left(\frac{(Z-a)^2}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)} = 4,53$ nm; $Z = 11$, $a = 2$.

- 8.27. $v = \sqrt{2hf/m_e} = 1,89 \cdot 10^6$ m·s⁻¹, $v' = \sqrt{2E_{1H}/m_e} = 2,2 \cdot 10^6$ m·s⁻¹.

- 8.28. $n = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{hc}{Z^2 E_{1H}} (1/\lambda_1 + 1/\lambda_2)}} = 5$, $Z = 2$.

- 8.29. $\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{f_\infty - f_0}{f_0} = \exp\left(-\frac{GM}{c^2 R}\right) - 1$;

- a) Slunce: $-0,00021$; b) neutronová hvězda: $-0,10$.

Srovnáváme vředy situaci s dielektrikem a bez dielektrika. (L.M.)
 (d) přístěvek energie ΔE_{el} elektrického pole vytvořeného mezi deskami.
 (c) přístěvek intenzity ΔE a indukce ΔD elektrického pole kondenzátoru,
 (b) přístěvek voltáže $\Delta \tilde{Q}$ a napětí ΔU na deskách,
 (a) přístěvek kapacity ΔC kondenzátoru.

Najděte v obou případech:

(II) kondenzátor byl stále připojen ke zdroji 600 V.
 (I) kondenzátor byl před tím odpojen od zdroje napětí,
 zaplněn tekutým dielektrikem o relativní permittivitě $\epsilon_r = 2$, přičemž

1.57. Vzduchový deskový kondenzátor o kapacitě $C_0 = 0,2 \mu\text{F}$ s deskami vzdálenými $d = 1 \text{ mm}$ byl nabit na napětí $U_0 = 600 \text{ V}$. Potom byl prostor mezi deskami

Předpokládáme, že dielektrikum zcela zaplní prostor mezi deskami. (L.S.)

dielektrika o relativní permittivitě $\epsilon_r = 5$ mezi jeho deskami?

(c) Jak velké bude napětí U_3 na kondenzátoru původních rozměrů po vsunutí

tenosti $d_2 = 4 \text{ cm}$?

(b) Jak velkou práci bychom museli vykonat, abychom desky oddělili do vzdálenosti $d_2 = 4 \text{ cm}$?

(a) Jak velkou silou se jeho desky navzájem přitahují?

desek $d_1 = 1 \text{ cm}$ byl nabit na napětí $U_1 = 2 \text{ kV}$ a odpojen od zdroje napětí.

1.56. Deskový vzduchový kondenzátor o kapacitě $C_1 = 200 \text{ nF}$ a vzdálenosti

vyjádřete v J l eV; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. (K.V.+A.K.)

Řešte obecně a poté speciálně pro $t = 0,34 \mu\text{s}$, $E = 10 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$. Energii i práci

a polohou v okamžiku t .

(e) Stanovte též rozdíl potenciálů (napětí) U mezi počáteční polohou elektronu

je roven práci výsledné síly, působící na (HB).

(d) Ověřte platnost věty o přístěvku kinetické energie hmotného bodu (přístěvek

elektronu.

(c) Z uražené dráhy vypočítejte práci $A(0; t)$ elektrického pole při uychlování

(b) Z rychlosti určete kinetickou energii $E_k(t)$.

(a) Stanovte dráhu $s(t)$; r , uraženou elektronem od počátku do okamžiku t a veli-

kost $v(t)$ rychlosti elektronu v okamžiku t .

1.55. Elektron je uychlován z klidu od okamžiku $t = 0$ homogenním elektric-

polohy. (T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

(b) Vypočítejte frekvenci malých radiálních kmitů elektronu kolem rovnovážné

polohy.

(T.B.+A.K.)

$$5.6. \text{ a) } \mu_r = \frac{\mu_0 S N^2}{L I} = 1,094; \text{ b) } \chi_m = 0,094.$$

$$5.5. \text{ a) } B = (1 + \chi_m) \mu_0 \frac{I}{Nl} = 5,62 \text{ mT}; \text{ b) } \Phi_1 = B \cdot \pi d^2 / 4 = 7,06 \mu\text{Wb}.$$

$$5.4. \mu_r = \frac{R \cdot \Delta \tilde{Q}}{\Delta I} \frac{\mu_0 S N^2}{l} = 1194.$$

$$\text{b) } \mu_r = B/B_0 = 497, \chi_m = 496; \text{ c) } I = B - B_0 \approx 20 \text{ mT}.$$

$$5.3. \text{ a) } B = \Phi/S = 20 \text{ mT}, B_0 = \mu_0 N I / l = 4,02 \cdot 10^{-5} \text{ T};$$

$$5.2. B_k = \mu_0 N I / l = 7,54 \text{ mT}.$$

$$5.1. \text{ a) } L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l} = 0,9 \text{ mH}; \text{ b) } L' = \mu_r L = 0,36 \text{ H}.$$

5. MAGNETICKÉ POLE V LÁTKÁCH

$$4.40. U_{\text{icf}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{I_0}^{\infty} f I_0 N b \cdot \ln \frac{p}{p+a} = 6,16 \cdot 10^{-2} \text{ V}.$$

$$4.38. i(t) = \frac{R}{L} [1 - \exp(-R/Lt)]. \quad 4.39. U_{\text{zcf}} = \sqrt{2} \pi f N^2 \Phi_m = 444 \text{ V}.$$

Poznámka: K výpočtu \tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2 bychom museli navíc specifikovat průběh děje, jako

3. Při deformaci vykonáme extra práci $W = \tilde{Q}_3$.

2. Z energie magnetického pole.

C. 1. Při otáčení smyčky vykonáme extra práci $W = \tilde{Q}_1$.

$$B. \tilde{Q}_2 = \frac{N^2 S^2 B^2}{2 R T_2} = 10^{-4} \text{ J (zde } \frac{dB}{B} = \frac{dT_2}{T_2} \text{)}.$$

$$A. \underline{U}_e = \frac{J}{\Phi_{\text{poc}} - \Phi_{\text{konc}}}; \underline{U}_{e1} = 0,2 \text{ V}, \underline{U}_{e2} = 0,1 \text{ V}, \underline{U}_{e3} = 0,2 \text{ V}.$$

$$3. \Phi_{\text{poc}} = B S N, \Phi_{\text{konc}} = 0 \text{ (obě části osmičky jsou opačně orientovány!); } g_3 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ C}.$$

$$2. \Phi_{\text{poc}} = B S N, \Phi_{\text{konc}} = 0, q_2 = B S N / R = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ C}.$$

$$q_1 = 2 B S N / R, B = \frac{R q_1}{2 S N} = 10^{-2} \text{ T}.$$

$$1. \Phi_{\text{poc}} = B S N, \Phi_{\text{konc}} = -B S N \text{ (opačná orientace smyčky),}$$

$$7.16. d = \frac{\arcsin \sqrt{2\eta}}{\alpha} = \frac{\arcsin \sqrt{2 \cdot 0,3}}{17} \text{ mm} = 3,0 \text{ mm}.$$

$$7.18. h' = 14,3 \text{ cm } (< 20 \text{ cm}). \text{ (Limitujte } r \rightarrow \infty \text{ ve vztahu v př. 7.30.)}$$

$$7.19. d_h \approx 5,7 \text{ m}. \quad 7.20. \alpha = \arcsin \frac{\sqrt{n_s^2 - n_p^2}}{n_0}.$$

Poznámka: Chod paprsků je možno obrátit, což znamená, že světlovod přijímá z okolí a dále vede světlo, které dopadá na kolmý řez na počátku vlákna pod úhlem dopadu menším, než je vypočtený úhel α .

$$7.21. v \approx 4\pi f \cdot d = 800 \pi \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}. \quad 7.22. y_m = \frac{d h \cdot \sin \alpha}{2d + h \cdot \cos \alpha} \approx 0,58 \text{ m}.$$

$$7.23. a = \frac{r(m-1)}{2m}, \quad b = \frac{r(1-m)}{2},$$

$$\text{a) } m = -2, a = 0,45 \text{ m}, b = 0,9 \text{ m}; \quad \text{b) } m = 2, a = 0,15 \text{ m}, b = -0,3 \text{ m}.$$

$$7.24. \text{ a) } v_{\text{obraz}}(x) = -\frac{f^2}{x^2} v_{\text{zdroj}}, \quad \text{b) } v_{\text{obraz}}(0,1) = 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

$$7.25. \varphi = \varphi_{\text{vzduch}} \frac{N_1/N_2 - 1}{N_1/N_3 - 1} = +1,25 \text{ D}; \quad N_3 = 1 \text{ (vzduch)}.$$

$$7.26. f_p = f n_p \frac{n-1}{n-n_p}; \quad \text{a) } f_{p1} = 0,9 \text{ m}, \quad \text{b) } f_{p2} = -1,02 \text{ m}.$$

$$7.27. f = \frac{|\Delta a| \cdot m_1 \cdot m_2}{m_1 - m_2} = 0,15 \text{ m}.$$

$$7.28. \varphi = (n_s - 1) / r = 2 \text{ D}, \quad f = 1/2 \text{ m};$$

$$\text{a) } b = \frac{a}{\alpha - 1} = 3/2 \text{ m}, \quad \text{b) } m = -b/a = -2;$$

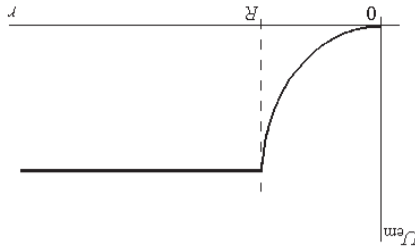
c) obraz: skutečný, převrácený, zvětšený;

$$\text{d) } \varphi' = (n_s/n_v - 1)/r = 0,5 \text{ D}, \quad f' = 2 \text{ m}, \quad b' = -6/5 \text{ m}, \quad m' = 8/5;$$

obraz: zdánlivý, přímý, zvětšený.

7.30. Bod leží na optické ose ve vzdálenosti: a) 22,9 cm, b) 21,4 cm, od příslušného okraje čočky.

$$7.31. r = \frac{N_3 - N_1}{N_2 \varphi} = 0,144 \text{ m}.$$



$$\Phi(t) = B(t) \cdot \pi r^2, \quad U_c(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = -\pi r^2 \frac{dB}{dt}, \quad U_c(t) = -\pi B_0 \omega r^2 \cdot \cos \omega t.$$

V případě $r > R$ je $\Phi(t) = B(t) \cdot \pi r^2$ a tedy $U_c(t) = -\pi B_0 \omega r^2 \cdot \cos \omega t$.

4.11. Magnetické pole je omezeno na oblast uvnitř solenoidu a proto nebude v případě $r \geq R$ indukční tok záviset na vzdálenosti r :

$$4.10. B_m = \frac{U_{ef}}{\sqrt{2} \pi f N S} = 2,25 \cdot 10^{-10} \text{ T}.$$

$$4.9. u_c = Nab \omega \cdot \sin \omega t, U_{cm} = Nab B \cdot 2\pi f = 18,84 \text{ V}.$$

$$4.8. u_c = u_0 \frac{l}{N^2 S \Delta l} = 28 \text{ mV}.$$

$$4.6. U_c = \pi f B l^2 = 2,1 \text{ V}, \quad 4.7. \text{ a) } U_c = \omega B r^2 / 2, \quad \text{ b) } U_c = 0 \text{ V}.$$

$$U_c = \frac{2\pi}{\ln b/a} \ln \frac{a}{b} = 3,7 \cdot 10^{-5} \text{ V}; \quad a = 0,1 \text{ m}, \quad b = 1 \text{ m}.$$

4.5. K výpočtu celkového napětí je třeba vyjádřit napětí dU_c vzniklé na délce dx elementech dx tyče a tato napětí sečíst.

$$\text{c) } P = F \cdot v = S W, \quad P' = U^2 / R = S W, \quad P = P'.$$

$$4.4. \text{ a) } U_c = B l v = 1 \text{ V}, \quad \text{ b) } F = B^2 l^2 v / R = 1,25 \text{ N},$$

$$4.3. \text{ a) } U_c = 0,5 \text{ V}, \quad \text{ b) } U_c = 0,25 \text{ V}, \quad \text{ c) } U_c = 0,5 \text{ V}, \quad \text{ d) } U_c = 1 \text{ V}.$$

$$U_c = \frac{N B \pi R^2}{\Delta l} = 18,8 \text{ mV}.$$

$$4.2. U_c = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{N B S}{t_2 - t_1}, \quad \text{kde } \Phi_2 = 0 \text{ a } \Phi_1 = N B S,$$

$$4.1. \text{ Při zadáních podmínkách je } \Phi = B S \cdot \cos \alpha = 0,13 \text{ Wb}.$$

4. ELEKTROMAGNETICKÁ INDUKCE

Maxwellova relaxační konstanta

$$\rho(t; r) = \rho(0; r) \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) = \rho(0; r) \cdot \exp(-t/\tau), \quad \text{kde } \tau = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} \text{ je tzv. } \rho \cdot \sigma / \varepsilon_0 \varepsilon_r \text{ } \frac{d\rho}{dt}, \text{ která má v dané oblasti řešení}$$

2.13. Dvě tyčinky stejného průřezu, jedna z uhlíku ($\rho_{R1} = 4 \cdot 10^{-5} \Omega \cdot \text{m}$, $\alpha_1 = -8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) a druhá ocelová ($\rho_{R2} = 1,2 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$, $\alpha_2 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) jsou zapojeny do série. Při jakém poměru průměru nebude odpor této kombinace záviset na teplotě? (L.S.)

Řešte obecně, pak číselně pro $\rho_R = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, $h = 1 \text{ mm}$, $r_1 = 5 \text{ cm}$, $r_2 = 10 \text{ cm}$. (L.B.)

2.12. Z měděné desky velmi malé tloušťky h vytvoříme rovinný prstенец s vnitřním poloměrem r_1 a vnějším r_2 . Jaký je elektrický odpor tohoto prstenece, a) přívody budou obě ohraničující kružnice a proud poteče radially, b) prstенец radially přerušime a přívody budou okraje řezu a proud poteče tangenciálně?

2.11. Podzemní telefonní kabel se skládá z dvojice drátů. V neznámém místě mezi je $\rho_{Rcu} = 1,56 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ a hliníku $\rho_{RAL} = 2,45 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. Hustota mědi je $\rho_{mcu} = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, hliníku $\rho_{mAl} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, rezistivita měděného drátu těžší délky. Určete průřez původního měděného vedení. (L.S.)

2.10. Elektrické rozvodné závody se rozhodly nahradit měděné vedení známého průřezu vedením hliníkovým stejně rezistancie a vypočítejte, že hmotnost hliníkového drátu délky $l = 1 \text{ km}$ bude o $\Delta m = 500 \text{ kg}$ menší než hmotnost měděného drátu. Určete průřez původního měděného vedení. (L.S.)

Hustota rtuti je $\rho_{mr} = 13 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a její měrný odpor $\rho_R = 9,4 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$. (L.S.)

2.9. a) Jak dlouhý musí být rtuťový sloupec o průřezu $S = 1 \text{ mm}^2$ teploty 0°C , aby jeho rezistance byla rovna právě $R = 1 \Omega$? b) Jaká je hmotnost tohoto rtuťového sloupce?

2.8. Hliníkový drát konstantního průřezu má odpor $R_1 = 0,1 \Omega$. Jaký bude odpor tohoto drátu, protáhneme-li ho lícem tak, že bude tenčí a dvakrát delší? (T.B.)

2.7. Díky přítomnosti volných elektronů a iontů je vzduch v atmosféře nepatrně vodivý. (T.B.)

Poznámka: Pro účely této úlohy zanedbejte zakřivení zemského povrchu. (T.B.)

a) Při povrchu Země má intenzita elektrického pole přibližně velikost $E = 100 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ a hustota atmosférického proudu je $j = 4 \cdot 10^{-2} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$. Jaký je měrný elektrický odpor (rezistivita) ρ_R vzduchu?

b) Napětí mezi ionosférou a povrchem Země je $U = 4 \cdot 10^5 \text{ V}$. Jaký je celkový odpor R vstřív atmosféry mezi ionosférou a zemí?

2.6. Rozdíl potenciálů mezi konci vodiče průměru d a délky l je roven U . Jak se změní driftová rychlost v_{drift} elektronů ve vodiči, jestliže zdvojnásobíme (a) d , (b) l , (c) U ? (L.M.)

2.5. a) Určete driftovou rychlost v_{drift} uspořádaného pohybu volných elektronů ve stříbrném vodiči při proudové hustotě $j = 11 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ za předpokladu, že na každý atom stříbra připadá 1 volný elektron. Vypočtenou rychlost srovnajte se střední kvadratickou rychlostí neuspořádaného tepelného pohybu volných elektronů při teplotě $t = 20^\circ \text{C}$. (L.S.)

b) Jaká je přítom velikost intenzity elektrického pole ve vodiči, je-li rezistivita stříbra $\rho_{Ag} = 1,505 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$? (L.S.)

c) Jaké je napětí mezi dvěma body vodiče vzdálenými od sebe $l = 1 \text{ km}$? (L.M. + K.V.)

2.4. Vypočítejte velikost celkové hybnosti volných elektronů v přímém vodiči délky $l = 1 \text{ km}$ ve kterém teče proud $I = 70 \text{ A}$. (L.M.)

2.3. Jak velká je driftová rychlost v_{drift} volných elektronů v měděném drátu o průřezu $S = 1 \text{ mm}^2$, když jím protéká proud $I = 6 \text{ A}$? Předpokládejte, že na jeden atom mědi připadá 1 volný elektron. (L.S.)

2.2. Jak velký náboj $Q(0; t)$ projde průřezem vodiče v časovém intervalu $(0; t)$, mění-li se proud ve vodiči podle vztahu (K.V. + A.K.)

2.1. Při vypnutí zdroje v obvodu obsahujícím induktanci nedojde k okamžitému poklesu proudu na nulovou hodnotu. Pokles proudu bude mít exponenciální průběh. (K.V. + A.K.)

Procházející proud i závisí na čase t vztahem $i(t) = i_0 \cdot \exp[-t/\tau]$, kde $i_0 = 20 \text{ A}$ a $\tau = 1/5000 \text{ s}$.

a) Jaký náboj Q_c projde příčným průřezem vodiče obvodu po vypnutí zdroje?

b) Za jakou dobu $t_{1/2}$ projde průřezem vodiče právě polovina celkem prošlého náboje? (L.M.)

2.1. Při vypnutí zdroje v obvodu obsahujícím induktanci nedojde k okamžitému poklesu proudu na nulovou hodnotu. Pokles proudu bude mít exponenciální průběh. (K.V. + A.K.)

Procházející proud i závisí na čase t vztahem $i(t) = i_0 \cdot \exp[-t/\tau]$, kde $i_0 = 20 \text{ A}$ a $\tau = 1/5000 \text{ s}$.

a) Jaký náboj Q_c projde příčným průřezem vodiče obvodu po vypnutí zdroje?

b) Za jakou dobu $t_{1/2}$ projde průřezem vodiče právě polovina celkem prošlého náboje? (L.M.)

2.2. Jak velký náboj $Q(0; t)$ projde průřezem vodiče v časovém intervalu $(0; t)$, mění-li se proud ve vodiči podle vztahu (K.V. + A.K.)

2.1. Při vypnutí zdroje v obvodu obsahujícím induktanci nedojde k okamžitému poklesu proudu na nulovou hodnotu. Pokles proudu bude mít exponenciální průběh. (K.V. + A.K.)

Procházející proud i závisí na čase t vztahem $i(t) = i_0 \cdot \exp[-t/\tau]$, kde $i_0 = 20 \text{ A}$ a $\tau = 1/5000 \text{ s}$.

a) Jaký náboj Q_c projde příčným průřezem vodiče obvodu po vypnutí zdroje?

b) Za jakou dobu $t_{1/2}$ projde průřezem vodiče právě polovina celkem prošlého náboje? (L.M.)

2.2. Jak velký náboj $Q(0; t)$ projde průřezem vodiče v časovém intervalu $(0; t)$, mění-li se proud ve vodiči podle vztahu (K.V. + A.K.)

2.1. Při vypnutí zdroje v obvodu obsahujícím induktanci nedojde k okamžitému poklesu proudu na nulovou hodnotu. Pokles proudu bude mít exponenciální průběh. (K.V. + A.K.)

Procházející proud i závisí na čase t vztahem $i(t) = i_0 \cdot \exp[-t/\tau]$, kde $i_0 = 20 \text{ A}$ a $\tau = 1/5000 \text{ s}$.

a) Jaký náboj Q_c projde příčným průřezem vodiče obvodu po vypnutí zdroje?

b) Za jakou dobu $t_{1/2}$ projde průřezem vodiče právě polovina celkem prošlého náboje? (L.M.)

4.12. Napětí indukované v jednom závitě je $u_{e1} = \omega S B \cdot \sin \omega t$, v N závitěch potom $u_c = N U_{e1} = N \omega S B \cdot \sin \omega t$. Výsledné napětí je střídavé.

