

# Obsah

Předmluva .....	13
<b>I Elektrostatika .....</b>	<b>15</b>
1.1 Elektrický náboj .....	15
1.1.1 Vlastnosti elektrického náboje .....	15
1.1.2 Coulombův zákon .....	17
1.1.3 Velikost elektrického náboje .....	20
1.1.4 Hustota elektrického náboje .....	23
1.1.5 Potenciální energie soustavy nábojů .....	24
1.1.6 Řešené příklady .....	25
a) Rovnováha soustavy statických nábojů .....	25
b) Elektrostatická energie iontového krystalu .....	27
1.2 Elektrostatické pole ve vakuu .....	29
1.2.1 Vektor intenzity elektrostatického pole bodových nábojů .....	29
1.2.2 Tok intenzity elektrostatického pole bodových nábojů .....	31
1.2.3 Potenciál elektrostatického pole bodových nábojů .....	35
1.2.4 Elektrostatické pole obecně rozložených nábojů .....	39
1.2.5 Gaussův zákon pro obecné elektrostatické pole .....	42
1.2.6