4.13. Vlastní indukčnost L je dána vztahem $L = \Phi / I$, kde celkový indukční tok Φ solenoidem je roven N násobku indukčního toku Φ_1 jedním závitěm

$$\Phi = N \Phi_1 = \mu_0 \frac{N^2 I}{l} \pi R^2; \quad L = \frac{\mu_0 \pi N^2 R^2}{l}.$$

$$4.14. \text{ a) } L = 71 \text{ mH}; \quad \text{ b) } \Phi = 3,55 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}.$$

$$4.15. L = \mu_r \mu_0 \frac{N^2 S}{2 \pi r} = 3,5 \text{ H}. \quad 4.16. u_c = -L \Delta I / \Delta t = -0,6 \text{ V}.$$

$$4.17. u_{e2} = L_{21} \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = \mu_0 \frac{N_1 N_2 S}{l} \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = 157 \mu \text{V}.$$

$$4.18. \text{ a) } M_{12} = \frac{\mu_0 N_1 N_2 S_1}{l_1} = 1,57 \cdot 10^{-5} \text{ H}; \quad \text{ b) } u_{e2} = -0,157 \text{ mV}.$$

$$4.19. t = RC \cdot \ln \left[\frac{U_c}{U_c - U_c} \right]. \quad 4.20. i(t) = I_0 \cdot \exp \left[-\frac{t}{RC} \right].$$

$$4.21. t_1 = RC \cdot \ln 2 = 1,4 \text{ s}.$$

$$4.22. E_{mg} = \frac{\mu_0 \pi N^2 d^2 I^2}{8l} = 1,42 \cdot 10^{-6} \text{ J}. \quad 4.23. t = L / 2R = 0,01 \text{ s}.$$

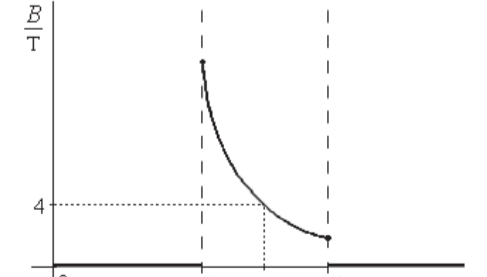
4.24. Užitím Ampérova zákona nalezneme:

$$B = 0 \quad \text{pro } r < r_1 \quad \text{a} \quad r > r_2$$

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2 \pi r} \quad \text{pro } r \in (r_1; r_2).$$

b) Energii vypočteme jako součin hustoty w_{mg} energie magnetického pole a objemu V_1 toroidu:

$$E_{mg} = \frac{2B^2}{\mu_0 \pi^2 (r_1 + r_2)(r_2 - r_1)^2} = 36,3 \text{ MJ}.$$



3.33. Z 1. Maxwellovy rovnice, Ohmova zákona (v diferenciálním tvaru) a rovnice kontinuity získáme diferenciální rovnici

daného materiálu, která je kladná či záporná pro $q = \pm \epsilon$, což určuje znaménko naměřeného napětí U_H .

$$3.32. U_H = Bvd = \frac{1}{BI} \frac{b}{nq}, \text{ kde } \frac{1}{BI} = \frac{1}{\mu_0 I} \frac{1}{2\pi r}, \text{ kde } r \text{ je tzv. Hallova konstanta}$$

$$3.31. M(\theta) = NBIAb \cdot \sin \theta = 32 \cdot \sin \theta \text{ (N} \cdot \text{m)}.$$

$$3.30. \phi = NBIS/k = 0,524 \text{ rad} = 30^\circ, \text{ k je torzní tuhost p\text{e}ra.}$$

$$3.29. a) P = \pi R^2 B I f = 2,35 \cdot 10^{-2} \text{ W}; \text{ b) } M = BIR^2/2 = 1,125 \text{ mN} \cdot \text{m}.$$

$$3.28. U = \frac{BS}{\mu_0 \pi d I^2} = 0,13 \text{ V}.$$

$$3.27. F_V = \frac{2\pi}{\mu_0 I^2} \left(\frac{1}{a_1 + d} - \frac{1}{a_2 + d} \right) = 1,15 \cdot 10^{-4} \text{ N}, \text{ } a_1 = 18 \text{ cm}.$$

$$3.26. F = I_2 \frac{\mu_0 I_1}{l} = 1,2 \text{ N}.$$

$$3.25. \frac{l}{W} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} \cdot \ln a_2/a_1 = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{m}^{-1}.$$

$$R < z < 0: \quad B(z) = \frac{2\pi}{\mu_0 I} \left(\frac{R}{z-R} + \frac{z}{z+R} \right)$$

$$2R < z < R: \quad B(z) = \frac{2\pi}{\mu_0 I} \left(\frac{R}{z-R} + \frac{z}{z+R} \right)$$

$$3.24. z > 2R: \quad B(z) = \frac{2\pi}{\mu_0 I} \left(\frac{1}{z-R} + \frac{1}{z+R} \right)$$

$$3.23. a) \text{ viz 3.10.}; \text{ b) uvnitř } B(r) = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2}, \text{ vně } B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

$$3.22. B_y(0,005) = 2 \cdot 10^{-4} \text{ T}, B_y(0,015) = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ T}, B_y(0,030) = 0 \text{ T}.$$

3.21. V libovolném vnitřním bodě válcové plochy je celková magnetická indukce nulová.

$$3.19. B_y = \frac{\mu_0 \sqrt{I^2 + I_z^2}}{2\pi a} = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ T}.$$

$$3.18. a) B_y = 0 \text{ T}; \text{ b) } B_y = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}.$$

$$3.17. B_z(x,y) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left(\frac{x}{1+y} + \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}} \right)$$

$$4.25. I_{ef} = \frac{U_{ef}}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL - 1/2\pi fC)^2}} = 0,07 \text{ A}.$$

$$4.26. I_{ef} = U_{ef} |2\pi fC - 1/2\pi fL| = 0,203 \text{ A}.$$

$$4.27. I_{ef} = \frac{U_{ef}}{\sqrt{R^2 + 4\pi^2 f^2 L^2}} = 2,7 \text{ A}, \quad \phi = -57,5^\circ.$$

$$4.28. L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} + \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\frac{U_{ef}^2}{I_{ef}^2} - R^2} = 3,4 \text{ H}.$$

$$4.29. \text{ Proud tekoucí obvodem nabývá maxima při úhlovém kmitočtu } \omega = \omega_r, \text{ odtud } \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 8,2 \cdot 10^6 \text{ rad/s}, \quad I_{ef}(\omega_r) = \frac{U_{ef}}{R} = 2,0 \text{ A}.$$

$$4.30. f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 1,78 \text{ MHz}, \quad I(f_r) = \frac{U_{ef}}{R} = 20 \text{ A}.$$

Protože indukance i kapacitance jsou při rezonanci stejně veliké, budou mít i napětí na cívce a kondenzátoru stejnou velikost

$$U_L(f_r) = U_C(f_r) = \frac{LU_{ef}}{R\sqrt{LC}} = \frac{U_{ef} \cdot \sqrt{LC}}{RC} = 8940 \text{ V}.$$

$$4.31. I_{ef} = \frac{P}{\eta U_{ef} \cdot \cos \phi} = 12,8 \text{ A}.$$

$$4.32. W = RI_m^2 T/2 = RI_{ef}^2 T.$$

$$4.33. a) C_2 = \frac{P}{2\pi f U_{ef}^2} (\tan \arccos \phi_1 - \tan \arccos \phi_2) = 258 \mu\text{F};$$

$$b) C_3 = \frac{P}{2\pi f U_{ef}^2} (\tan \arccos \phi_1 - \tan \delta_3) = 456 \mu\text{F}.$$

$$4.34. P = |I|U \cdot \cos \phi = 2,05 \text{ W}.$$

$$4.35. L = CR^2.$$

$$4.36. i(t) = \frac{U_0}{X} \sin \omega t, \text{ kde } X = \omega L \frac{2 - \omega^2 LC}{1 - \omega^2 LC}; \text{ při nezanedbatelné}$$

$$\text{vzájemné indukčnosti } M \text{ nahradíme: } L \rightarrow L + M \text{ a } C \rightarrow \frac{C}{1 + \omega^2 MC}.$$

$$4.37. q = (\Phi_{poč} - \Phi_{konc}) / R,$$

2.19. Vysoušeč vlasů lze přepínacem přizpůsobit jak pro napětí $U_1 = 110 \text{ V}$ tak pro $U_2 = 220 \text{ V}$. Při obou napětích je jeho tepelný výkon $P = 1 \text{ kW}$. Jaké rezistivní prvky musí být zapojeny pro jednotlivá napětí? Pokud se navrhne zapojení, jaké by odpovídalo zapojení vysoušeče uvedených vlastností. (T.B.)

2.18. Panel solárního článku má rozměry $S = 58 \text{ cm} \times 53 \text{ cm}$. Za optimálních podmínek je článěk schopen dodávat proud až $I = 2,7 \text{ A}$ při napětí $U = 14 \text{ V}$. Jaká je energetická účinnost článku? Intenzita slunečního záření je v místě

(a) celkovou akumulovanou elektrickou energii v joulech,
(b) akumulovanou energii připadající na jednotku objemu zdroje,
(c) akumulovanou energii připadající na jednotku hmotnosti. (T.B.)

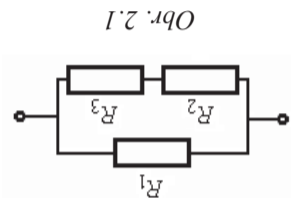
2.17. Monoclánek má kapacitu $1,2 \text{ Ah}$ a elektromotorické napětí $1,5 \text{ V}$, autobaterie kapacitu 55 Ah a napětí 12 V . Monoclánek je vyroben ve tvaru válečku průměru $3,3 \text{ cm}$, délky $5,6 \text{ cm}$ a hmotnosti $0,086 \text{ kg}$, autobaterie má tvar hranolu o rozměrech $30 \text{ cm} \times 17 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$ a hmotnost 23 kg . Pro oba zdroje elektrické energie určete

2C. Práce a výkon elektrického proudu.

Rezistivita užitkové vody $\rho_V = 0,01 \Omega \cdot \text{m}$, železa $\rho_{Fe} = 8,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. (T.B.)

2.16. Trubka vodovodního potrubí má vnější průměr $d_1 = 2,5 \text{ cm}$, vnitřní průměr $d_2 = 2 \text{ cm}$ a je vyrobena ze železa. Trubka byla použita k uzemnění elektrického zařízení. Ze zařízení do trubky teče proud $I = 20 \text{ A}$. Jaká část tohoto proudu prochází železem a jaká vodou?

2.15. Tři odpory $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$ jsou zapojeny podle obrázku a připojeny na napětí $1,5 \text{ V}$.
(a) Jaký je odpor této kombinace?
(b) Jaký proud teče tímto zapojením?
(c) Jaký je úbytek napětí na jednotlivých odporech a jaký proud jimi protéká? (T.B.)



2.14. Vlakno 100 W žárovky na napětí $U = 220 \text{ V}$ je zhotoveno z wolframu a má za studena (při teplotě $t_1 = 20^\circ \text{C}$) rezistanční $R_1 = 50 \Omega$. Určete:
(a) počáteční proud při napětí 220 V ,
(b) rezistanční vlákna a elektrický proud procházející žárovkou při plném rozžhavení vlákna,
(c) teplotu plně rozžhaveného wolframového vlákna.

Teplotní součinitel odporu wolframu je $\alpha = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Předpokládejte, že závislost odporu na teplotě je lineární v celém uvažovaném oboru teplot. (L.S.)

2. ELEKTROKINETIKA

Elektrický proud

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \text{ [A]}; \quad I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}.$$

Plošná hustota elektrického proudu (proudová hustota)

$$j = \frac{dI}{dS} \text{ [A} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}; \quad \vec{j}(\vec{r}) = \rho(\vec{r}) \cdot \vec{v};$$

v kovu: $\vec{j} = -en\vec{v}_{\text{drift}}$, $n \text{ [m}^{-3}\text{]}$ je hustota nosičů náboje.

Rovnice kontinuity

$$\int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = -\frac{dQ}{dt}, \quad \text{div } \vec{j} = -\frac{\partial \rho(\vec{r})}{\partial t}; \quad \rho \text{ [C} \cdot \text{m}^{-3}\text{]} - \text{ hustota náboje.}$$

Stacionární proudění: $\text{div } \vec{j} = 0$.

Ohmův zákon

$$\text{diferenciální tvar: } \vec{j} = \gamma \vec{E}, \quad \gamma \text{ [S} \cdot \text{m}^{-1}\text{]} - \text{konduktivita};$$

$$\text{integrální tvar: } I = \frac{U_{AB}}{R},$$

$R = \rho l/S$ – elektrický odpor homogenního vodiče konstantního průřezu S a délky

$$l, \rho_R \text{ [}\Omega \cdot \text{m]} - \text{rezistivita, } \rho_R = \frac{1}{\gamma}.$$

Výkon elektrického proudu

$$P = U_{AB} \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U_{AB}^2}{R} \text{ [W]}.$$

První Kirchhoffův zákon (uzlový zákon)

$$\sum_k I_k = 0.$$

Druhý Kirchhoffův zákon (zákon pro jednoduchou smyčku)

$$\sum_{k=1}^{N_1} R_k I_k = \sum_{k=1}^{N_2} U_{ek}.$$

Faradayův zákon pro elektrolyzu

$$m = \frac{M}{N_A e v} Q,$$

- 2.23. $P(t) = \frac{R}{n_0^2} \cdot \sin^2 \omega t$, $P(12 \text{ ms}) = 8,64 \text{ W}$;
- 2.22. $t_3 = \frac{t_1 \left(U_2^2 - U_3^2 \right)}{t_1 t_2 \left(U_2^2 - U_3^2 \right)} \approx 890 \text{ s} = 14,8 \text{ min}$.
- 2.21. $\tau = \frac{P_m c S^2 \Delta t}{\rho_r I^2} = 0,070 \text{ s}$.
- $v/\tau = \frac{c P_m \Delta t}{U I} = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 19,1 \text{ l/min}$.
- 2.20. $m/\tau = \frac{c \Delta t}{U I} = 0,32 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$,
- 2.19. $R_i = U_i^2 / P$; $R_{110} = 12,1 \Omega$, $R_{220} = 48,4 \Omega = 4R_{110}$.
- 2.18. $\eta = \frac{P_{\max}}{U I} \cdot 100\% = 12,3\%$.
- 2.17. a) $W = U I t$, $W_{\text{mono}} = 6,48 \text{ kJ}$, $W_{\text{auto}} = 2,376 \text{ MJ}$;
b) $W_m / V_m = 135,3 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3}$, $W_a / V_a = 202,6 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3}$;
c) $W_m / m_m = 7,53 \cdot 10^4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, $W_a / m_a = 10,3 \cdot 10^4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- 2.16. $\frac{I}{I_v} \cdot 100\% = \frac{1 + \alpha}{100\%} = 1,56 \cdot 10^{-3} \%$, $\alpha = \frac{\pi (d_1^2 - d_2^2) \rho_v}{\pi d_2^2 \rho_{Fe}}$.
- 2.15. a) $R = 2,67 \Omega$; b) $I = 0,56 \text{ A}$; c) $I_1 = 0,375 \text{ A}$; $I_2 = 0,188 \text{ A}$.
- 2.14. a) $I_1 = U / R_1 = 4,4 \text{ A}$; b) $R(t_2) = U^2 / P = 484 \Omega$, $I(t_2) = 0,45 \text{ A}$.
- 2.13. $l_{oc} / l_{umi} = - \frac{\alpha_1 \rho_{R_1}}{\alpha_2 \rho_{R_2}} = 444,4$.
- 2.12. a) $R = \frac{\rho_r}{2 \pi r_2} \cdot \ln \frac{r_1}{r_2} = 1,77 \cdot 10^{-6} \Omega$, b) $R = \frac{h \cdot \ln r_2 / r_1}{2 \pi \rho_r} = 1,45 \cdot 10^{-4} \Omega$.
- 2.11. $x = l \frac{R_{AB}}{R_{AB} + R_{CD}} = 1,5 \text{ km}$, měřeno od konce AB.
- 2.10. $S = \frac{\rho_{Cu} \Delta m}{l (\rho_{mCu} \rho_{rCu} - \rho_{mAl} \rho_{rAl})} = 108 \text{ mm}^2$.

2.37. Termoelektrický článek je vyroben z měděného a železného drátu, které jsou svary na jednom konci. Spoj má teplotu $T = 373 \text{ K}$, opačné konce jsou udržovány na teplotě $T_0 = 273 \text{ K}$. Termoelektrické napětí U_e na termoelektrickém závěsi kvadraticky na teplotním rozdílu $(T - T_0)$.
 $U_e = (a_{Fe} - a_{Cu})(T - T_0) + 0,5 \cdot (b_{Fe} - b_{Cu})(T - T_0)^2$.
Vypočítejte:
a) termoelektrické napětí článku při daném teplotním rozdílu,
b) teplotní rozdíl, při kterém je toto napětí maximální,
c) inverzní teplotu T_i spoje!
Inverzní teplota T_i je taková teplota spoje, při které se mění polarita elektromotorického napětí termoelektrického článku.

2F. Kombinované úlohy.

2.36. T. Stewart a C.R. Tolman v roce 1916 provedli pokus, kterým prokázali elektronovou vodivost kovu. Rozložili krátkou cívku navinutou z tenkého drátu do délek l , celkového odporu R kolem její rotační osy obvodovou rychlost v . Konce cívky byly připojeny kartáčky k balistickému galvanometru. Cívku prudce zastavili a galvanometrem změřili prošlý náboj Q . Z daných veličin vypočítejte měrný náboj elektronu e/m_e !

2.35. Poniklování kovového předmětu o povrchu $S = 120 \text{ cm}^2$ trvalo $t = 5$ hodin při procházejícím proudem $I = 0,3 \text{ A}$. Vypočítejte tloušťku niklové vrstvy na poniklovaném předmětu. Hustota niklu je $\rho_m = 8900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Nikl je dvojmocný a má relativní atomovou hmotnost $A = 58,70$.

2E. Faradayův zákon pro elektrolýzu.

2.32. Jaka hmotnost vody se rozloží při elektrolýze roztoku H_2SO_4 za dobu $t = 10$ minut při stálém proudem $I = 0,8 \text{ A}$?

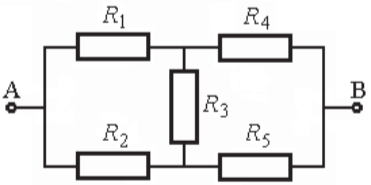
2.33. Předmět se má postříbit vstřívou tloušťky $d = 0,05 \text{ mm}$ na povrchu plochy $S = 180 \text{ cm}^2$.
a) Jak dlouho bude postříbiti trvat, jestliže galvanickou lázni protéká stálý proud $I = 1 \text{ A}$?
b) Ukažte, že elektrochemický ekvivalent A_{Ag^+} je roven $1,12 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{C}^{-1}$.
Hustota stříbra je $\rho_m = 10,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Stříbro je jednomocné a má relativní atomovou hmotnost $A = 107,87$.

2.34. Jak dlouho trvá postříbiti plochy $S = 900 \text{ cm}^2$ do požadované tloušťky $d = 20 \mu\text{m}$? Stříbření se provádí elektrolýzou roztoku AgNO_3 proudem 4 A .

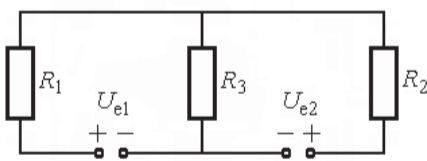
2.37. Čtyři malé žárovky o rezistancích 36Ω , jsou paralelně spojeny a připojeny k baterii o elektromotorickém napětí 12 V přes předřadný odpor $R_{p1} = 9 \Omega$. Na jakou hodnotu musíme nastavit předřadný odpor po vyřazení jedné žárovky (třeba přepálením vlákna), aby proudy v ostatních žárovkách zůstaly nezměněny?

2.28. Určete odpor sítě (obrázek 2.3a) mezi body A a B, jestliže je $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$, $R_4 = 40 \Omega$, $R_5 = 50 \Omega$.

2.29. Vypočítejte proudy I_1 , I_2 , I_3 ve větvích elektrické sítě (obrázek 2.3b) jestliže $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 20 \Omega$, $R_3 = 30 \Omega$, $U_{e1} = 10 \text{ V}$, $U_{e2} = 20 \text{ V}$. Předpokládejte, že vnitřní odpory zdrojů jsou zanedbatelné.

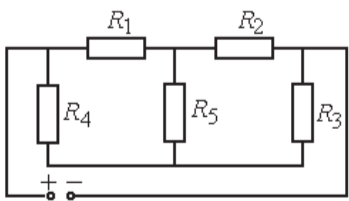


Obr. 2.3a

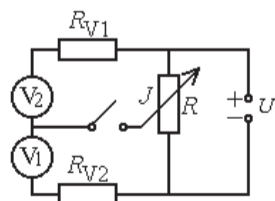


Obr. 2.3b

2.30. Dokažte, že když proud jdoucí diagonálním odporem R_5 Wheatstoneova můstku (obrázek 2.4a) je nulový, potom pro další odpory můstku platí vztah $R_1 : R_2 = R_4 : R_3$.



Obr. 2.4a



Obr. 2.4b

2.31. Dva voltmetry o vnitřních odporech $R_{V1} = 6 \text{ k}\Omega$, $R_{V2} = 4 \text{ k}\Omega$ jsou zapojeny do série (obrázek 2.4b). Paralelně k nim je připojen reostat o rezistanci $R = 10 \text{ k}\Omega$. Tato soustava je připojena na napětí 180 V .

- Jaká napětí budou voltmetry ukazovat, když je vypínač vypnut?
- Jaká napětí budou voltmetry ukazovat, když vypínač bude sepnut a jezdec J reostatu bude v jeho středu?
- Jezdcem J vyrovnáme napětí na obou voltmetrech. Jak velké jsou potom odpory R_1 , R_2 vydělené polohou jezce J na homogenním odporu R ?

- $Q_I \langle 0; t \rangle = \frac{u_0^2}{R} \left[\frac{t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right]$, $Q_I \langle 0; 12 \text{ ms} \rangle = 0,136 \text{ J}$.
- 2.24. a) Z podmínky $dP/dR_S = 0$ plyne $R_S = R_i$, $d^2 P/dR_S^2 < 0$;
b) $P_m = U_c^2 / 4R_i = 0,6 \text{ W}$.
- 2.25. $R = R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = 53,3 \Omega$,
 $I_1 = I_2 = I = 0,225 \text{ A}$, $I_3 = 0,075 \text{ A}$, $I_4 = 0,15 \text{ A}$.
- 2.26. a) vyhovuje sériové zapojení baterií: $I_a = 0,127 \text{ A}$;
b) 2 baterie sériově a 3. paralelně nebo 2 paralelně a 3. sériově: $I_b = 1,80 \text{ A}$;
c) paralelní zapojení: $I_c = 3,86 \text{ A}$.
- 2.27. $R_{p2} = \frac{n_1 R_{p1}}{n_2} = 12 \Omega$, n_1 a n_2 – původní a konečný počet žárovek.
- 2.28. $R_{AB} = 29,5 \Omega$.
- 2.29. $I_1 = 1/11 \text{ A}$, $I_2 = 5/11 \text{ A}$, $I_3 = 4/11 \text{ A}$.
- 2.31. a) $U_1 = \frac{R_{V1} U}{R_{V1} + R_{V2}} = 108 \text{ V}$, $U_2 = \frac{R_{V2} U}{R_{V1} + R_{V2}} = 72 \text{ V}$;
b) $U_1 = \frac{U R_{V1} (2R_{V2} + R)}{R_{V1} (2R_{V2} + R) + R_{V2} (2R_{V1} + R)} = 99 \text{ V}$,
 $U_2 = \frac{U R_{V2} (2R_{V1} + R)}{R_{V1} (2R_{V2} + R) + R_{V2} (2R_{V1} + R)} = 81 \text{ V}$;
c) $R_1 = 4 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 6 \text{ k}\Omega$.
- 2.32. $m = \frac{M}{Z e N_A} I t = 0,045 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$.
- 2.33. a) $t = \frac{S d \rho_m}{I} \frac{e N_A}{M} = 8437 \text{ s}$; b) $A = \frac{M}{v e N_A} = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{C}^{-1}$.
- 2.34. $t = \frac{S d \rho_m}{A I} = 4219 \text{ s}$.
- 2.35. $d = \frac{I M t}{S \rho_m 2 e N_A} = 15,4 \mu\text{m}$.
- 2.36. $\frac{e}{m_e} = \frac{I v}{R Q} \left(\frac{e}{m_e} \right)_{tab} = 1,759 \cdot 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- 2.37. a) $U_e = 1,2 \text{ mV}$; b) $T_m - T_0 = - \frac{\alpha_{Fe} - \alpha_{Cu}}{\beta_{Fe} - \beta_{Cu}} = 377 \text{ K}$;

$$\underline{m} = I \cdot \underline{S} \quad [\text{A} \cdot \text{m}^2], \quad \underline{S} \text{ je náhradní vektor plochy vymezené smyčkou.}$$

Magnetický moment (proudové smyčky)

$$d\vec{F} = \frac{\mu_0 I^2}{4\pi r^2} d\vec{l}$$

Velikost vzájemného působení dvou rovnooběžných nekonečně dlouhých proudů vodičů o vzdálenosti a na element délky dl jednoho z vodičů

$$B = \frac{\mu_0 N I}{l}$$

Velikost indukce magnetického pole uvnitř solenoidu, jehož délka l je podstatně větší než průměr závitů, o N závitích, protékáného proudem I

$$B(a) = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + a^2)^{3/2}}$$

Velikost indukce magnetického pole na ose tenké smyčky poloměru R protékáné proudem I ve vzdálenosti a od jejího středu

$$B(a) = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Velikost indukce magnetického pole v okolí nekonečně dlouhého tenkého vodiče protékáného proudem I v kolmé vzdálenosti a od něho

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I \sum I_f$$

Ampérův zákon

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot dl \times \vec{r}}{r^3}; \quad \vec{r} = \frac{\vec{r}}{r}$$

Biotův-Savartův-Laplaceův zákon

$$d\vec{F} = I \cdot d\vec{l} \times \vec{B}$$

Síla působící na proudovodíc v magnetickém poli

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

Její velikost:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}),$$

Lorentzova síla (síla působící na nosič náboje pohybující se v magnetickém poli)

3. MAGNETIZMUS

2.20. Vinutím velkého elektromagnetu prochází proud $I = 200$ A při napětí $U = 400$ V. Cívky elektromagnetu jsou chlazeny protékající vodou. Do chlazení elektromagnetu přitéká voda teploty $t_1 = 20$ °C, přijímá vyvinuté Jouleovo teplo a odtéká ohřátá. Jaký musí být minimální průtok vody chlazením v litrech za minutu, aby její teplota při výtoku nepřevýšila $t_2 = 80$ °C ? (T.B.)

2.21. Měděný drátek tavné pojistky má průřez $S = 0,01$ mm² a teplotu $t_1 = 20$ °C. Za jak dlouho se přetaví, jestliže procházející proud dosáhne hodnoty $I = 10$ A ? Vzhledem k rychlosti děje zanedbejte tepelné ztráty. Teplota tání mědi $t_2 = 1084$ °C, měrný elektrický odpor a měrná tepelná kapacita mají v uvažovaném intervalu teplot střední velikosti $\rho_R = 5,21 \cdot 10^{-8}$ Ω·m a $c = 383$ J·kg⁻¹·K⁻¹. (L.M.)

2.22. V samovaru připojeném na síťové napětí $U_1 = 220$ V začne vřít určité množství vody za $t_1 = 10$ minut po zapnutí. Při napětí $U_2 = 210$ V vře stejné množství vody stejné počáteční teploty za $t_2 = 12$ minut. Za jakou dobu (při stejných počátečních podmínkách) by voda začala vřít při síťovém napětí $U_3 = 200$ V ? Předpokládáme, že ztráty tepelné energie do okolí samovaru jsou přímo úměrné době zahřívání. (L.Š.)

2.23. Stanovte okamžitý výkon $P(t)$ elektrického proudu v čase t a Jouleovo teplo $Q_1(0; t)$ vyvinuté na rezistoru $R = 100$ Ω od okamžiku $t = 0$ s do okamžiku t , je-li rezistor připojen na napětí $u(t) = u_0 \cdot \sin \omega t$, kde $u_0 = 50$ V, $\omega = 2\pi f$ a $f = 50$ Hz. Řešte obecně a pak speciálně pro $t = 12$ ms.

Načrtněte grafy funkcí $u(t)$, $P(t)$, $Q_1(0; t)$ pro jednu periodu střídavého napětí, tj. pro časový interval $t \in (0; 20 \text{ ms})$. (K.V. + A.K.)

2D. Jednoduchý obvod. Kirchhoffovy zákony.

2.24. Ke zdroji o elektromotorickém napětí $U_c = 1,5$ V a vnitřním odporu $R_i = 1$ Ω je připojen spotřebič. (a) Při jaké hodnotě odporu R_s spotřebiče bude jím odebraný příkon maximální? (b) Jak bude tento výkon velký? (L.Š.)

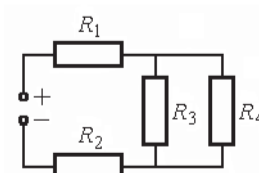
2.25. Čtyři odpory jsou připojeny k baterii o elektromotorickém napětí 12 V (viz obrázek).

a) Určete odpor celé kombinace.

b) Určete proud protékající každým odporem.

$R_1 = 25$ Ω, $R_2 = 15$ Ω, $R_3 = 40$ Ω, $R_4 = 20$ Ω.

Vnitřní odpor baterie zanedbejte. (T.B.)



Obr. 2.2

2.26. Jakým způsobem musíme spojit tři stejné ploché baterie o elektromotorických napětích $U_e = 4,5$ V a vnitřních odporech $R_i = 2$ Ω, aby vnějším odporem R procházel maximální proud? Řešte pro hodnoty vnějšního odporu:

(a) $R = 100$ Ω, (b) $R = 2$ Ω, (c) $R = 0,5$ Ω. (L.M.)

$$2.9. \text{ a) } l = RS/\rho_R = 1,064 \text{ m; b) } m = RS^2\rho_m/\rho_R = 0,0145 \text{ kg.}$$

$$2.8. R_2 = 4R_1 = 0,4 \Omega.$$

$$2.7. \text{ a) } \rho_R = 2500 \Omega \cdot \text{m; b) } R = \frac{l \cdot 4\pi R^2}{U} = 0,02 \mu\Omega.$$

$$2.6. \text{ a) } v_{\text{drh}} = v_{\text{drh}}; \text{ b) } v_{\text{drh}} = \frac{1}{2} v_{\text{drh}}; \text{ c) } v_{\text{drh}} = 2 v_{\text{drh}}.$$

$$\text{b) } E = 0,166 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}; \text{ c) } U = 166 \text{ V; } \rho_m [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] - \text{ hustota Ag.}$$

$$2.5. \text{ a) } v_{\text{drh}} = \frac{M_{\text{Ag}} \cdot f}{N_{\text{Ag}} \cdot e} = \frac{1,17 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1,15 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_e}} = 1,15 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1};$$

$$2.4. p_c = I \cdot m_e l / e = 3,98 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

$$2.3. v_{\text{drh}} = I \cdot M_{\text{Cu}} / (N_{\text{Ag}} e S \rho_{\text{mCu}}) = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

$$2.2. \text{ a) } \vec{Q} = i_0 \left[t + \frac{2\pi f}{1} \sin(2\pi f t + \pi) \right]; \vec{Q}(0; 0,01) = 1 \text{ C.}$$

$$2.1. \text{ a) } \vec{Q} = i_0 \cdot t = 4 \text{ mC}; \tau = t_{1/2} = 0,14 \text{ ms.}$$

2. ELEKTROKINETIKA

$$\text{d) I. } \Delta E_i = C U_0 \Delta U / 2 = -18 \text{ mJ}; \text{ II. } \Delta E_i = \Delta C \cdot U_0^2 / 2 = 36 \text{ mJ.}$$

$$\text{II. } \Delta E = 0; \Delta D = 0; \Delta \rho = -\epsilon_0 U_0 / d = 5,3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2};$$

$$\text{I. } \Delta D = 0; \Delta E = 0; \Delta U / d = -300 \text{ kV/m};$$

$$\text{II. } \Delta U = 0; \Delta \vec{D} = \Delta C \cdot U_0 = 0,12 \text{ mC};$$

$$\text{b) I. } \Delta \vec{D} = 0; \Delta U = 0; \Delta U / d = -300 \text{ V};$$

$$1.57. \text{ Počáteční stav } 0, \text{ konečný } 1; \text{ a) } \Delta C = (\epsilon_1 - 1) C_0 = 0,2 \mu\text{F};$$

$$\text{c) } U_3 = 400 \text{ V.}$$

$$1.56. \text{ a) } F = \frac{C_1 U_1^2}{2d_1} = 40 \text{ N}; \text{ b) } W = \frac{C_1 U_1^2}{2} - \frac{C_2 U_2^2}{2} = 1,2 \text{ J};$$

$$s = 0,10 \text{ m}, v = 0,60 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, E_k = 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}, U = -1 \text{ V.}$$

$$\text{c) } \Delta \phi = U = -E \cdot \Delta x = -E \cdot s(0; t); \frac{1}{2} e E^2 t^2 = \frac{m_e}{2} v^2$$

$$\text{d) } \langle 0; t \rangle \langle 0; t \rangle = \frac{1}{2} e E^2 t^2 = E_k(t); E_k(t) = \frac{m_e}{2} v^2 = 0$$

$$\text{c) } T_i - T_0 = -2 \frac{\alpha_{\text{Fe}} - \alpha_{\text{Cu}}}{\beta_{\text{Fe}} - \beta_{\text{Cu}}} = 754 \text{ K.}$$

3. MAGNETIZMUS

$$3.1. B = 3E/c = 0,01 \text{ T.} \quad 3.2. v = E/B = 3 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

$$3.3. \text{ a) } T_c = \frac{\pi E_k m_p}{Q^2 U B} = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ s}; \text{ b) } B = \frac{1}{RQ} \sqrt{2 E_k m_p} = 0,48 \text{ T.}$$

$$3.4. E_{k\text{max}} = (ReB)^2 / 2m_p = 1,18 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 7,37 \text{ MeV.}$$

$$3.5. \text{ a) } F = 3,6 \cdot 10^{-15} \text{ N}; \text{ b) } R = 0,09 \text{ m}; \text{ c) } T = 3 \cdot 10^{-8} \text{ s.}$$

$$3.6. Q = 2E_k / (RvB) = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 2e; m = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cong 4m_p.$$

$$3.7. \text{ a) } R = \frac{m_p v \cdot \sin \alpha}{eB} = 5,2 \text{ cm}, \quad h = 5,7 \text{ cm}, \quad \text{b) } \Delta s = 10 \text{ cm.}$$

$$3.8. F_c = 2IBl/\pi = 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ N}; \text{ nezanikne.}$$

$$3.9. M = I \cdot \pi R^2 B \cdot \sin \alpha = 4 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m.}$$

$$3.10. B(a) = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}, \quad B(0,02) = 4 \cdot 10^{-5} \text{ T.}$$

$$3.11. \text{ a) } B(z) = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}}; \text{ b) } B(0,03) = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ T}; \text{ c) } B_S = \frac{\mu_0 I}{2R}.$$

$$3.12. I = 2,08 \cdot 10^9 \text{ A.}$$

$$3.13. H = 2,4 \cdot 10^4 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}, \quad B = k\mu_0 I / d = 0,030 \text{ T}, \quad k - \text{počet vrstev vinutí.}$$

$$3.14. B_S = \frac{\mu_0 I N}{l \sqrt{1 + (2R/l)^2}}, \quad B_S = 0,001 \text{ T}, \quad H_S = 800 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1},$$

$$B_K = \frac{\mu_0 I N}{2l \sqrt{1 + (R/l)^2}}, \quad B_K = 0,0005 \text{ T}, \quad H_K = 400 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}.$$

$$3.15. B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}, \quad r \text{ je poloměr toroidu.}$$

$$3.16. B_S = \frac{2\sqrt{2} \mu_0 I}{\pi L}.$$

3.23. Užitím Ampérova zákona odvodte vztahy pro velikost indukce magnetického pole vytvářeného

a) velmi dlouhým přímým tenkým vodičem, kterým protéká stacionární proud I ,
 kabelem.

(L.B.)

3.22. Koaxiální kabel je tvořen vnitřním válcovým vodičem poloměru 10 mm a vnějším vodičem ve tvaru válcové vrstvy vnitřního poloměru 20 mm a vnějšího 25 mm. Prostor mezi oběma vodiči je vyplněn izolátorem s relativní permabilitou rovnou jedné. Vnitřním i vnějším vodičem protéká stejně velký proud 20 A (konstantní plošné hustoty) v navzájem opačných směrech. Určete velikost indukce magnetického pole ve vzdálenostech 5 mm, 15 mm a 30 mm od osy

(L.S.)

3.21. Pláštěm nekonečně dlouhého kruhového válce protéká ve směru jeho podélné osy elektrický proud. Vypočítejte velikost intenzity a indukce magnetického pole tvořeného tímto proudem v libovolném vnitřním bodě válce

(L.B.)

3.20. Velmi dlouhý přímý vodič, kterým protéká proud $I = 5$ A, vytváří v jistém spojnici vodiči v rovině kolmé k vodiči.

(L.B.)

3.19. Dvěma dlouhými rovnoběžnými vodiči vzdálenými od sebe $a = 5$ cm, procházejí v opačných směrech proudy $I_1 = 10$ A a $I_2 = 5$ A. Určete velikost indukce magnetického pole v bodě P, který se nachází ve vzdálenosti $a/2$ od středu

(L.B.)

3.18. Dva dlouhé přímé rovnoběžné vodiče jsou ve vzájemné vzdálenosti $d = 16$ cm. Každým z nich teče proud $I = 4$ A. Napište vektorový obrazek a vypočítejte velikost magnetického pole v bodě, který leží ve středu kolmé spojnice

(L.B.)

3.17. Velmi dlouhý tenký drát je blízko svého středu ohnut do pravého úhlu. Jednu jeho část ztotožněte s kladnou poloosou ox , druhou s kladnou poloosou oy . Drátem protéká proud I . Vypočítejte indukci vnitřního magnetického pole jako funkci souřadnic (x, y) v prvním kvadrantu roviny oxy .

(L.B.)

3.16. Cívecovou smyčkou o straně L , vytvořenou z tenkého vodičového drátu, prochází ustálený proud I . Vypočítejte velikost magnetické indukce ve středu

(L.B.)

3.15. Toroid lze považovat za solenoid ohnutý do tvaru prstence středního poloměru r , přičemž protěží konce splyvají. Určete velikost indukce magnetického pole uvnitř tenkého toroidu s N závitů, procházející vnitřním proudem I .

(L.B.)

- a) poloměr a stoupání šroubovice,
- b) dráhu, kterou proton urazí za $\Delta t = 10$ ns.

(L.B. + L.M.)

3.8. V homogenním magnetickém poli o velikosti indukce $B = 0,02$ T je v rovině kolmé na indukční čáry umístěn půlkružnicový úsek vodiče délky $l = 3$ cm, kterým prochází proud $I = 0,1$ A. Nalezněte velikost celkové síly působící na daný úsek vodiče. Zanikne tato síla po narovnání vodiče?

(L.M.)

3.9. Jak velký otáčivý moment působí na kruhový závit poloměru $R = 3$ cm, jímž protéká proud $I = 2$ A, jestliže je závit umístěn ve vnějším magnetickém poli o velikosti indukce $B = 0,1$ T tak, že normála jeho roviny svírá se směrem indukce úhel $\alpha = 45^\circ$?

(L.B.)

3B. Magnetické pole ustálených proudů. Biotův-Savarteův zákon. Ampèreův zákon.

3.10. Určete závislost velikosti indukce magnetického pole vytvářeného v okolí dlouhého, tenkého a přímého vodiče, protákaného ustáleným proudem I , na kolmé vzdálenosti a od tohoto vodiče.

(L.B. + T.B.)

Řešte obecně a pak pro hodnoty: $I = 4$ A, $a = 2$ cm.

3.11. Elektrický proud I prochází kruhovou smyčkou poloměru R , která je vyrobena z tenkého drátu.

- a) Vyjádřete velikost indukce vytvořeného magnetického pole na kolmé ose smyčky jako funkci vzdálenosti z od jejího středu!
 - b) Jaká bude velikost indukce pro hodnoty $I = 2$ A, $R = 4$ cm, $z = 3$ cm?
 - c) Jak velká bude magnetická indukce ve středu této smyčky?
- (L.B. + T.B.)

3.12. Magnetické pole Země je ekvivalentní poli kruhové proudové smyčky s magnetickým momentem o velikosti $m = 8 \cdot 10^{22}$ A·m², nacházející se uvnitř Země. Představte si, že uvedený magnetický moment je vyvolán elektrickým proudem tekoucím v tekutém jádře Země v rovníkové rovině. Tekuté jádro má poloměr $R = 3500$ km. Jak velký proud by musel po obvodu jádra protékat a jakým směrem by měl téci?

(T.B.)

3.13. Velmi dlouhý solenoid je navinut ve 4 vrstvách z drátu průměru $d = 1$ mm. Jak velká je intenzita a indukce magnetického pole uvnitř tohoto solenoidu v případě, že jím prochází proud $I = 6$ A a závity jsou vinuty těsně vedle sebe? Při výpočtu předpokládejte, že solenoid je velmi dlouhý v porovnání s poloměry závitů.

(L.B.)

3.14. Vypočítejte velikosti intenzity a indukce magnetického pole ve středu a na konci podélné osy solenoidu délky $l = 1$ m s $N = 200$ závitů o poloměru $R = 2$ cm. Solenoidem protéká ustálený proud $I = 4$ A.

(L.S.)

- 1.25. $v_e = \sqrt{\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{m_e r}} = 3,1 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- 1.26. Plochou nulového potenciálu je kružnice se středem ve vzdálenosti 9 cm (měřeno od záporného náboje ve směru spojnice nábojů) a poloměru 6 cm.
- 1.27. a) $E_S = 14 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$, $\phi_S = 0$; b) $E_S = 0$, $\phi_S = 850 \text{ V}$; c) $\phi_S = 0$, $E_S = 0$.
- 1.28. $U = E \cdot d = 1800 \text{ V}$.
- 1.29. $\phi(A) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 l} \ln \frac{l+a}{a}$, $\phi(B) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 l} \ln \frac{\sqrt{l^2/4+b^2} + l/2}{\sqrt{l^2/4+b^2} - l/2}$.
- 1.30. Použijeme výsledků předchozí úlohy, $\phi(P) = \phi_+(P) + \phi_-(P)$.
- 1.31. a) Pokud $\phi = 0$ pro $z = 0$: $\phi(z) = -\sigma|z|/2\epsilon_0$,
 b) $\phi = 0$ pro $z = z_0$: $\phi(z) = -\sigma(z - z_0)/2\epsilon_0$ pro $z > 0$,
 $\phi(z) = \sigma(z + z_0)/2\epsilon_0$ pro $z < 0$.
- 1.32. $r \geq R$: $\phi(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$, $r < R$: $\phi(r) = \frac{Q}{8\pi\epsilon_0 R} \left(3 - \frac{r^2}{R^2} \right)$.
- 1.33. $\phi(z) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(\sqrt{R^2 + z^2} - z \right)$, $\phi(0,04) = 0,136 \text{ V}$.
- $E_z(z) = -\frac{\partial\phi(z)}{\partial z} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right)$, $E_z(0,04) = 2,12 \text{ V/m}$.
- 1.34. $E = \frac{\sigma d}{2\epsilon_0 \sqrt{R^2 + d^2}}$, d je vzdálenost od středu otvoru.
- 1.35. $E_{el} = \frac{Q^2 d}{2\epsilon_0 S}$.
- 1.36. $E_{el} = \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 R}$.
- 1.37. Elektrickou potenciální energii rozdělíme na dvě části: uvnitř jádra $E_{cl}^{(i)}$ a vně jádra $E_{cl}^{(e)}$.
- $E_{elc} = E_{cl}^{(i)} + E_{cl}^{(e)} = \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 R} + \frac{Q^2}{40\pi\epsilon_0 R} = \frac{3Q^2}{20\pi\epsilon_0 R} = 1,58 \cdot 10^{-10} \text{ J}$.
- 1.38. $E_{el} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_1 Q_2}{d_{1,2}} + \frac{Q_1 Q_3}{d_{1,3}} + \frac{Q_2 Q_3}{d_{2,3}} \right) = -1,47 \text{ GJ}$.
- 1.21. a) $r < r_1$: $\phi = 0$, $r = 0$, $E = 0$;
 b) $r_1 < r < r_2$: $\phi = \frac{\pi(r_2^2 - r^2)}{2\pi\epsilon_0 r^2}$, $E = \frac{2\pi\epsilon_0 r^2 - r_2^2}{2\pi\epsilon_0 r^2}$;
 c) $r > r_2$: $\phi = \frac{\pi(r_2^2 - r_1^2)}{2\pi\epsilon_0 r}$, $E = \frac{2\pi\epsilon_0 r^2}{2\pi\epsilon_0 r}$.
- 1.22. $|x| > d/2$: $E(x) = \rho x / \epsilon_0$, $|x| < d/2$: $E(x) = \rho d / 2\epsilon_0$.
- 1.23. $E(r) = \frac{1}{\epsilon} \left[\frac{4\pi\epsilon_0 r^2}{2} \exp(-r/b) - \frac{b}{2} \exp(-r/b) \right] \cdot \frac{1}{r^2} + 2 \left[\frac{b}{r} + 1 \right] \cdot \frac{4\pi\epsilon_0 R_1^2}{\epsilon}$.
- 1.24. $0 < r < R_1$: $E(r) = 0$; $E(R_1) = \frac{4\pi\epsilon_0 R_1^2}{\epsilon}$;
 $R_1 < r < R_2$: $E(r) = \frac{4\pi\epsilon_0 r^2}{\epsilon}$; $E(R_2) = 0$; $R_2 < r < R_3$: $E(r) = 0$;
 $E(R_3) = \frac{4\pi\epsilon_0 R_3^2}{\epsilon}$; $E(r) = \frac{4\pi\epsilon_0 r^2}{\epsilon}$.

- 1.12.** $E = \frac{2\pi\epsilon_0 a}{t}$, intenzita je kolmá na vlnku.
- 1.11.** Zvolíme počátek v přísečku vertikální osy y směřující do vprava a povrchu Země, osu x orientujeme vodorovně a osu z svisle: $E_x = -1368 \text{ V/m}$, $E_y = -640 \text{ V/m}$.
- 1.10.** Dříví tvoří dva náboje $+Q$ a $-Q$ ve vzdálenosti d .
- 1.9.** $\Delta s = \Delta E_k / eE_p = 0,62 \text{ } \mu\text{m}$.
- 1.8.** Z podmínky rovnováhy sil: $E = \frac{2\pi R^2 p g}{3\epsilon} = 102,5 \text{ kV/m}$.
- 1.7.** a) $|F_c| = e|E| = 8 \cdot 10^{-15} \text{ N}$, b) $|a| = |F_c|/m = 0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, $F_v = F_c$.
- 1.6.** $F_{1z} = (2,3; -5,7; 0) \cdot 10^{-4} \text{ N}$, $F_{2z} = (-2,3; 5,7; 0) \cdot 10^{-4} \text{ N}$.
- 1.5.** a) $n < 0$: $x_1 = \frac{l(\sqrt{n-1})}{l(\sqrt{n+1})}$; b) $n > 0$: $x_2 = \frac{l(1-\sqrt{n})}{l(1+\sqrt{n})}$.
- 1.4.** a) $F_g/F_e \approx 10^{-40}$; b) $v \approx 2 \cdot 10^6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; c) $a_n \approx 9 \cdot 10^{22} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
- 1.3.** $F = \frac{4\pi\epsilon_0}{1} \frac{Q_1 + Q_2}{(Q_1 + Q_2)^2} = 8,1 \text{ N}$.
- 1.2.** $F = \frac{4\pi\epsilon_0}{1} \frac{Q_2}{Q_2} = 1,6 \cdot 10^{22} \text{ N}$.
- 1.1.** $\vec{Q} = \pm NZe = \pm 1,34 \cdot 10^7 \text{ C}$; $N = N^{\text{Av}} m / M^{\text{(H}_2\text{O)}}$, $Z = 10$.

1. ELEKTROSTATIKA

Výsledky

- 1.39.** $v_\infty = \sqrt{\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m a} (2 + \sqrt{2}/2)}$. **1.40.** $W = \Delta E_{\text{el}} = \frac{Q^2 d}{2\epsilon_0 S} = 0,63 \text{ mJ}$.
- 1.41.** $C = 4\pi\epsilon_0 R$; a) $C = 22 \text{ pF}$; b) $C = 0,71 \text{ mF}$.
- 1.42.** a) $\varphi_1 / \varphi_2 = R_2 / R_1 = 3$; b) $\varphi_1 / \varphi_2 = R_1 / R_2 = 1/3$.
- 1.43.** $C = 3C_1 = 3\epsilon_0 S / d$.
- 1.44.** $Q'_1 = UC_1 \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = -24 \text{ } \mu\text{C}$, $Q'_2 = UC_2 \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = -72 \text{ } \mu\text{C}$.
- 1.45.** $C = 4,44 \text{ } \mu\text{F}$, $Q_1 = 4,44 \text{ mC}$, $Q_2 = 2,67 \text{ mC}$, $Q_3 = 1,78 \text{ mC}$.
- 1.46.** $S = dC / \epsilon_0 \epsilon_r$.
- 1.47.** a) $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$, $C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d - d'}$, $C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{d'}$;
b) $d' = d$: $C = \epsilon_0 S / d$, $d' = 0$: $C = \epsilon_r \epsilon_0 S / d$.
- 1.48.** $C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{2d} (\epsilon_{r1} + \epsilon_{r2})$.
- 1.49.** a) $C_a = \epsilon_0 S / d = 0,71 \text{ nF}$, $Q_a = 8,5 \text{ nC}$, $U_a = 12 \text{ V}$, $E_{\text{ela}} = 51 \text{ nJ}$;
b) $C_b = \epsilon_r \epsilon_0 S / d = 3C_a$, $U_b = U_a$, $Q_b = 3Q_a$, $E_{\text{elb}} = 3E_{\text{ela}}$;
c) $C_c = C_a$, $U_c = 3U_a$, $Q_c = 3Q_a$, $E_{\text{elc}} = 9E_{\text{ela}}$.
- 1.50.** $E_{\text{el}} = \epsilon_0 \epsilon_r E^2 V / 2 = 22,135 \text{ J}$.
- 1.51.** Využijte konzervativnosti elektrického pole: $F = |\text{grad } E_{\text{el}}(d)|$.
- 1.52.** $R = \sqrt[6]{kG(12\pi e \rho)^2} = 76 \text{ } \mu\text{m}$, $k = 1/4\pi\epsilon_0$.
- 1.53.** $|Q| = 4(R_k + 1) \cdot \sin \beta \cdot \sqrt{\pi \epsilon_0 m g \cdot t \tan \beta} = 926 \text{ nC}$, $\beta = 45^\circ$.
- 1.54.** a) $F = eE$ a využijte výsledku příkladu **1.32.**;
b) z pohybové rovnice plyne: $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R^3 m_e}} = 7,17 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$.
- 1.55.** Pohyb elektronu je přímočarý (ve směru osy x), rovnoměrně zrychlený s nulovou počáteční rychlostí a zrychlením
- $a_x = \frac{eE}{m_e}$; a) $s(0;t) = \frac{eE}{2m_e} t^2$, $v(t) = \frac{eE}{m_e} t$; b) $E_k(t) = \frac{1}{2} \frac{e^2 E^2 t^2}{m_e}$;

- a) Jaký výkon P má motorček pohánějící disk?
b) Jak velký M otáčivý moment na disk působí? (L.B.)
- a) Jaký výkon P má motorček pohánějící disk?
b) Jak velký M otáčivý moment na disk působí? (L.B.)
- otáčící s frekvencí $f = 3 \text{ Hz}$.
kontaktní na obvodu disku teče proud $I = 5 \text{ A}$ k třecímu kontaktu na ose. Disk se s indukcí homogenního magnetického pole o velikosti $B = 0,2 \text{ T}$. Od třecího s $3,29$ Měděný kruhový disk o poloměru $R = 5 \text{ cm}$ je upevněn na ose rovnoběžně s smyčkou? (L.B.)
- disku $B = 2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ uprostřed smyčky. Jaké napětí je mezi konci drátu tvořícího $\rho_{\text{Cu}} = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ příčného průřezu $S = 1 \text{ mm}^2$ a vytváří magnetické pole in- **3.28.** Proud $I = 20 \text{ A}$ prochází kruhovou smyčkou z měděného drátu (rezistivita $3,26$ V elektricky jsou dva rovnoběžné přímé vodiče $l = 3 \text{ m}$ dlouhé vzdáleně od sebe $d = 50 \text{ cm}$. Při krátkém spojení jimi může procházet proud až $I_1 = I_2 =$ práce spotřebuje? (L.B.)
- zapotebí, aby se vodiče vzdálily na vzdálenost $a_2 = 20 \text{ cm}$? Na co se vykonaná $I_1 = 20 \text{ A}$ a $I_2 = 30 \text{ A}$ ve stejném směru. Jaké práce (na jednotku délky vodiče) je **3.27.** Obdélníková smyčka o rozměrech $18 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ se nachází v blízkosti dlouhého přímého vodiče. Obdélník i vodič leží v jedné rovině, přičemž kratší strana obdélníka je s vodičem rovnoběžná a vzdálena od něj $d = 6 \text{ cm}$. Jaká je velikost a směr výsledné síly, kterou působí přímý vodič na smyčku? (L.B. + T.B.)

3D. Kombinované úlohy.

- 3C. Vzájemné působení proudů.**
- a) Vyjádřete velikost magnetické indukce podél spojnice os obou drátů jako funkci vzdálenosti od místa dotyku.
b) V jaké vzdálenosti od místa dotyku má indukce maximální velikost a jaké nabývá hodnoty? (T.B.)
- a) Vyjádřete velikost magnetické indukce podél spojnice os obou drátů jako funkci vzdálenosti od místa dotyku.
b) V jaké vzdálenosti od místa dotyku má indukce maximální velikost a jaké nabývá hodnoty? (T.B.)
- 3.25.** Dva dlouhé přímé vodiče jsou vzdáleny $a_1 = 10 \text{ cm}$. Procházejí jimi proudy $I_1 = 20 \text{ A}$ a $I_2 = 30 \text{ A}$ ve stejném směru. Jaké práce (na jednotku délky vodiče) je zapotřebí, aby se vodiče vzdálily na vzdálenost $a_2 = 20 \text{ cm}$? Na co se vykonaná práce spotřebuje? (L.B.)
- 3.26.** V elektricky jsou dva rovnoběžné přímé vodiče $l = 3 \text{ m}$ dlouhé vzdáleně od sebe $d = 50 \text{ cm}$. Při krátkém spojení jimi může procházet proud až $I_1 = I_2 = 1000 \text{ A}$. Jak velkou silou při tom vodiče na sebe působí? (L.B.)
- 3.27.** Obdélníková smyčka o rozměrech $18 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ se nachází v blízkosti dlouhého přímého vodiče. Obdélník i vodič leží v jedné rovině, přičemž kratší strana obdélníka je s vodičem rovnoběžná a vzdálena od něj $d = 6 \text{ cm}$. Jaká je velikost a směr výsledné síly, kterou působí přímý vodič na smyčku? (L.B. + T.B.)

- 3.24.** Dva dlouhé měděné dráty kruhového průřezu o poloměru R se dotýkají podél celé své délky. Procházejí jimi stejně proudy I v též směru. Proud v každém vodiči jsou rovnoměrně rozděleny podél průřezu.
a) Vyjádřete velikost magnetické indukce podél spojnice os obou drátů jako funkci vzdálenosti od místa dotyku.
b) V jaké vzdálenosti od místa dotyku má indukce maximální velikost a jaké nabývá hodnoty? (T.B.)
- V případě b) určete velikost indukce vnitř i vně vodiče. Předpokládejte, že vodič je zhotoven z nemagnetického materiálu (např. mědi). (T.B.)
- c) vnitř dlouhého solenoidu s těsně navinutými závitů, protékající proudem I .
b) velmi dlouhým přímým vodičem s kruhovým průřezem poloměru R , kterým protéká proud I rovnoměrně rozložený po celém průřezu.

Moment síly působící na proudovou smyčku v homogenním magnetickém poli

$$\vec{M} = I \cdot \vec{S} \times \vec{B} = \vec{m} \times \vec{B} \quad [\text{N}\cdot\text{m}].$$

3A. Magnetická indukce. Lorentzova síla.

Síla, kterou působí magnetické pole na vodič protékající elektrickým proudem.

3.1. V určité oblasti prostoru je ve směru osy o_x vytvořeno homogenní elektrické pole intenzity \vec{E} o velikosti $10 \text{ kV}\cdot\text{cm}^{-1}$ a homogenní magnetické pole o indukci \vec{B} orientované ve směru osy o_y . Touto oblastí se pohybuje po přímce (ve směru osy o_z) svazek elektronů rychlostí velikosti $v = \frac{1}{3} c$. Jaká je velikost indukce magnetického pole? (T.B.)

3.2. Elektron se pohybuje v homogenním elektrickém a magnetickém poli kolmo na směr magnetické indukce. Intenzita elektrického pole o velikosti $E = 3 \text{ V}\cdot\text{cm}^{-1}$ a indukce magnetického pole o velikosti $B = 10^{-4} \text{ T}$ jsou navzájem kolmé. Jaká musí být velikost rychlosti elektronu, aby jeho trajektorie byla přímka? (L.B.)

3.3. a) Vypočítejte, za jakou dobu dosáhne proton urychlovaný v cyklotronu energie $E_k = 4 \text{ MeV}$, je-li největší poloměr kružnice v cyklotronu $R = 60 \text{ cm}$ a napětí mezi duanty, vzdálenými 1 cm , $U = 20 \text{ kV}$. Počáteční rychlost protonu je nulová.

b) Jaká je potřebná velikost indukce homogenního magnetického pole v cyklotronu? (L.B.)

3.4. V jednom z prvních cyklotronů se mohly protony pohybovat po trajektorii tvaru kružnice o poloměru až $R = 28 \text{ cm}$. Magnet tohoto zařízení vytvářel homogenní pole o magnetické indukci velikosti $B = 1,4 \text{ T}$, kolmé na rovinu trajektorie částic. Jakou maximální kinetickou energii E_{kmax} mohly protony v tomto cyklotronu získat? (T.B.)

3.5. Elektron urychlený z nulové rychlosti napětím $U = 1 \text{ kV}$ vletěl do homogenního magnetického pole o indukci velikosti $B = 1,19 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ kolmé ke směru jeho pohybu. Určete:

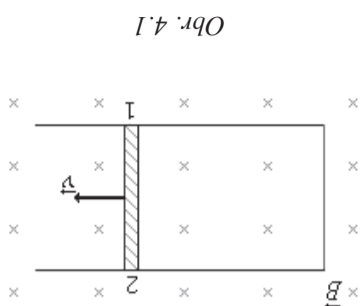
- a) velikost a směr síly \vec{F} působící na elektron v magnetickém poli,
b) poloměr křivosti R trajektorie elektronu,
c) periodu T jeho pohybu po kružnici. (L.B.)

3.6. Nabitá částice se pohybuje v homogenním magnetickém poli po kružnici o poloměru $R = 4 \text{ cm}$ rychlostí velikosti $v = 10^6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Velikost magnetické indukce je $B = 0,52 \text{ T}$. Určete náboj a druh částice, jestliže její kinetická energie je $20,8 \text{ keV}$! (L.M.)

3.7. Proton pohybující se rychlostí velikosti $v = 10^4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vletěl do homogenního magnetického pole o indukci $B = 0,01 \text{ T}$ pod úhlem $\alpha = 30^\circ$ ke směru indukčních čar a začíná se pohybovat po šroubovici. Stanovte:

(L.B.)
 c) Srovnajte mechanický výkon síly \vec{F} s tepelným výkonem, který se vyvíjí v obvodu.

b) Nalezte sílu \vec{F} potřebnou k udržení tyče v pohybu, je-li odpor celého obvodu $R = 0,2 \Omega$. Trení zanedbejte.



a) Určete velikost a směr indukovaného elektromotorického napětí v obvodu uzavřeném tyčí, jestliže se tyč pohybuje doprava rychlostí velikosti $v = 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

b) Nalezte sílu \vec{F} potřebnou k udržení tyče v pohybu, je-li odpor celého obvodu $R = 0,2 \Omega$. Trení zanedbejte.

c) Srovnajte mechanický výkon síly \vec{F} s tepelným výkonem, který se vyvíjí v obvodu.

4.4. Vodivá tyč délky $l = 0,5 \text{ m}$ se dotýká dvou drátů (viz obr. 4.1). Zařízení se nachází v homogenním magnetickém poli o indukcii velikosti $B = 0,5 \text{ T}$ kolmé k rovině, ve které leží vodiče (na obrázku směřuje vektor \vec{B} za nákresem).

4.3. Kruhový závit plošného obsahu $S = 100 \text{ cm}^2$ je umístěn ve vnějším homogenním magnetickém poli o indukcii velikosti $B = 0,5 \text{ T}$. Rovina závitu je kolmá ke směru indukce. Jaké střední napětí se indukuje v závitu, jestliže

a) velikost indukce poklesne na nulu během $0,01 \text{ s}$,
 b) velikost indukce se zmenší na polovinu hodnotu během $0,01 \text{ s}$,
 c) závit se otočí o úhel $\pi/2$ rad kolem libovolného průměru během $0,01 \text{ s}$,
 d) závit se otočí kolem průměru o úhel π rad za $0,01 \text{ s}$?

4B. Faradayův zákon elektromagnetické indukce.

4.1. Magnetická indukce homogenního magnetického pole má velikost $B = 15 \text{ T}$. Určete indukční tok tohoto pole rovinnou plochou $S = 1 \text{ dm}^2$, jejíž normála svírá se směrem indukce úhel $\alpha = 30^\circ$.

4A. Indukční tok.

Činný výkon: $P = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \phi \quad [\text{W}]$.

4. ELEKTROMAGNETICKÁ INDUKCE

Magnetický indukční tok

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad [\text{Wb}]$$

Faradayův zákon elektromagnetické indukce

$$U_e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad [\text{V}]$$

Indukované elektromotorické napětí

$$U_e = \int_V \vec{E} \cdot d\vec{l} ; \quad U_e = B l v$$

Vlastní indukčnost

$$L = \Phi / I \quad [\text{H}]$$

Vlastní indukčnost dlouhé cívky o N závitěch plošného obsahu S , délky l

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$$

Indukované elektromotorické napětí způsobené časovou změnou tekoucího proudu $i(t)$

$$u_e = - L \frac{di}{dt}$$

Vzájemná indukčnost

$$M = \Phi_{12} / I_1 \quad [\text{Wb}]$$

Energie magnetického pole; (objemová) hustota energie magnetického pole

$$E_{\text{mg}} = \frac{1}{2} L I^2 \quad [\text{J}] ; \quad w_{\text{mg}} = \frac{dE_{\text{mg}}}{dV} = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \quad [\text{J}\cdot\text{m}^{-3}]$$

Impedance: $\hat{Z} = \frac{\hat{U}}{\hat{I}} ; \quad |\hat{Z}| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad [\Omega]$

Induktance: $X_L = \omega L \quad [\Omega] ; \quad \text{kapacitance: } X_C = - \frac{1}{\omega C} \quad [\Omega]$

Rezonanční úhlový kmitočet: $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad [\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}]$

(L.M.)
 Navod: Využijte výsledků předchozího příkladu.

a) ^{238}U elektrárny.
 Pokušte se odhadnout roční produkci m jaderného odpadu (produkty rozpadu = $32,7\%$).

9.18. Blok jaderné elektrárny v Temelíně (JETE) má plánované parametry: výkon: $P = 1000 \text{ MW}$, palivo: ^{235}U o obohacení až na $c = 4,4\%$ ^{235}U , účinnost $\eta = 32,7\%$.

(L.M.)
 ven $4,17 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

c) Jaké množství ^{235}U se zúčastní štěpení při výbuchu jaderné pumpy s ekvivalentem TNT? Energetický ekvivalent TNT (trinitrotoluenu) je ro-

b) Stanovte denní spotřebu ^{235}U v jaderné elektrárně o výkonu $P = 440 \text{ MW}$, předpokládejte účinnost přeměny $\eta = 20\%$.

a) Určete energii (v joulech), která se uvolní při štěpení $1 \text{ kg } ^{235}\text{U}$. Jaké množství nafty (měrné spaliné teplo $4,17 \cdot 10^7 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$) uvolní při shorení stejnou energií?

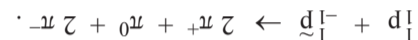
9.17. Jádru uranu ^{235}U se při reakci s neutronem rozštěpí na dvě přibližně stejné části, za současného uvolnění 2-3 neutronů a energie $\bar{Q} = 210 \text{ MeV}$.

(L.M.)
 π mezonů jsou $E_0(\pi^+) = E_0(\pi^-) = 139,57 \text{ MeV}$, $E_0(\pi^0) = 134,96 \text{ MeV}$.

energie připadající na jeden nukleon zvyší o $0,9 \text{ MeV}$. Klidové energie $E_0 = m_0 c^2$ ^{235}U je $208,481 \text{ MeV}$. Předpokládejte, že při rozštěpení jádra uranu se střední vazebná

Klidové hmotnosti deuteronu (^2D) a jádra helia (^3He) jsou $3,34359 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ a $5,00642 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Předpokládejte, že při rozštěpení jádra uranu se střední vazebná

d) Při kterém z procesů se uvolňuje největší množství energie?
 e) Při kterém z procesů se uvolňuje nejvíce možná energie na jeden nukleon vstupující do reakce?



c) anihilace protonu s antiprotonem a vstupujících neutronů zanedbejte),

b) štěpení jádra ^{235}U na dva přibližně stejné fragmenty (energie vstupujícího

a) syntéza $2^2\text{D} + 2^2\text{D} \rightarrow ^3\text{He} + ^1_1\text{H}$

9.16. Vypočítejte energetický výtěžek \bar{Q} (úbytek klidové energie, který je roven přírůstku kinetické energie) při následujících procesech:

9D. Jaderná energetika.

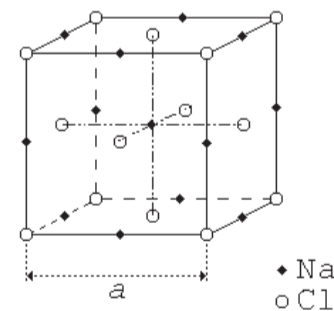
10. PRINCIPY FYZIKY PEVNÝCH LÁTEK

10A. Struktura pevných látek, rentgenová difrakce.

10.1. Určete hmotnost m_{Cu} atomu a velikost mřížkové konstanty a mědi, která krystalizuje v krychlové plošně centované soustavě. Hustota Cu je $\rho = 8960 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a relativní atomová hmotnost $A_r = 63,546$. (L.M.)

10.2. Určete počet atomů železa připadajících na krychlovou elementární buňku. Mřížková konstanta a – Fe je rovna $a = 0,287 \text{ nm}$, relativní atomovou hmotnost a hustotu naleznete v tabulkách. (L.Š.)

10.3. Hustota krystalu NaCl je $\rho = 2163 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, relativní atomové hmotnosti sodíku a chloru $A_{r\text{Na}} = 22,990$ a $A_{r\text{Cl}} = 35,453$. Naleznete mřížkovou konstantu NaCl. Elementární buňka struktury typu NaCl je na obrázku 10.1. (L.Š.)



Obr. 10.1

10.4. Předpokládejme, že elementární buňka prosté kubické mřížky je vytvořena ze stejných atomů, které si představíme jako pevné koule poloměru R . Hrana elementární buňky je $a = 2R$, protože atomy se navzájem dotýkají. Dokažte, že součinitel zaplnění (tj. poměr objemu vyplněného atomy k objemu elementární buňky) je roven $\pi/6$! (L.Š.)

10.5. a) Určete mezirovinovou vzdálenost určitých krystalografických rovin v krystalu stříbra, jestliže víte, že odraz prvního řádu charakteristického rentgenového záření CrK_α (vlnová délka $\lambda_1 = 0,2291 \text{ nm}$) na uvedené soustavě rovin nastává pod Braggovým úhlem $\theta_1 = 29^\circ 01'$.

b) Pod jakým úhlem by na týchž rovinách nastal odraz, pokud by bylo použito charakteristického rentgenového záření MoK_α (vln. délka $\lambda_2 = 0,0711 \text{ nm}$)? (L.M.)

10.6. a) Hliník krystalizuje v krychlové plošně centované soustavě, jeho hustota je $\rho = 2699 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a relativní atomová hmotnost $A_r = 26,98$. Na základě uvedených údajů vypočítejte mřížkovou konstantu hliníku.

b) Při dopadu charakteristického rentgenového záření CuK_α (vlnová délka $\lambda = 0,1542 \text{ nm}$) na krystal hliníku nastává reflexe 1. řádu na krystalových rovinách (111) pod Braggovým úhlem $\theta = 19,2^\circ$. Vypočítejte znovu mřížkovou konstantu hliníku z experimentálních údajů a porovnejte výsledek s částí a). (L.Š.)

4.5. Kovová tyč se pohybuje konstantní rychlostí $v = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (viz obr. 4.2). Vektor rychlosti \vec{v} je rovnoběžný s velmi dlouhým přímým drátem, kterým protéká proud $I = 40 \text{ A}$; $a = 0,1 \text{ m}$, $b = 1 \text{ m}$. Nalezte indukované napětí mezi konci tyče v ustáleném stavu. (L.B.)

4.6. Přímý vodič délky $l = 15 \text{ cm}$ rotuje ve vnějším homogenním magnetickém poli o indukci velikosti $B = 0,5 \text{ T}$ v rovině kolmé na směr indukce okolo osy procházející jeho koncovým bodem. Jaké napětí se indukuje mezi konci tohoto vodiče, jestliže rotuje s frekvencí $f = 60 \text{ Hz}$? (L.B.)

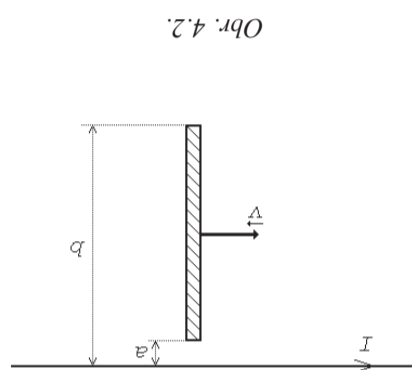
4.7. Rovná kovová tyč rotuje kolem kolmé osy procházející jejím středem v homogenním magnetickém poli, jehož indukce je rovnoběžná s osou rotace. Délka tyče je $2r$ a úhlová frekvence rotace ω . Jaké elektromotorické napětí se indukuje (a) mezi středem a koncem tyče, (b) mezi oběma konci? (T.B.)

4.8. Cívka ve tvaru toroidu střední délky $l = 2 \text{ m}$ a průřezu závitů $S = 20 \text{ cm}^2$ obsahuje $N = 1500$ závitů. Určete velikost elektromotorického napětí indukovaného v cívce, vzrůstá-li proud ve vinuti rovnoměrně o 10 A za sekundu. (L.B.)

4.9. V magnetickém poli o indukci velikosti $B = 0,005 \text{ T}$ se otáčí s frekvencí $f = 50 \text{ Hz}$ cívka tvořená $N = 400$ závitů tvaru obdélníka o stranách $a = 0,15 \text{ m}$ a $b = 0,2 \text{ m}$. Osa rotace je rovnoběžná s jednou stranou obdélníka a kolmá ke směru magnetického pole. Jaká je maximální hodnota indukovaného napětí na vývodech cívky? (L.B.)

4.10. Na vývodech krátké cívky, která má $N = 60$ závitů o plošném průřezu $S = 0,5 \text{ m}^2$ umístěném v sinusově se měnícím homogenním vnějším magnetickém poli o frekvenci $f = 10 \text{ Hz}$, bylo naměřeno efektívni elektromotorické napětí $U_{\text{ef}} = 30 \text{ mV}$. Vnější magnetické pole je kolmé na rovinu závitů cívky. Jaká je maximální hodnota magnetické indukce? (L.S.)

4.11. Dlouhý solenoid má kruhový průřez o poloměru R . Solenoid je připojen ke zdroji střídavého napětí tak, že velikost magnetické indukce pole vytvářeného uvnitř solenoidu závisí na čase podle vztahu $B(t) = B_0 \cdot \sin \omega t$, kde B_0 je maximální velikost magnetické indukce a ω úhlová frekvence střídavého proudu. Jaké elektromotorické napětí U_{e} se indukuje podél kružnic o poloměru r soustředěných se závitů solenoidu? Nakreslete graf závislosti $U_{\text{em}} = f(r)$! (T.B.)

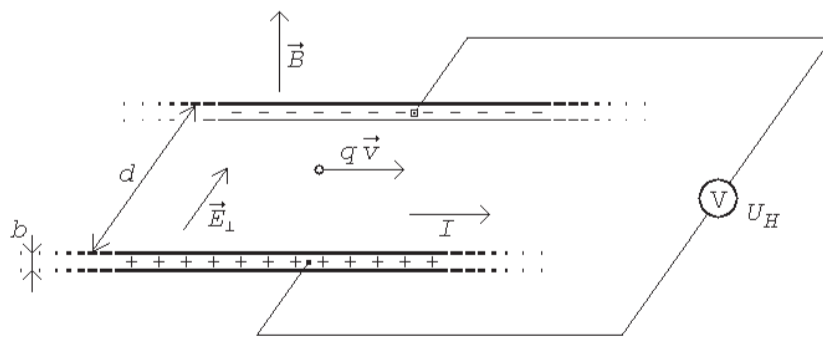


Obr. 4.2

3.30. Obdélníková cívka galvanometru má $N = 50$ závitů o ploše $S = 6 \text{ cm}^2$ a je zavěšena na torzním vlákně v homogenním magnetickém poli o indukci $B = 0,01 \text{ T}$. Torzní tuhost vlasového pera, na němž je cívka zavěšena, je $k = 5,73 \cdot 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$. Určete úhlovou výchylku cívky, prochází-li jejími závitů proud $I = 1 \text{ mA}$. Torzní tuhost vystupuje ve vztahu mezi momentem síly a úhlem otočení $M = -k\phi$. (L.B.)

3.31. Jednoduchý elektromotor je tvořen obdélníkovými závitů, které se otáčejí kolem podélné osy v homogenním magnetickém poli o velikosti indukce $B = 5 \text{ T}$. Rozměry závitů jsou $a \times b = 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$. Cívka elektromotoru se skládá celkem ze $N = 40$ takových závitů, přičemž jimi prochází proud $N = 8 \text{ A}$. Určete velikost momentu sil, kterým působí magnetické pole na cívku, jako funkci úhlu pootočení cívky, $M = M(\vartheta)$. (T.B.)

3.32. Tenký kovový, resp. polovodičový pásek šířky d tloušťky b je umístěn ve vnějším magnetickém poli \vec{B} , kolmém na rovinu pásku (obr. 3.1). Průřezem $b \times d$ pásku protéká proud I . Mezi okraji pásku (ve směru d) vzniká tzv. Hallovo napětí U_H . Určete toto napětí, jestliže objemová hustota volného náboje v pásku je $\rho = n \cdot q$, kde n [m^{-3}] je koncentrace volných nábojů, $q = \pm e$ je náboj díry, resp. elektronu. (A.K.)



Obr. 3.1

3.33. V omezené oblasti nekonečného homogenního a izotropního prostředí s konduktivitou σ existuje v okamžiku $t = 0$ s nerovnovážné rozdělení volného náboje popsané hustotou $\rho(0; \vec{r}) < \infty$. Jak se bude v této oblasti hustota samovolně (bez vnějšího zásahu) měnit s časem v důsledku vodivosti prostředí? (A.K.)

9.15. Do krve pacienta bylo zavedeno malé množství roztoku obsahujícího nuklid ^{24}Na s aktivitou $A(0) = 2000 \text{ Bq}$. Aktivita 1 cm^3 krve odebrané po $t = \text{pět}$ hodinách činila $c_A = 0,26 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-3}$. Z uvedených údajů je možno stanovit objem veškeré krve pacienta. Pokuste se o to! (L.M.)

9.14. V živém organismu se udržuje látkovou výměnou stálý poměr radioaktivního nuklidu ^{14}C a stabiálních nuklidů ^{12}C a ^{13}C . Odumřelý organismus přestane přijímat uhlík z okolí. Izotop ^{14}C se rozpadá s poločasem přeměny $T_{1/2} = 5730 \text{ let}$ a poměrně izotopické složení uhlíku se tím mění. Jak staré jsou dřevěné předměty, jestliže aktivita obsaženého nuklidu ^{14}C je rovna $3/5$ aktivity téhož nuklidu ve stejném vzorku z čerstvě poražených stromů? (L.M.+A.K.)

9.13. Jeden gram nepřeměněného radia má aktivitu $A(0) = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$. Použijte tento údaj a určete velikost Avogadrovy konstanty. Poločas rozpadu radia je $T_{1/2} = 1583$ roky a molární hmotnost $M = 226 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. (L.M.)

9.12. a) Jaký počet příslušných nerozpadlých jader obsahuje vzorek nuklidů ^{24}Na , ^{60}Co a ^{137}Cs , jestliže jejich aktivita je rovna právě $A(0) = 1 \text{ MBq}$? b) Jaké jsou celkové hmotnosti těchto jader v daných vzorcích? (L.S.)

9.11. Radioaktivní vzorek obsahuje v daném okamžiku $m_0 = 1 \text{ g}$ polonia ^{210}Po . Kolik jader polonia se rozpadne během prvních $t = 24$ hodin? Poločas rozpadu je $T_{1/2} = 138$ dní. (L.S.)

9.10. Poločas rozpadu ^{131}I je $T_{1/2} = 8$ dní. Za jakou dobu se rozpadne $N_t = 90\%$ nerozpadlých jader tohoto nuklidu? Proveďte porovnání s nuklidem stroncia ^{90}Sr (poločas rozpadu 28 let). (L.M.)

9C. Radioaktivita.

9.9. Jaká by mohla být maximální vlnová délka elektromagnetického záření, která by mohla být zachována celkově energie a zákon zachování hybnosti. (L.S.)

9.8. Určete minimální kinetickou energii, kterou musí mít v laboratorním systému α -částice, aby vyvolala endoenergetickou reakci $^{4}\text{He} + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{17}\text{O} + ^1\text{H} + 1,18 \text{ MeV}$. (L.S.)

9.7. Pro kinetickou energii a hybnost užíjte nerelativistické vztahy; uvažujte, že jádro dusíku je na počátku v klidu v laboratorním systému. Užíjte zákona zachování celkové energie a zákon zachování hybnosti. (L.S.)

9.6. Jaká by mohla být maximální vlnová délka elektromagnetického záření, která by mohla být zachována celkově energie a zákon zachování hybnosti. (L.S.)

9.5. Určete minimální kinetickou energii, kterou musí mít v laboratorním systému α -částice, aby vyvolala endoenergetickou reakci $^{4}\text{He} + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{17}\text{O} + ^1\text{H} + 1,18 \text{ MeV}$. (L.S.)

9.4. Určete minimální kinetickou energii, kterou musí mít v laboratorním systému α -částice, aby vyvolala endoenergetickou reakci $^{4}\text{He} + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{17}\text{O} + ^1\text{H} + 1,18 \text{ MeV}$. (L.S.)

9.3. Určete minimální kinetickou energii, kterou musí mít v laboratorním systému α -částice, aby vyvolala endoenergetickou reakci $^{4}\text{He} + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{17}\text{O} + ^1\text{H} + 1,18 \text{ MeV}$. (L.S.)

9.2. Určete minimální kinetickou energii, kterou musí mít v laboratorním systému α -částice, aby vyvolala endoenergetickou reakci $^{4}\text{He} + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{17}\text{O} + ^1\text{H} + 1,18 \text{ MeV}$. (L.S.)

9.1. Určete minimální kinetickou energii, kterou musí mít v laboratorním systému α -částice, aby vyvolala endoenergetickou reakci $^{4}\text{He} + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{17}\text{O} + ^1\text{H} + 1,18 \text{ MeV}$. (L.S.)

10B. Mechanické, tepelné, elektrické a optické vlastnosti pevných látek.

10.7. Vypočtete teoretickou mez pevnosti iontového krystalu NaCl, jehož jednocenné ionty se nacházejí v rovnovážných polohách ve vzájemné vzdálenosti $r = 0,282 \text{ nm}$.

Skutečná mez pevnosti běžných materiálů se pohybuje v rozmezí $0,01 \div 1 \text{ GPa}$. Pokuste se zdůvodnit rozdílnost skutečné a vypočtené hodnoty. (L.M.)

10.8. Při velmi nízkých teplotách (v blízkosti absolutní nuly) je měrná tepelná kapacita pevných látek dána přibližně Debyeovým vztahem $c = k \cdot T^3$, kde k je experimentálně zjištěná materiálová konstanta.

a) Vypočtete teplo, které je třeba dodat m kilogramům pevné látky, aby se její teplota zvýšila z $T_1 = 0 \text{ K}$ na $T_2 = 10 \text{ K}$.

b) Stanovte střední měrnou tepelnou kapacitu pro teplotní interval $\langle 0; 10 \rangle \text{ K}$,

c) a měrnou tepelnou kapacitu pevné látky při teplotě 10 K . (L.M.)

10.9. Rezistivita monokrystalu křemíku P-typu je při pokojové teplotě $27 \text{ }^\circ\text{C}$ přibližně rovna $\rho = 9 \cdot 10^{-4} \text{ } \Omega \cdot \text{m}$. Jak velká je Hallova konstanta Si, jestliže naměřená pohyblivost děr je $b_h = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$? (L.S.)

10.10. Předpokládejte, že stříbro je jednovalentní kov, krystalizující v kubické plošně centrované mřížce.

a) Zjistete počet volných elektronů n v jednotce objemu stříbra.

b) Vypočítejte Fermiho energii E_F .

c) Stanovte Fermiho teplotu a rychlost.

d) Určete mřížkovou konstantu stříbra. (L.M.)

Hustota a molární hmotnost Ag je $\rho = 10503 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a $M = 107,868 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. (L.M.)

10.11. Index lomu pevné látky (resp. tekutiny) pro elektromagnetické vlnění úhlové frekvence ω je v nejjednodušším modelu dán vztahem

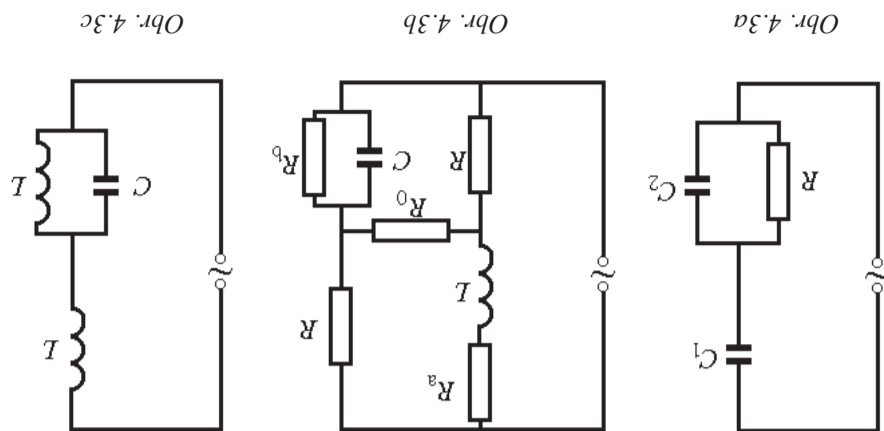
$$n = 1 + \frac{n_e e^2}{2\epsilon_0 m_e (\omega_0^2 - \omega^2)}$$

kde n_e je hustota elektronů v látce (počet elektronů na 1 m^3) a $\omega_0 > \omega$ je úhlová rezonanční frekvence elektronů vázaných v atomech látky. Při odvození tohoto vztahu se předpokládá, že elektrony v látce konají pod vlivem dopadajícího vlnění nucené kmity a vyzařují rozptýlené elektromagnetické vlnění téže frekvence ω , které interferuje s dopadajícím vlněním. Výsledkem interference je, že efektívni fázová rychlost c' vzniklého vlnění je menší než rychlost ve vakuu c ($n = c/c'$).

Změřený index lomu krystalu ledu při $0 \text{ }^\circ\text{C}$ pro $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ (sodíková žlutá čára) je 1,31. Hustota ledu je $\rho(0) = 917 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Určete z těchto dat rezonanční úhlovou frekvenci ω_0 (resp. frekvenci f_0) na základě vysvětleného jednoduchého modelu. (A.K.)

4.35. Místek na obrázku 4.3b slouží k měření indukčnosti L . Je-li místek vyrován, odporem R_0 neprotéká žádný proud. Vyjádřete L jako funkci R a C . (T.B.)

4.36. Určete průběh proudu $i(t)$ v obvodu (obr. 4.3c) připojeném na střídavé napětí $u(t) = U_0 \cdot \cos \omega t$. Jak se změní proud I , není-li možno zanedbat vzájemnou indukčnost cívek? (T.B.)



4.34. Rezistor o odporu $R = 10 \text{ k}\Omega$ s maximálním dovoleným příkonem 1 W je spojen se dvěma kondenzátory o kapacitách $C_1 = 0,5 \text{ }\mu\text{F}$ a $C_2 = 0,2 \text{ }\mu\text{F}$ (obr. 4.3a). Toto spojení připojíme na síť 220 V , 50 Hz . Vypočítejte tepelný výkon rezistoru a porovnejte jej s dovoleným příkonem. (T.B.)

4.33. Spotřebič o příkonu $P = 4 \text{ kW}$ a účinnosti $\cos \phi = 0,5$ je připojen na síť o efektivním napětí $U_{ef} = 220 \text{ V}$ a frekvenci $f = 50 \text{ Hz}$.
a) Jakou kapacitu musíme paralelně připojit ke svorkám spotřebiče, aby se účinník celku zvýšil na hodnotu $0,8$?
b) Jakou kapacitu by bylo nutno takto připojit, aby fázový posuv mezi napětím na svorkách sítě a celkovým proudem byl nulový? (L.S.)

4.32. Vypočítejte Jouleovo teplo vytvořené během jedné periody ve vodiči odporu R , kterým protéká střídavý proud $i(t) = I_m \cdot \sin \omega t$. (L.S.)

4.31. Jaký efektivní střídavý proud odebrá elektromotor na střídavý proud výkonu $P = 2,2 \text{ kW}$ při efektivním napětí na svorkách $U_{ef} = 220 \text{ V}$, víme-li, že účinník je $\cos \phi = 0,88$ a účinnost elektromotoru $\eta = 89\%$? (L.S.)

4.30. Sériový obvod tvořený cívkou o rezistanci $R = 0,3 \text{ }\Omega$ a indukčností $L = 40 \text{ mH}$ a kondenzátorem kapacity $C = 200 \text{ pF}$ je připojen ke zdroji napětí $U_{ef} = 6 \text{ V}$ a napětí na cívce a na kondenzátoru při rezonanční frekvenci. Zanedbatelného vnitřního odporu. Vypočítejte rezonanční frekvenci, rezonanční proud a napětí na cívce a na kondenzátoru při rezonanční frekvenci. (L.S.)

4D. Energie a hustota energie magnetického pole.

4.22. Solenoid délky $l = 50 \text{ cm}$ má $N = 10\,000$ závitů průměru $d = 6 \text{ cm}$. Prochází jím proud $I = 2 \text{ mA}$. Jaká energie je obsažena ve vzniklém magnetickém poli? (L.B.)

4.23. Vinutí elektromagnetu má odpor $R = 10 \text{ }\Omega$ a vlastní indukčnost $L = 0,2 \text{ H}$. V čase $t = 0$ je připojeno ke zdroji konstantního elektromotorického napětí. Za jakou dobu se vybaví ve vinutí takové množství tepla, které se rovná okamžité energii magnetického pole magnetu? (L.B.)

4.24. Velký toroid, používaný při studiu plazmatu, má vnější ohraničující poloměr $r_1 = 1,5 \text{ m}$ a vnitřní $r_2 = 0,4 \text{ m}$. Velikost magnetické indukce ve středu závitů je $B = 4 \text{ T}$.

a) Načrtněte závislost velikosti magnetické indukce na vzdálenosti r od rotační osy toroidu v rovině symetrie toroidu, kolmé na osu.

b) Jaké množství energie je obsaženo ve vytvořeném magnetickém poli? V druhé otázce považujte pole uvnitř toroidu za homogenní se střední velikostí B a objem toroidu vyjádřete přibližně jako $2\pi \frac{r_1 + r_2}{2} \cdot \pi \left(\frac{r_1 - r_2}{2}\right)^2$. (T.B.)

4E. Střídavé proudy.

4.25. Jaký efektivní proud bude procházet obvodem, ve kterém jsou do série zapojeny následující prvky: rezistor o rezistanci $R = 5 \text{ }\Omega$, kondenzátor o kapacitě $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ a cívka o indukčnosti $L = 0,05 \text{ H}$? Obvod je připojen na zdroj střídavého napětí $U_{ef} = 220 \text{ V}$ o frekvenci $f = 50 \text{ Hz}$. (L.S.)

4.26. Jaký efektivní proud prochází obvodem složeným z cívky o indukčnosti $L = 2 \text{ H}$ zanedbatelné rezistance a kondenzátoru kapacity $C = 8 \text{ }\mu\text{F}$? Prvky jsou připojeny paralelně ke zdroji střídavého napětí $U_{ef} = 220 \text{ V}$ o frekvenci 50 Hz . (L.S.)

4.27. Při stejnosměrném napětí 100 V prochází obvodem proud 5 A . Jaký proud bude obvodem procházet při střídavém napětí 100 V o frekvenci 50 Hz , je-li indukčnost obvodu $0,1 \text{ H}$? Jaký bude fázový posuv proudu a napětí? (T.B.)

4.28. Sériově zapojenou tlumivkou a kondenzátorem o kapacitě $C = 5 \text{ }\mu\text{F}$ protéká po připojení ke zdroji o efektivním napětí 220 V , 50 Hz střídavý proud o efektivní hodnotě $I_{ef} = 0,5 \text{ A}$. Rezistance tlumivky je $R = 100 \text{ }\Omega$. Jaká je její indukčnost? (L.S.)

4.29. Sériový rezonanční obvod se skládá z cívky o odporu $R = 2 \text{ }\Omega$ a indukčnosti $L = 50 \text{ }\mu\text{H}$ a z kondenzátoru o kapacitě $C = 300 \text{ pF}$. Obvod je připojen ke zdroji střídavého napětí $U_{ef} = 4 \text{ V}$ laditelné frekvence ω .

a) Definujte a vypočítejte rezonanční úhlový kmitočt ω_r obvodu.
b) Načrtněte graf funkce $I_{ef} = I_{ef}(\omega)$ a vypočítejte $I_{ef}(\omega_r)$. (T.B.)

8.26. Stav $1s$ v atomu vodíku odpovídá energii elektronu $E_{1H} = -13,6 \text{ eV}$.
s hlavním kvantovým číslem $n = 2$. (L.S.)

8.25. Vypočítejte vlnové délky prvních tří spektrálních čar v Balmerově sérii vlnovlnových spektra. Balmerovu sérii je možno považovat za spektrální čar, vznikajících při přechodu elektronu z vyšších energetických hladin na hladinu $n = 2$. (L.S.)

8.24. a) Vypište (v Diracově symbolice) všechny možné stavy elektronu, jejichž hlavní kvantové číslo je rovno třem.
b) Ze stavů s hlavním kvantovým číslem $n = 3$ vyberte ty, z nichž je výběrovými pravidly povolen přechod elektronu do stavu $|2; 1; 0; +1/2\rangle$. (L.M.)

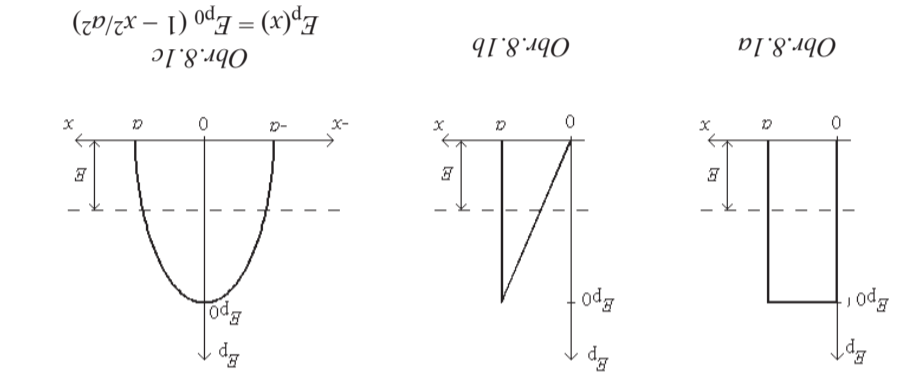
8.23. V rámci Bohrovu modelu atomu vodíku nalezněte
a) poloměry prvé a druhé orbity,
b) velikosti rychlosti elektronu na prvé a druhé orbite,
c) celkovou energii elektronu na prvé a druhé orbite,
d) vlnovou délku elektromagnetického vlnění, emitovaného při přechodu elektronu z druhé na první orbity. (L.S.+K.V.+L.M.)

8C. Elektronový obal atomu.

a) Použijte výsledku přechodového příkladu v části a) a zjistěte, jakou pravděpodobnost přechodu barionu má elektron podle předpokladu kvantové fyziky.
b) Kolikrát menší koeficient průchodu by měl za stejných výchozích podmínek proton? (L.M.)

8.22. V místě kontaktu dvou kovů existuje potenciálová bariéra, která převyšuje střední energii elektronů v kovu o 1 eV . Podle klasických představ by touto bariérou mohl projít jen zanedbatelný počet elektronů a sietovaným kontaktem by neprocházel žádný proud.

8.27. Elektromagnetické záření, které elektronový obal atomu vodíku vysílá při přechodu elektronu ze stacionárního stavu $n_2 = 2$ do stacionárního stavu $n_1 = 1$ má frekvenci $f = 2\,458 \text{ THz}$.
a) Jakou minimální velikost rychlosti musí mít elektron, který při nepružné srážce s atomem vodíku může vyvolat (opačný) přechod elektronu v obalu atomu (tj. přechod ze stavu n_1 do stavu n_2)?
b) Jakou minimální velikost rychlosti by elektron musel mít, aby při nepružné srážce atom vodíku ionizoval? (K.V. + A.K. + L.M.)



a) Vypočítejte vlnovou délku světla vyzářeného atomem vodíku při přechodu elektronu ze stavu s hlavním kvantovým číslem $n_1 = 4$ do stavu s $n_2 = 2$.
Jaká bude vlnová délka záření vyslaného při stejném přechodu
b) v ionizovaném atomu helia He^+ ,
c) v atomu sodíku (přibližně), za předpokladu odpovídajícího stínění elektrického pole jádra elektronu na „nižších“ orbitách? (L.M.)

8.27. Elektromagnetické záření, které elektronový obal atomu vodíku vysílá při přechodu elektronu ze stacionárního stavu $n_2 = 2$ do stacionárního stavu $n_1 = 1$ má frekvenci $f = 2\,458 \text{ THz}$.

a) Jakou minimální velikost rychlosti musí mít elektron, který při nepružné srážce s atomem vodíku může vyvolat (opačný) přechod elektronu v obalu atomu (tj. přechod ze stavu n_1 do stavu n_2)?
b) Jakou minimální velikost rychlosti by elektron musel mít, aby při nepružné srážce atom vodíku ionizoval? (K.V. + A.K. + L.M.)

8.28. Nalezněte hlavní kvantové číslo n odpovídající excitovanému stavu iontu He^+ , který při přechodu do základního stavu vyzářil postupně dva fotony elektromagnetického vlnění s vlnovými délkami $\lambda_1 = 108,5 \text{ nm}$ a $\lambda_2 = 30,4 \text{ nm}$. (L.M.)

8D. Kombinované úlohy.

8.29. Při vzdalování od hvězdy (hmotnosti M a poloměru R) působí na fotony její gravitační pole. Najděte relativní změnu frekvence elektromagnetického vlnění (rozdíl frekvence v nekonečnu f_∞ a na povrchu hvězdy f_0 , lomený frekvencí na povrchu). Uživte zjednodušenou představu o přeměně kinetické energie fotonu na potenciální při stoupání v poli hvězdy (fakticky je tento jev popsán obecnou teorií relativity). Řešte pro případ:
a) Slunce ($M_S = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, $R_S = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$),
b) neutronové hvězdy poloměru 14 km , stejné hmotnosti jako Slunce. (L.M.+A.K.)

8.30. Svazek rentgenového záření se rozptýluje na téměř volných elektronech (Comptonův jev). Záření rozptýlené pod úhlem $\alpha = 45^\circ$ od směru dopadajícího svazku má vlnovou délku $\lambda = 2,2 \text{ pm}$. Jaká je vlnová délka λ_0 dopadajícího rentgenového záření? (K.V.)

8.31. Při Comptonovském rozptylu tvrdého rentgenového záření na téměř volném elektronu získá elektron maximální kinetickou energii, je-li rentgenové záření rozptýleno zpět, tj. když úhel rozptylu $\alpha = \pi$. Vypočítejte v takovém případě:
a) vlnovou délku λ rozptýleného záření,
b) kinetickou energii E_k elektronu po interakci. (A.K.)

Vlnová délka dopadajícího záření je $\lambda_0 = 0,010 \text{ nm}$. (A.K.)

4.37. Průžná krátká cívka odporu $R = 10 \, \Omega$ má celkem $N = 100$ kruhových závitů plochy $S = 10^{-2} \text{ m}^2$. Je umístěna v neznámém homogenním magnetickém poli, jehož indukce B je kolmá na rovinu závitu. Cívka je připojena k balistickému galvanoměru, který měří průřez elektrický náboj q při relativně rychlých dějích. $T_{1,2}$ bude vždy označovat trvání daného děje. Odpor galvanoměru zanedbávejte.

1. Cívkou jsme rychle otočili o 180° kolem osy ležící v rovině závitu, galvanoměr přitom naměřil $q_1 = 2,0 \text{ mC}$. Vypočítejte velikost B indukce pole (metoda *flip coil* – převrtná cívka pro měření magnetické indukce).

2. Stejně počáteční pole B klesne rychle k nule. Předpovězte, jaký náboj q_2 naměří galvanoměr při tomto ději.

3. Cívkou zdeformujeme tak, že vytvoří jednoduchou osmíčku složenou ze dvou stejných kružnic ležících v téže rovině. Pole je stejně jako v případě 1. Jaký náboj q_3 naměří galvanoměr při takovém ději?

A. Jaké střední napětí U_c se indukuje při popsanych změnách v cívce, jestliže jednotlivě změny proběhly po řadě za $T_1 = 0,1 \text{ s}$, $T_2 = 0,1 \text{ s}$, $T_3 = 0,05 \text{ s}$?
B. Jaké Jouleovo teplo Q vzniklo v závitích cívky při 2. ději, jestliže předpokládáme rovnoměrný pokles velikosti magnetické indukce s časem z počáteční hodnoty k nule za dobu $T_2 = 0,1 \text{ s}$?

C. Z jaké formy energie či práce vzniklo Jouleovo teplo při jednotlivých dějích? (A.K.)

4.38. Jaký bude časový průběh proudu $i(t)$ ve vodiči o odporu R a indukčnosti L po připojení na zdroj stejnosměrného elektromotorického napětí U , při zanedbání vnitřního odporu zdroje? (L.S.)

4.39. V jadře transformátoru vzniká působením střídavého elektrického proudu procházejícího primárním vinutím indukční tok o maximální hodnotě $\Phi_m = 0,05 \text{ Wb}$. Jaké je efektivní napětí indukované v sekundárním vinutí transformátoru s $N = 40$ závitů, když střídavý proud na primáru má frekvenci $f = 50 \text{ Hz}$? (L.S.)

4.40. Průběhem protéká střídavý proud $i(t) = I_0 \cos \omega t$ o úhlové frekvenci $\omega = 2\pi f$. K vodiči je přiložena krátká obdélníková cívka s rozměry a , b a N závitů tak, že závitů a vodič leží v téže rovině a strana b je rovnoběžná s vodičem. Vzdálenost vodiče a nejbližší strany obdélníka je d . Určete efektivní napětí indukované v cívce způsobené vzájemnou indukčností vodiče a cívky. Řešte obecně a poté speciálně pro $I_0 = 100 \text{ A}$, $a = 0,1 \text{ m}$, $b = 0,2 \text{ m}$, $N = 100$, $f = 50 \text{ Hz}$, $d = 0,1 \text{ m}$. (A.K.)

4F. Kombinované úlohy.

4.12. Opakem elektromotoru (viz příklad 3.31.) je elektrický generátor. Cívka rotující v homogenním magnetickém poli \vec{B} je připojena třecími kontakty k vnějšímu obvodu. Jaké elektromotorické napětí dodává cívka do obvodu?

Předpokládejte, že cívka rotuje rovnoměrně s úhlovou frekvencí ω , že má plošný průřez S a počet závitů N . (T.B.)

4C. Vlastní a vzájemná indukce. Přechodové jevy v R-L obvodech.

4.13. Určete vlastní indukčnost solenoidu délky l s N kruhovými závitů o polooměru R . (T.B.)

4.14. Cívka délky $l = 20 \text{ cm}$ má $N = 400$ závitů o průměru $d = 3 \text{ cm}$. Určete:

- vlastní indukčnost L cívky,
- magnetický indukční tok Φ procházející jejím příčným průřezem, jestliže vinutím prochází proud $I = 2 \text{ A}$. (L.B.)

4.15. Toroid o $N = 1000$ závitů je navinut na kruhovém jádře středního polooměru zakřivení $r = 10 \text{ cm}$ a příčného průřezu $S = 25 \text{ cm}^2$. Určete vlastní indukčnost toroidu, jestliže jádro je vyrobeno ze železa o relativní permeabilitě $\mu_r = 700$. (L.B.)

4.16. Vypočítejte elektromotorické napětí, které se indukuje v cívce o indukčnosti $L = 0,06 \text{ H}$, jestliže proud v ní roste rovnoměrně tak, že se za každou sekundu zvýší o $\Delta I = 10 \text{ A}$. (L.B.)

4.17. Solenoid délky 50 cm a průřezu 5 cm^2 obsahující 500 závitů má ve svém středu malou cívku s 25 závitů stejného průřezu. Vypočítejte elektromotorické napětí indukované v krátké cívce, mění-li se v solenoidu proud rychlostí $10 \text{ A} \cdot \text{s}^{-1}$. (L.B.)

4.18. Cívka (1) délky $l_1 = 50 \text{ cm}$, průřezu $S_1 = 5 \text{ cm}^2$ s $N_1 = 500$ závitů má kolem sebe navinutu další cívku (2) s $N_2 = 25$ závitů téhož průřezu.

- Nalezněte vzájemnou indukčnost cívek (1) a (2)!
- Jaké napětí se bude indukovat v cívce (2), mění-li se proud v cívce (1) rovnoměrně rychlostí $10 \text{ A} \cdot \text{s}^{-1}$? (T.B.)

4.19. Kondenzátor kapacity C nabíjíme ze zdroje o elektromotorickém napětí U_e přes odpor R . Za jakou dobu se kondenzátor nabije na napětí U_c ($U_c < U_e$)? Vnitřní odpor zdroje zanedbávejte. (L.S.)

4.20. Na kondenzátoru kapacity C je v čase $t = 0$ napětí U_0 . Vybíjíme jej přes odpor R . Jaký je časový průběh vybíjecího proudu? (L.S.)

4.21. Kondenzátor kapacity $C = 1 \, \mu\text{F}$ je nabit na určité napětí. Za jakou dobu se kondenzátor vybije na poloviční napětí, když jeho desky spojíme přes odpor $R = 2 \text{ M}\Omega$? (L.S.)

kde x_1 a x_2 jsou souřadnice bodů, mezi kterými je $E_p \geq E_m -$ hmotnost částice. (L.M.)

$$D \approx \exp \left[-\frac{h}{2} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{2m(E_p - E)} dx \right],$$

8.21. Koeficient průchodu D (pravděpodobnost, že částice s energií E projde potenciálovou bariérou výšky $E_p(x)$) je přibližně dán vztahem

$\rho(x; t)$ vyskytu elektronu v tomto stavu. (A.K.)

$\psi(x; t) = \frac{1}{\sqrt{2}} [\psi_1(x; t) + \psi_2(x; t)]$ a vypočítejte hustotu pravděpodobnosti

b) Vytvořte superpozici normovaný nestacionární stav

v jednoduších případech maximální?

a) Vypočítejte hustotu pravděpodobnosti $\rho(x)$ [m⁻¹] vyskytu elektronu ve stacionárních stavech $n = 1$ a $n = 2$. Ve kterých bodech na ose x bude hustota

elektronu v daném stacionárním stavu, $i = \sqrt{-1}$.

kde $n = 1, 2, 3, \dots$ je hlavní kvantové číslo a $E_n = n^2 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m^c a^2}$ je hodnota energie

$$\psi^n(x; t) = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sin \frac{n\pi}{a} x \cdot \exp \left(-i \frac{E_n}{\hbar} t \right),$$

krabici délky a jsou ve stacionárním stavu

8.20. Normované vlnové funkce nelineárních elektronů v jednorozměrné oblasti rozměru $\Delta x = 10^{-6} \text{ m}$?

lativistického a) elektronu, b) protonu, c) atomu uranu, které jsou lokalizovány v

8.19. Jaka je nejmenší chyba, se kterou můžeme určit velikost rychlosti nere-

lativistického a) elektronu, b) protonu, c) atomu uranu, které jsou lokalizovány v

8.18. Oceňte neurčitost velikosti rychlosti elektronu v atomu vodíku (rozměr 10^{-10} m) a srovnajte ji s velikostí rychlosti elektronu na první bohrovské orbite

právě pohybují efektivní rychlosti při pokojové teplotě. (L.M.)

8.17. Najděte odpovídající vlnovou délku pole molekuly H_2 , které se

tického pole částice o stejné energii. (L.M.)

b) Srovnajte ji s odpovídajícími vlnovými délkami protonového a elektromagne-

ického pole částice o stejné energii $E_k = 100 \text{ eV}$?

8.16. a) Jaka je vlnová délka elektronového pole elektronu o kinetické energii $E_k =$

9. JADERNÁ FYZIKA

Hmotnostní schodek (defekt): $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_j$.

Vazební energie jádra: $E_v = \Delta m c^2$.

Zákon radioaktivní přeměny

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda t}; \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}, \quad \lambda [\text{s}^{-1}] - \text{přeměnová konstanta.}$$

9A. Struktura atomového jádra. Hmotnostní defekt. Vazební energie.

9.1. Kolik protonů, neutronů a elektronů obsahují neutrální atomy:

a) $^{235}_{92}\text{U}$, b) $^{12}_6\text{C}$, c) $^{206}_{82}\text{Pb}$, d) $^{208}_{82}\text{Pb}$? (L.M.)

9.2. Poloměr jádra atomu uhlíku je přibližně roven $r = 3 \text{ fm}$; zanedbáme-li hmotnost elektronů, je jeho hmotnost $m = 12 u$ (u je unifikovaná atomová hmotnostní jednotka). Stanovte průměrnou hustotu jádra. (L.M.)

9.3. Uhlík vyskytující se v přírodě obsahuje dva stabilní izotopy $^{12}_6\text{C}$ a $^{13}_6\text{C}$. První z nich tvoří 98,9 % počtu atomů přírodního uhlíku, druhý, jehož relativní atomová hmotnost je $A_{r13} = 13,003355$, tvoří zbytek. Stanovte průměrnou relativní atomovou hmotnost přírodního uhlíku. (L.M.)

9.4. V hmotnostním spektrometru se hmotnosti iontů určují z křivostí jejich trajektorií v magnetickém poli. Jednomocné ionty Cl^- vlétají s rychlostí velikostí $v = 50 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ do oblasti s homogenním magnetickým polem o indukci $B = 0,105 \text{ T}$ kolmo ke směru indukčních čar. Přírodní chlór se skládá ze dvou izotopů $^{35}_{17}\text{Cl}$ a $^{37}_{17}\text{Cl}$ s hmotnostmi atomů $m_1 = 34,97 u$ a $m_2 = 36,97 u$ (u je unifikovaná atomová hmotnostní jednotka). Určete poloměry kruhových drah opsaných ionty obou izotopů v magnetickém poli spektrometru. (L.M.)

9.5. Určete hmotnostní defekt a vazební energii a) deuteronu (jádro ^2_1H), b) α -částice (jádro ^4_2He). Klidové hmotnosti deuteronu a α -částice jsou po řadě $m_D = 3,3435864 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ a $m_{He} = 6,6447576 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. (L.S.)

9.6. Vypočítejte hmotnostní defekt, vazební energii a vazební energii připadající na jeden nukleon pro a) jádro $^{235}_{92}\text{U}$, b) jádro $^{65}_{29}\text{Cu}$. (A.K.)

9B. Jaderné reakce, energetická bilance.

9.7. Doplňte následující zápisy jaderných reakcí:

a) $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{17}_8\text{O} + ?$; b) $^{10}_5\text{B} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{13}_7\text{N} + ?$;

- a) Stanovte počet fotonů vyzářených laserem při jednom pulsu.
 b) Jaká síla zpětného rázu působí na laser v důsledku emise záření? (A.K.)
 c) Rubínový laser vyzáří v jednom pulsu trvajícím $\Delta t = 5 \cdot 10^{-4}$ s energii $E = 1$ J ve formě rovinného svazku záření s vlnovou délkou $\lambda = 694$ nm.
 a) Kolik atomů pracovní látky laseru emituje během 1 s fotonů?
 b) Kонтинуálně pracující He-Ne laser výkonu $P = 0,5$ W vysílá světlo na vlnové délce $\lambda = 633$ nm.
 8.2. Kонтинуálně pracující He-Ne laser výkonu $P = 0,5$ W vysílá světlo na vlnové délce $\lambda = 633$ nm.
 8.1. Lidské oko je schopno zaregistrovat dávku elektromagnetické energie $E = 3 \cdot 10^{-16}$ J. Jaký počet fotonů o vlnové délce $\lambda = 600$ nm to představuje? (L.M.)

8A. Experimentální základy: fotoelektrický jev, tepelní záření.

$$\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{m_e c}{h} (1 - \cos \alpha), \quad \omega = \frac{m_e c^2}{m_e c^2 \omega_0} (1 - \cos \alpha).$$

Comptonův vztah

$$E_n = - \frac{m_e e^4}{4} \frac{2(4\pi\epsilon_0)^2 h^2}{1} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad E_1 = -13,606 \text{ eV}.$$

Energie stacionárních stavů elektronu v atomu vodíku

$$m_e v r = n h, \quad n \in \mathbb{N}; \quad f_{\text{mm}} = \frac{E_n - E_m}{h}.$$

Bohrovy postuláty

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{h}{T}.$$

Wienův posunovací zákon

$$M = e \sigma T^4, \quad e - \text{emisivita}; \quad \text{absolutně černé těleso: } e = 1.$$

Stefanův-Boltzmannův zákon vyzářovací

$$h f = W + \frac{1}{2} m_e v_{\text{max}}^2.$$

Einsteinova rovnice pro fotoelektrický jev

$$p = \frac{h}{\lambda}, \quad \vec{p} = h \vec{k}.$$

$$E = h f, \quad E = h \omega;$$

De Broglieovy vztahy

8. PRINCIPY KVANTOVÉ FYZIKY

- b) Najděte střední tlak záření pulsu na kolmý povrch se součinitelem odrazivosti $r = 0,5$, jestliže svazek je fokusován do průměru $d = 10^{-5}$ m. (L.M.)

8.4. Při proměřování vlastností určitého fotoelektrického materiálu bylo zjištěno, že při osvětlení jeho povrchu světlem kryptonové lampy (vlnová délka $\lambda_1 = 450,2$ nm) vyletovaly elektrony s maximální kinetickou energií $E_{k1} = 0,490$ eV.

- a) Čemu je rovna výstupní práce zkoumaného materiálu a o jakou látku pravděpodobně šlo?
 b) Jakou maximální kinetickou energii by měly vyletující elektrony, kdyby byl stejný materiál pro kontrolu osvětlen rtuťovou výbojkou (vlnová délka $\lambda_2 = 253,7$ nm)? (L.M.)

Tabulka 8.1.: Výstupní práce A pro některé prvky

Prvek	Al	Ag	Ba	Cs	Fe	K	Li	Na
W / eV	3,74	4,28	2,29	1,89	4,36	2,15	2,39	2,27

8.5. Povrch kovu byl postupně osvětlen zářením o vlnových délkách $\lambda_1 = 350$ nm a $\lambda_2 = 540$ nm. Při tom bylo zjištěno, že poměr k odpovídajících maximálních rychlostí vyletujících fotoelektronů je roven 2,0. Na základě experimentálních údajů vypočítejte výstupní práci pro použitý materiál. (L.M.)

8.6. V roce 1916 provedl Millikan přesné měření Planckovy konstanty při studiu fotoelektrického jevu na kovové katodě (*The Physical Review* 7(1916), s. 365). Při dopadu světla různých vlnových délek byla měřena kinetická energie uvolněných elektronů (viz tabulka 8.2.). Naměřenou závislost kinetické energie na převrácené hodnotě vlnové délky zpracujte početně či graficky a zjistěte velikost Planckovy konstanty a výstupní práci pro použitý kov. (L.M.)

Tabulka 8.2.: Vlnové délky λ a kinetické energie E_k

λ / nm	312,5	365,0	404,7	433,9	546,1
E_k / eV	2,128	1,595	1,215	1,025	0,467

8.7. Absolutně černé těleso má teplotu: a) $15 \cdot 10^6$ K (teplota v nitru Slunce), b) 1 350 $^\circ\text{C}$ (teplota tání oceli), c) 37 $^\circ\text{C}$, d) $2,75$ K („teplota“ reliktního záření). Na jaké vlnové délky připadne maximum spektrálního vyzařování těles? (L.M.)

8.8. Na jakou teplotu musíme zahřát absolutně černé těleso, aby maximum spektrálního vyzařování připadlo na vlnové délky: a) 200 nm, b) 550 nm, c) 800 nm? (L.M.)

8.9. Střední intenzita elektromagnetického záření dopadajícího ze Slunce na Zem (tzv. solární konstanta) je rovna $I_S = 1,372$ $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Určete teplotu povrchu Slunce za předpokladu, že vyzařuje jako absolutně černé těleso.

Vzdálenost Země-Slunce je $r_Z = 1,5 \cdot 10^{11}$ m a poloměr Slunce $R_S = 6,96 \cdot 10^8$ m. (T.B.)

c je rychlost šíření elektromagnetických vln ve vakuu, ω a λ – úhlová frekvence a vlnová délka vlnění, A, B – konstanty. (L.M.)

$$v_f = \frac{c}{1 - B\lambda^2},$$

b) elektromagnetické vlny v ionosféře, kde pro fázovou rychlost platí

$$v_f = \frac{c}{\sqrt{1 + A/\omega^2}},$$

a) elektromagnetické vlny v řídkém plazmatu, jejichž fázová rychlost je rovna

6.6. Vypočítejte velikost grupové rychlosti pro dané typy vln:

(L.M.)

6.5. Najděte závislost mezi velikostmi v_g a v_f grupové a fázové rychlosti vlnění, u kterého má zákon disperze tvar $v_f \sim k$ (k je velikost vlnového vektoru). Vlnové délky vlny při přechodu.

(L.M.)

6.4. Elektromagnetická světelná vlna o frekvenci $f = 600$ THz přechází z vakua do nemagnetického prostředí s relativní permitivitou $\epsilon_r = 1,8$. Nalezněte přírůstek relativní permitivitu vody pro dané záření. (L.S.)

6.3. Vlnová délka infračerveného záření naměřená ve vzduchu je $\lambda_{\text{vz}} = 3,0$ μm . Vlnová délka téhož záření měřená v destilované vodě je $\lambda_{\text{p}} = 1,41$ μm . Vypočítejte

(L.S.)

6.2. Oscilační obvod vysílací stanice má indukčnost $L = 60$ μH a kapacitu $C = 400$ pF. Určete vlastní frekvenci a vlnovou délku nosné vlny vysíláče (ve vakuu).

(L.M.)

6.1. Okamžitý výkon P vyzářovaný bodovým nábojem q , který se pohybuje se stálým zrychlením velikosti a , je roven

$$P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q^2 a^2}{3c^3}, \quad \text{kde } c \text{ je rychlost světla ve vakuu.}$$

6A. Vznik a vlastnosti elektromagnetického vlnění.

$$\text{Střední tlak záření: } \bar{p} = \frac{I}{c} \text{ [Pa].}$$

6. ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ

Maxwellovy rovnice

$$1. \quad \oint_{S=\partial V} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho \cdot dV; \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}.$$

$$2. \quad \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0; \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0.$$

$$3. \quad \oint_{\Gamma=\partial S} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}; \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

$$4. \quad \oint_{\Gamma=\partial S} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \left(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}; \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

Rychlost šíření elektromagnetického vlnění ve vakuu: $c_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}.$

Fázová rychlost elektromagnetického vlnění v prostředí: $v_f = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0 \mu_r}}.$

Fázová rychlost vlnění: $v_f = \frac{\omega}{k};$ grupová rychlost: $v_g = \frac{d\omega}{dk}.$

Vlnová rovnice pro elektromagnetické vlny v homogenním izotropním dielektriku

$$\Delta \vec{E} = \epsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}.$$

Objemová hustota energie elektromagnetického pole: $w_{\text{elmg}} = \frac{1}{2} \left(\epsilon E^2 + \frac{B^2}{\mu} \right).$

Střední intenzita elektromagnetického vlnění: $\bar{I} = \bar{w}_{\text{elmg}} v_g;$

ve vakuu: $\bar{I} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_m^2 c; \quad B_m = \frac{E_m}{c},$

E_m a B_m jsou amplitudy intenzity elektrického pole a indukce magnetického pole v elektromagnetické vlně.

Solární konstanta I_S – střední intenzita slunečního záření ve vzdálenosti 1 AU od Slunce; $I_S = 1$ 372 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}.$

- 6.7. Amplituda intenzity elektromagnetického rozhlásování vln je $E_m = 60 \mu\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$. Jaká je amplituda indukce magnetického pole a jaká je intenzita tohoto vlnění? (A.K.)
- 6.8. Vypočítejte intenzitu elektromagnetického vlnění a efektivní hodnotu intenzity elektřického pole ve vzdálenosti $d = 10 \text{ km}$ od všesměrového vysílače, jehož střední výkon je $P = 10 \text{ kW}$. Předpokládejte, že vysílač je situován ve volném prostoru. (L.Š.)
- 6.9. Radar vysílá rovníměrně do kružnice, který představuje prosťový úhel $\Omega = 0,01 \text{ sr}$. Vysílaný výkon P je $2,65 \text{ kW}$. Jaké jsou amplitudy E_m a B_m intenzity elektřického pole a indukce magnetického pole ve vzdálenosti $r = 1 \text{ km}$ od vysílače? (A.K.)
- 6.10. Na čtverecní metr zemského povrchu dopadá kolmo za jednu minutu zářivá sluneční energie v množství $E = 82,3 \text{ kJ}$. Vypočítejte efektivní hodnoty E_{eff} a B_{eff} intenzity elektřického pole a indukce magnetického pole tohoto elektromagnetického vlnění přicházejícího ze Slunce. (L.Š.)
- 6.11. Jaký tlak p vytváří při kolmém dopadu na dokonale absorpční povrch světla laserového svazku intenzity $I = 10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$? (Těto intenzity dosahují technologií CO_2 lasery, používané na opravování, sváření, vrtání a tepelné zpracování materiálu.) (A.K.)
- 6.12. Zrnko prachu má průměr $d_1 = 1 \mu\text{m}$, hustota $\rho = 2 \cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a nachází se v mezplanetárním prostoru ve vzdálenosti $r_z = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$ od Slunce (tj. na oběžné dráze Země). (L.M.)
- a) Porovnejte velikost odpudivé síly způsobené slunečním zářením s velikostí přitažlivé gravitační síly Slunce působící na zrnko. Předpokládejte, že prach plně absorbuje dopadající záření.
- b) Zopakujte předchozí výpočet pro průměr zrnka $d_2 = 0,5 \mu\text{m}$. (T.B.)
- 6.13. Pouhým okem, adaptovaným na tmu, můžeme vidět hvězdu, pokud intenzita světla vstupujícího do oka je alespoň $I = 8,8 \cdot 10^{-11} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. (T.B.)
- c) Ukážete, že poměr obou sil působících na zrnko je při daném poloměru zrna nezávislý na jeho vzdálenosti od Slunce.
- c) Kolik hvězd bychom viděli na obloze pouhým okem? (T.B.)

6B. Intenzita elektromagnetického vlnění.

5. MAGNETICKÉ POLE V LÁTKÁCH

Vztah indukce a intenzity magnetického pole v lineárním izotropním prostředí

$$\vec{B} = \mu \vec{H} ; \quad \mu = \mu_0 \mu_r .$$

Magnetická polarizace: $\vec{J} = \chi_m \vec{B}_0$; mag. susceptibilita: $\chi_m = \mu_r - 1$.

5.1. a) Určete indukčnost cívky příčného průřezu $S = 9 \text{ cm}^2$, délky $l = 20 \text{ cm}$, která je tvořena $N = 400$ závitů.

b) Jaká je indukčnost téže cívky, je-li do ní vloženo železné jádro? Relativní permeabilita jádra je za podmínek pokusu $\mu_r = 400$. (L.B.)

5.2. Na permanentní magnet ve tvaru válce délky $l = 15 \text{ cm}$ a relativně malého průměru bylo navinuto $N = 300$ závitů tenkého vodiče. Když vodičem protékal proud $I = 3 \text{ A}$, klesla velikost indukce magnetického pole v blízkosti magnetu na nulovou hodnotu. Stanovte koercitivní indukci materiálu, ze kterého je magnet zhotoven. (L.M.)

5.3. Na toroidu, jehož jádro je z oceli o průřezu $S = 1 \text{ cm}^2$ a jehož střední délka je $l = 10 \text{ cm}$, je navinuto $N = 300$ závitů drátu. Měřením bylo zjištěno, že při proudu $I = 32 \text{ mA}$, který procházel vinutím, byl magnetický tok průřezem jádra $\Phi = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$. Vypočítejte:

- velikosti celkové magnetické indukce B v jádře a magnetické indukce B_0 vytvořené proudem procházejícím vinutím,
- relativní permeabilitu a magnetickou susceptibilitu jádra v dané situaci,
- magnetickou polarizaci jádra. (L.M.)

5.4. Toroid s ocelovým jádrem délky $l = 50 \text{ cm}$ příčného průřezu $S = 4 \text{ cm}^2$ má jedno vinutí tvořené $N_1 = 500$ závitů, kterým prochází proud $I = 1 \text{ A}$ a druhé vinutí o $N_2 = 1000$ závitů, které má odpor $R = 20 \Omega$ a je připojeno ke galvanoměru. Určete relativní permeabilitu jádra, jestliže při rychlém přepólování napětí v prvním vinutí prošel galvanoměrem náboj $\Delta Q = 0,06 \text{ C}$. (L.M.)

5.5. Vinutím cívky délky $l = 10 \text{ cm}$ mající $N = 100$ kruhových závitů průměru $d = 4 \text{ cm}$ prochází proud $I = 4 \text{ A}$. Cívka je vyplněna látkou o susceptibilitě $\chi_m = 0,12$.

- Jaká je velikost indukce magnetického pole na ose cívky?
- Jak velký je magnetický indukční tok jedním závitěm? (L.M.)

5.6. Na přímém kovovém jádře kruhového průřezu $S = 2 \text{ cm}^2$ je navinuto v jedné vrstvě těsně k sobě $N = 200$ závitů drátu průměru $d = 0,5 \text{ mm}$. Změřená vlastní indukčnost takto konstruované cívky je $L = 0,11 \text{ mH}$. Jaká je

- relativní permeabilita,
- susceptibilita materiálu jádra za daných podmínek? (L.M.)

7.51. Měření *doplerovského posuvu* umožnilo objev dvojhvězdy tak vzdálených, že jejich složky nemohou být rozlišeny současnými optickými teleskopy. Spektrální čáry od takových hvězd se periodicky zdvojují a je možné předpokládat, že zdroj záření jsou dvě hvězdy obíhající kolem společného těžiště. Pro zjednodušení předpokládejte, že hmotnosti těchto složek dvojhvězdy jsou stejné a stanovte tuto hmotnost jakož i vzdálenost těžišť složek, jestliže víte, že maximální rozštěpení spektrálních čar, které se opakuje každých $\tau = 98$ hodin, je rovno $(\Delta\lambda/\lambda)_{\text{max}} = 4,45 \cdot 10^{-4}$. Pozorovatel se nachází v rovině oběhu obou složek dvojhvězdy. (L.M.)

7.52. V pozemských podmínkách je vlnová délka spektrální čáry H_{α} vysílané atomem vodíku $\lambda_v = 656,285 \text{ nm}$. Při měření vlnové délky této čáry v záření, které přichází ze směru odpovídajícího opačným směrem slunečního disku (na slunečním rovníku) byl zjištěn maximální rozdíl v naměřených vlnových délkách $\Delta\lambda = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ nm}$. Z naměřených údajů a ze známého poloměru Slunce R_S stanovte periodu sluneční rotace. (L.M.)

Měsíc	Io	Europa	Ganyméd	Kallisto
r [10^3 km]	422	671	1 070	1 883

Tabulka 7.1.: Střední vzdálenosti r měsíců od Jupitera

7.49. Družice Země vysílá nepřetržitě signál na vlnové délce $\lambda = 15 \text{ cm}$. Po zemi stanice užívá na příjem signálu dvě propojené parabolické antény, vzdálené od sebe $d = 100 \text{ m}$. Družice momentálně letí nad stanicí ve směru spojnice antén s rychlostí $h = 400 \text{ km}$. Jak rychle vzhledem k anténě letí, jestliže intenzita přijímaného signálu kolísá s frekvencí $f_r = 6 \text{ Hz}$? (A.K.)

7.50. Říká se, že *Křováci* (obyvatelé pouště Kalahari) jsou schopni vidět Jupiterovy měsíce pouhým okem. Použitím *Rayleighova kritéria* určete minimální vzdálenou vzdálenost dvou malých zdrojů světla, nacházejících se ve vzdálenosti Jupitera, které lze rozlišit pouhým okem. Srovnejte tuto vzdálenost s hodnotami uvedenými v tabulce a rozhodněte, jestli omezení dané rozlišovací schopností lidského oka, zabránění spáření Jupiterových měsíců.

7.51. Měření *doplerovského posuvu* umožnilo objev dvojhvězdy tak vzdálených, že jejich složky nemohou být rozlišeny současnými optickými teleskopy. Spektrální čáry od takových hvězd se periodicky zdvojují a je možné předpokládat, že zdroj záření jsou dvě hvězdy obíhající kolem společného těžiště. Pro zjednodušení předpokládejte, že hmotnosti těchto složek dvojhvězdy jsou stejné a stanovte tuto hmotnost jakož i vzdálenost těžišť složek, jestliže víte, že maximální rozštěpení spektrálních čar, které se opakuje každých $\tau = 98$ hodin, je rovno $(\Delta\lambda/\lambda)_{\text{max}} = 4,45 \cdot 10^{-4}$. Pozorovatel se nachází v rovině oběhu obou složek dvojhvězdy. (L.M.)

7C. Kombinované úlohy.

7.15. Elektron byl urychlen potenciálovým rozdílem $U = 200 \text{ V}$. Z de Broglieho vztahů určete vlnovou délku odpovídajícího elektronového pole. (T.B.)

7.16. Družice Země vysílá nepřetržitě signál na vlnové délce $\lambda = 15 \text{ cm}$. Po zemi stanice užívá na příjem signálu dvě propojené parabolické antény, vzdálené od sebe $d = 100 \text{ m}$. Družice momentálně letí nad stanicí ve směru spojnice antén s rychlostí $h = 400 \text{ km}$. Jak rychle vzhledem k anténě letí, jestliže intenzita přijímaného signálu kolísá s frekvencí $f_r = 6 \text{ Hz}$? (A.K.)

7.17. Družice Země vysílá nepřetržitě signál na vlnové délce $\lambda = 15 \text{ cm}$. Po zemi stanice užívá na příjem signálu dvě propojené parabolické antény, vzdálené od sebe $d = 100 \text{ m}$. Družice momentálně letí nad stanicí ve směru spojnice antén s rychlostí $h = 400 \text{ km}$. Jak rychle vzhledem k anténě letí, jestliže intenzita přijímaného signálu kolísá s frekvencí $f_r = 6 \text{ Hz}$? (A.K.)

8.10. Efektivní teplota slunečního povrchu, která odpovídá vyzařovanému výkonu teplotního záření černého tělesa dle Stefanova-Boltzmannova zákona, je $T = 5785 \text{ K}$. Hmotnost Slunce $M_S = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, poloměr $R_S = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$. Určete:

- výkon vyzařovaný z 1 m^2 povrchu Slunce,
- celkový výkon P vyzařovaný Sluncem.
- Odhadněte dobu, za niž se vyzařováním zmenší hmotnost Slunce o 1%. Užijte vztah $E = mc^2$, vyjadřující ekvivalenci energie a hmotnosti. (A.K.)

8.11. Země absorbuje elektromagnetické záření vysílané Sluncem a opět jej vyzařuje ve formě teplotního infračerveného záření. V tepelné rovnováze je absorbovaný výkon roven výkonu vyzařovanému celým povrchem Země. Intenzita slunečního záření na dráze Země je $I_S = 1,372 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$.

- Určete střední teplotu povrchu Země za předpokladu, že vyzařuje jako absolutně černé těleso.
- Stejným způsobem určete střední teplotu povrchu planety Neptun.

Vzdálenost Slunce-Neptun $r_N = 4,5 \cdot 10^{12} \text{ m} = 30 \text{ AU}$. (T.B.)

8.12. Jaký proud by měl procházet v ustáleném stavu kovovým vláknem žárovky průměru $d = 0,1 \text{ mm}$, aby ustálená teplota vlákna byla $T = 2500 \text{ K}$?

Měrný odpor materiálu vlákna je $\rho = 2,5 \cdot 10^{-6} \Omega\cdot\text{m}$, $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$. Předpokládejte, že vlákno září jako absolutně černé těleso a zanedbejte ostatní ztráty energie. (K.V.+A.K.)

8.13. Wolframové vlákno v rozsvícené žárovce má teplotu $t_1 = 2500 \text{ }^\circ\text{C}$ a průměr $d = 0,2 \text{ mm}$. Za jak dlouho po zhasnutí klesne teplota vlákna na a) $800 \text{ }^\circ\text{C}$, b) $20 \text{ }^\circ\text{C}$? Předpokládejte, že vlákno nepřijímá z okolí žádnou energii, a že vyzařuje jako absolutně černé těleso. Hustota wolframu je $\rho = 19300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, měrná tepelná kapacita v uvažovaném teplotním rozsahu $c = 134 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. (L.M.+L.Š.)

8.14. Dvě relativně velké rovnoběžné absolutně černé stěny jsou udržovány na teplotách $T_1 = 360 \text{ K}$ a $T_2 = 260 \text{ K}$. Efekt zředěného plynného prostředí mezi stěnami zanedbejte.

- Jaké jsou tepelné ztráty vyzařováním do mezilehlého prostoru z 1 m^2 stěny s vyšší teplotou?
- Jaké budou ztráty v ustáleném stavu, jestliže mezi stěny vložíme hliníkovou folii s koeficientem absorpce v dané oblasti teplotního záření $A_3 = 0,1$?
- Jaká bude teplota T_3 folie? Předpokládejte, že obě její strany mají v ustáleném stavu stejnou teplotu. (A.K.)

8B. Principy kvantové mechaniky.

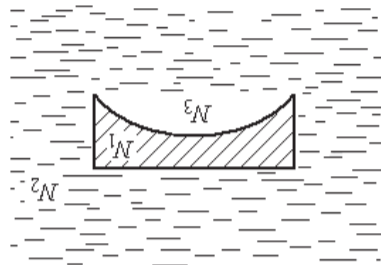
8.15. Elektron byl urychlen potenciálovým rozdílem $U = 200 \text{ V}$. Z de Broglieho vztahů určete vlnovou délku odpovídajícího elektronového pole. (T.B.)

7.33. Lupa o ohniskové vzdálenosti $f = 5$ cm vytváří zdánlivý obraz předmětu ve vzdálenosti $|b| = 40$ cm od lupy (v předmětovém prostoru). Oko se nachází ve vzdálenosti $x = 2$ cm od lupy (v obrazovém prostoru). Určete podíl zorného úhlu, pod kterým vidí oko zdánlivý obraz a zorného úhlu, pod kterým by oko vidělo předmět v téže poloze bez lupy.

7.34. Ohnisková vzdálenost objektivu mikroskopu je $f_1 = 3$ mm, okuláru $f_2 = 3$ cm, délka celého mikroskopu je $l = 16$ cm. Určete do jaké vzdálenosti před objektív je nutno umístit předmět, aby zdánlivý obraz vytvořený mikroskopem vznikl ve vzdálenosti $b_2 = 25$ cm od okuláru.

7E. Optické přístroje. Oko.

7.32. Centrována optická soustava se skládá ze dvou tenkých čoček o optických mohutnostech 2 a 5 dioptrií, vzdálených od sebe $d_2 = 10$ cm. Vypočítejte, v jaké vzdálenosti od středu první čočky se nachází obrazové ohnisko této soustavy.



Obr. 7.3

7.31. Tenká ploskodutá čočka je ponořena ve vodorovně poloze do vody tak, že prostor pod ní (její dutina) je vyplněn vzduchem (obrázek). Celková mohutnost této optické soustavy (sklo, vzduch) je $\phi = -2,6$ D. Určete poloměr křivosti duté strany čočky.

7.30. Dvojvypuklá tlustá čočka ze skla indexu lomu $n = 1,5$ má poloměry křivosti $r_1 = 30$ cm a $r_2 = -20$ cm. Tloušťka čočky je $d = 10$ cm. Nalezněte bod, do kterého se zobrazí paralelní svazek světla přicházející (a) zleva, (b) zprava.

7.29. Dokážete, že nejmenší vzdálenost mezi předmětem a jeho reálným obrazem vytvořeným tenkou spojnou čočkou je rovna čtyřnásobku ohniskové vzdálenosti f čočky.

Poznámka: Pro zobrazení sférickou lámavou plochou použijte vztah $\frac{s}{n_1} + \frac{s'}{n_2} = \frac{r}{n_2 - n_1}$.

- Nakreslete chod paprsků dalekohledem a určete úhlové zvětšení dalekohledu při pozorování astronomického objektu.
- Nakreslete chod paprsků dalekohledem a určete úhlové zvětšení dalekohledu, když je zaostřen na pozemský předmět, který je ve vzdálenosti a od objektivu. Tato vzdálenost je mnohokrát větší než délka dalekohledu.
- Určete pro tento případ vzdálenost d objektivu od okuláru.
- Jak daleko a kterým směrem bylo nutno posunout okulár vzhledem k objektivu při přechodu od situace (a) k situaci (b) ?

Úlohu nejprve řešte obecně a pak pro hodnoty: $f_1 = 30$ cm, $f_2 = -3,0$ cm, $a = 20$ m. Poznámka: V nákresech není třeba dodržet poměr zadaných délek. (L.Š.)

7.36. V krátkozrakém oku má uvolněná oční čočka abnormálně krátkou ohniskovou vzdálenost a nevytvorí obraz vzdáleného předmětu na sítnici. Tuto vadu lze korigovat kontaktní čočkou. Považujte oční i kontaktní čočku za tenké.

- Předpokládejte, že ohnisková vzdálenost oka je $f_0 = 2$ cm. Jaká musí být ohnisková vzdálenost f_c kontaktní čočky, aby se výsledná ohnisková vzdálenost zvětšila na $f_v = 2,2$ cm ?
- Aby kontaktní čočka dobře přiléhala na povrch oka, musí mít odpovídající poloměr křivosti $r_1 = 0,80$ cm. Jaký je poloměr druhého povrchu čočky?

Kontaktní čočka je vyrobena z materiálu o indexu lomu 1,33. (T.B.)

7F. Fotometrie.

7.37. a) Lampa u stropu má v horizontálním směru svítivost $I = 60$ cd. Na stěně ve vzdálenosti $r_1 = 4$ m od lampy visí obraz plochy $S = 0,5$ m². Střed obrazu tvoří patu kolmice spuštěné ze zdroje na stěnu. Jaký světelný tok Φ dopadá přímo ze zdroje na obraz?

b) Naproti obrazu na protější stěnu umístíme ve vzdálenosti $r_2 = 2$ m od lampy veliké zrcadlo s relativní odrazivostí světla rovnou 1. Jaký celkový světelný tok Φ dopadá nyní na obraz?

Předpokládáme, že zdroj světla je bodový a nestíněný. (L.Š.)

7.38. Nad stolem jsou ve výšce $h = 2$ m umístěny dvě stropní žárovky 60 W, z nichž každá vyzařuje světelný tok $\Phi = 710$ lm. Vzájemná vzdálenost žárovek je rovna $d = 1,5$ m. Stanovte osvětlení

- na stole v bodech ležících pod žárovkami,
- na stole uprostřed mezi žárovkami.

Předpokládejte, že svítivosti žárovek jsou ve všech směrech stejné. (K.V.)

7.39. Lampa visí ve výšce $h = 3$ m nad stolem. O kolik procent klesne osvětlení knihy ležící na stole, když ji z pod lampy posuneme po stole o $d = 1$ m ? (L.Š.)

7.12. Světelný paprsek dopadající na rovinnou skleněnou desku (index lomu $n = 1,57$) se částečně láme a částečně odráží. Pod jakým úhlem by měl dopadnout, aby odražené světlo bylo úplně polarizováno? (L.M.)

7.11. Úzký svazek rentgenového záření vlnové délky $\lambda = 0,154$ nm je zeslabován hliníkovým stínítkem tloušťky $d_1 = 2,6$ mm. Jakou tloušťku musí mít nahrazující olovené stínítko, aby zeslabení primárního svazku bylo stejné? Lineární součinitel absorpce hliníku a olova jsou pro danou vlnovou délku rovny $\mu_1 = 1,31 \cdot 10^4$ m⁻¹ a $\mu_2 = 2,62 \cdot 10^5$ m⁻¹. (L.M.)

7.10. Količtat se zmenší intenzita úzkého svazku rentgenového záření vlnové délky $0,02$ nm po průchodu oloveným stínítkem tloušťky $d = 1$ mm? Lineární součinitel absorpce olova je pro danou vlnovou délku roven $\mu = 4,1 \cdot 10^3$ m⁻¹. (L.M.)

7B. Interakce elektromagnetického vlnění s látkou, polarizace.

7.9. Nejintenzivnější zluté zbarvenou spektrální čáru sodíku tvoří ve skutečnosti dublet (dvojice) čar o vlnových délkách $\lambda_1 = 589,0$ nm a $\lambda_2 = 589,6$ nm. Sodičkovou výbojkou osvětlené kolmo optickou mřížkou s mřížkovou konstantou $d = 5,1$ μm a na stínítku vzdáleném $l = 1$ m od mřížky pozorujeme vzniklé spektrum. a) Jaká bude vzdálenost mezi jednoráznými čarami dubletu ve spektru třetího, re-spektivně pátého řádu?

b) Jakého nejvyššího řádu spektra k_{\max} lze na uvedené mřížce teoreticky dosáhnout? (L.M.)

7.8. Mřížka vytváří na kovovém zrcadle má 5 900 vrypů na 1 cm. Osvětíme-li ji kolmo bílým světlem o rozsahu vlnových délek 400-700 nm, získáme spektra v odpovídajících intervalech úhlu.

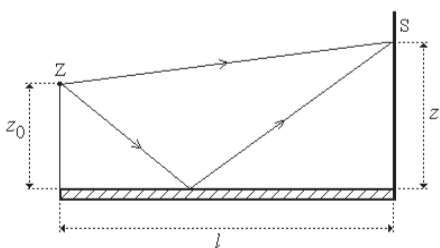
7.7. Ohybová mřížka je osvětlena kolmo rovnoběžným svazkem bílého světla. Zjistěte, zda se může některá barva ze spektra 1. řádu překrývat s některou barvou 2. řádu spektra. Určete nejvyšší řád spektra, které ještě vzniká při interferenci světla vlnové délky λ na mřížce, jejíž mřížková konstanta je rovna d . (L.B.)

7.6. Na vlnové délce $\lambda = 550$ nm. Hustota tmavých proužků je $\tau = 10^3$ m⁻¹ (deset proužků na jeden centimetr). a) Určete úhel, který spolu destičky svírají!

b) Jak rychle se budou posunovat proužky ve vzdálenosti $d = 0,1$ m od hrany klínu, jestliže začneme klín velmi pomalu rozevírat s úhlovou rychlostí $\omega = 10^{-2}$ rad·s⁻¹? (A.K.)

7.5. Vypočítejte úhel klínové vzduchové vrstvy vzniklé mezi dvěma planparalelními destičkami dopadajícími kolmo světlo vlnové délky $\lambda = 550$ nm. Hustota tmavých proužků je $\tau = 10^3$ m⁻¹ (deset proužků na jeden centimetr).

7.4. Lloydovo zrcadlo (viz obrázek) je zařízení demonstrující interferenci světla dopadajícího přímo z bodového zdroje Z na vertikální stínítko S a světla odraženého od horizontálně umístěného zrcadla.



Obr. 7.1

a) Ukažte, že podmínka pro vznik maximálního zesílení vlnění na stínítku (tzv. konstruktivní interference) má tvar

$$\sqrt{l^2 + (z + z_0)^2} - \sqrt{l^2 + (z - z_0)^2} = \frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}, \dots, (2k + 1)\frac{\lambda}{2}; k \in \mathbb{N}.$$

b) Napište podmínku pro maximální zeslabení (destruktivní interferenci)!

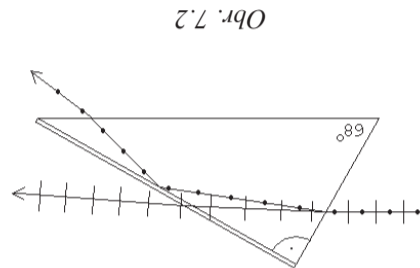
Poznámka: Uvědomte si, že při odrazu dochází k dodatečné změně fáze vlnění o π . (T.B.)

7.5. Vypočítejte úhel klínové vzduchové vrstvy vzniklé mezi dvěma rovinnými skleněnými destičkami, když se při kolmém osvětlení heliovým-neonovým laserem vlnové délky $\lambda = 633$ nm objevilo na délce $l = 20$ mm $x = 10$ interferenčních proužků. (L.Š.)

- 7.13.** Jak vysoko (úhlově) musí být Slunce nad vodní hladinou, aby jeho světlo odražené od hladiny bylo úplně lineárně polarizované? Index lomu vody je $n = 1,33$. (A.K.)
- 7.14.** Jaký úhel by měly svírat polarizační roviny polarizátoru a analyzátoru, aby intenzita světla prošlého polarizátorem klesla po průchodu analyzátozem na $1/8$ původní? (a) $1/2$, (b) $1/4$, (c) $1/8$ velikosti? (L.M.)
- 7.15.** Hranol vyřiznutý z krysotolu (index lomu $n = 1,55$, paprsek světla dopadá rovinně na povrchu je nanesena vrstvička materiálu (krysolit) o indexu lomu $n = 1,55$. Paprsek světla dopadá rovinně na povrchu se skládá z paprsků: řádný s indexem lomu $n_0 = 1,658$ a mimořádný s $n_e = 1,486$. Ukažte, že řádný paprsek, polarizovaný kolmo k rovině dopadu, se na horním povrchu úplně odráží, zatímco mimořádný paprsek, polarizovaný v rovině dopadu, nikoliv. (T.B.)
- 7.16.** Nepolarizované monochromatické světlo dopadá na systém skládající se ze dvou navzájem kolmo orientovaných polarizačních filtrů, mezi nimiž je křemenná destička vyřiznutá kolmo k optické ose křystalu. Jaká by měla být tloušťka destičky, aby systém propouštěl $n = 0,3$ dopadající světelné intenzity? Měrná optická křemenná destička má index lomu $n = 1,7$. (L.M.)
- 7.17.** Z Fermatova principu odvoďte zákon lomu světla. (L.S.)
- 7.18.** Spodní polovina kádinky vysoké $h = 20$ cm je naplněna vodou (index lomu $n_1 = 1,33$) a horní polovina olejem (index lomu $n_2 = 1,48$). Jak hluboko se při pohledu shora bude jevit dno kádinky vzhledem k hornímu povrchu oleje? (T.B.)
- 7.19.** Racek sedí na klidné mořské hladině. V hloubce $h = 5$ m pluje směrem k němu zrak. V jaké maximální horizontální vzdálenosti rasek zrakoplovače spatří? (T.B.)
- 7.20.** Světlovod je tvořen skleněným vláknem indexu lomu n_s , chráněným povrchem z umělé hmoty indexu lomu n_p . Totálně se odrážející světlo, šířící se světlovodem, vystupuje ze zabroušeného kolmého řezu na konci světlovodu do okolního vzduchu. V jakém úhlu se světlo odráží? (A.K.)

7C. Odrážení a lom elektromagnetického vlnění.

- 7.21.** Na rovině zrcadlo, které se rovnoměrně otáčí kolem svise osy s frekvencí $f = 10$ Hz, dopadá z pevného bodového zdroje světelný paprsek tak, že se odráží a dopadá na stěnu vzdálenou $d = 20$ m od osy otáčení zrcadla. Dopadající paprsek leží v rovině kolmé k ose otáčení. Určete velikost rychlosti, se kterou se pohybuje stopa odraženého paprsku v nejbližším bodě stěny. (L.S.)
- 7.22.** Jakou minimální výšku musí mít rovině zrcadlo svírající s vodorovnou rovinou úhel $\alpha = 60^\circ$, aby vzprtimena postava člověka výšky $h = 2$ m v něm byla vidět celá, nacházející-li se oči ve vzdálenosti $d = 1$ m od zrcadla? (L.S.)
- 7D. Optické zobrazování.**
- 7.23.** Dutým sférickým zrcadlem zobrazujeme předmět. Stanovte, do jaké vzdálenosti od vrcholu zrcadla je třeba na jeho optické ose umístit předmět, aby jeho obraz byl: (a) skutečný, dvakrát zvětšený, převrácený, (b) zdánlivý, dvakrát zvětšený, přímý. Poloměr křivosti zrcadla je $r = 0,6$ m. Stanovte rovněž polohu obrazu. Řešení proveďte výpočtem i graficky. (L.S.)
- 7.24.** Zdroj světla se přibližuje po optické ose k dutému zrcadlu rychlostí velikosti v_1 . Ohnisková vzdálenost zrcadla je $f = 1$ m. (a) Jak velkou rychlostí se bude pohybovat obraz zdroje? (b) Jak velká je rychlost obrazu, když je zdroj světla $x = 10$ cm před ohniskem a přibližuje se k němu rychlostí velikosti $v_2 = 5$ cm/s? (L.S.)
- 7.25.** Tenká skleněná čočka o indexu lomu $n_1 = 1,5$ má ve vzdálenosti x před ohniskem a přibližuje se k němu rychlostí velikosti $v_2 = 5$ cm/s. (L.S.)
- 7.26.** Tenká dvojnásobná čočka zhotovená ze skla o indexu lomu $n = 1,60$ má ohniskovou vzdálenost $f = 10$ cm. Jaká bude ohnisková vzdálenost těžce čočky, umístíme-li ji do průhledného prostředí o indexech lomu: (a) $n_{p1} = 1,50$, (b) $n_{p2} = 1,70$. (L.S.)
- 7.27.** Při daném zobrazování předmětu tenkou spojnou čočkou je přičně zvětšení $m_1 = 5$. Přemístíme-li předmět o $|\Delta x| = 6$ cm po optické ose čočky, změní se přičně zvětšení na $m_2 = 5/3$. Určete ohniskovou vzdálenost čočky. Doplněte obrázek! (L.S.)
- 7.28.** Před tenkou skleněnou ploškovypuklou čočkou o poloměru křivosti $r = 1/4$ metru leží ve vzdálenosti $a = 3/4$ metru předmět. Určete: (a) polohu, (b) přičně zvětšení obrazu předmětu. (L.S.)
- 7.29.** Vysledek ověřte graficky a popište vlastnosti obrazu. (d) Jakým způsobem zobrazení dojde, ponovíme-li předmět i čočku do vody? Index lomu skla a vody je po řadě $n_s = 3/2$ a $n_v = 4/3$. (L.M.)



Obr. 7.2

7. OPTIKA

Absolutní index lomu: $N = c/v_f = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$.

Optická dráha: $l = \int_A^B N(\vec{r}) ds$.

Fermatův princip: $\delta \int_A^B N(\vec{r}) ds = 0$, nebo $\delta T_{AB} = 0$.

Vztah mezi dráhovým a fázovým rozdílem

$$\frac{\Delta \varphi}{2\pi} = \frac{\Delta l}{\lambda_0}, \quad \lambda_0 - \text{vlnová délka optické vlny ve vakuu.}$$

Interferenční podmínka pro difrakční optickou mřížku (kolmý dopad světla)

$$d \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda, \quad k \in Z.$$

Zeslabení intenzity elektromagnetického vlnění absorpcí a rozptylem

$$I(x) = I(0) \cdot e^{-\mu x}.$$

Podmínka pro Brewsterův úhel: $\tan \alpha = n_{21}$.

Snellův zákon (zákon lomu)

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_{f1}}{v_{f2}} = \frac{N_2}{N_1} = n_{21}.$$

Zobrazovací rovnice pro sférické zrcadlo, tenkou čočku

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f}, \quad \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Optická mohutnost tenké čočky: $\varphi = \frac{1}{f} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$.

Ohnisková vzdálenost centrované soustavy dvou tenkých čoček

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}.$$

Svítivost: $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$ [cd]; bodový zdroj: $I = \frac{\Phi}{4\pi}$, Φ [lm] je světelný tok.

Osvětlení vytvářené bodovým izotropním zdrojem ve vzdálenosti r

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \varphi \text{ [lx]}.$$

- 7.40.** Dvojnásobná čočka vytvoří na stínítku obraz Slunce. Čočka má průměr $d_c = 9$ cm a ohniskovou vzdálenost $f = 50$ cm. Zorný úhel Slunce je $\alpha = 9,3 \cdot 10^{-3}$ rad (32'). Kolikrát bude osvětlení obrazu větší než přímé sluneční osvětlení? (L.S.)
- 7.41.** Maximální kolmé osvětlení zemského povrchu Sluncem je přibližně $E_Z = 10^5$ lx. Jaké osvětlení způsobí Slunce (za jinak stejných podmínek) (a) na povrchu planety Mars, jejíž střední vzdálenost od Slunce je 1,524 AU, (b) na povrchu Venuše, jejíž střední vzdálenost od Slunce je 0,723 AU? (1 AU je jednotka délky, rovná střední vzdálenosti Země – Slunce.) (L.S.)
- 7.42.** V poledne v den letního slunovratu osvětluje Slunce zemský povrch kolmo na obratníku Raka (zeměpisná šířka $\varphi_R = 23,5^\circ$). V jakém poměru k osvětlení na obratníku Raka je v poledne tentýž den osvětlení (a) na severním polárním kruhu ($\varphi_k = 66,5^\circ$), (b) na severním pólu, (c) na rovníku, (d) v Liberci ($\varphi_L = 50^\circ$)? (L.S.)
- 7.43.** V jakých maximálních vzdálenostech mohou být rozmístěny pouliční lampy o svítivostech $I = 200$ cd umístěné na stožárech výšky $h = 5$ m, je-li nejmenší přípustné všesměrové osvětlení chodníku $E = 0,1$ lx? (L.S.)
- 7.44.** Uprostřed nad kruhovým stolem o poloměru $R = 1$ m je zavěšen bodový zdroj světla. Při jaké výšce zdroje nad stolem bude horizontální plocha na okraji stolu maximálně osvětlena? (L.S.)
- 7.45.** V místnosti se čtvercovou podlahou a kolmými stěnami visí uprostřed stropu lampa. Jak vysoko nad podlahou má být lampa zavěšena, aby přímé osvětlení rohů podlahy místnosti bylo maximální? Plocha podlahy místnosti je $S = 25$ m². (L.S.)
- 7.46.** Při fotografování předmětu osvětleného žárovkou výkonu $P = 500$ W ve vzdálenosti $d_1 = 1,5$ m je třeba k exponování doby $t_1 = 0,5$ s. Jaké doby t_2 bude zapotřebí jestliže předmět bude osvětlen ze stejného směru dvěma stejnými žárovkami (500 W) umístěnými ve vzdálenostech $d_2 = 2$ m a $d_3 = 3$ m? (Požadujeme, aby osvit filmu byl v obou případech stejný.) (L.S.)
- 7.47.** Promítací plátno v kině má rozměry $a \times b = 5$ m \times 4 m. Při produkci je požadováno jeho přímé střední osvětlení $E = 250$ lx. (a) Jak velký světelný tok dopadá na celou plochu plátna? (b) Jaký je jas plátna, když odráží $\rho = 80$ % dopadajícího světelného toku stejnoměrně do prostorového úhlu 2π sr? (L.S.)
- 7.48.** Při úplňku vytváří Měsíc na povrchu Země kolmé osvětlení $E = 0,2$ lx. Považujte Měsíc za opticky ekvivalentní kruhovému kotouči o průměru $d = 3$ 500 km,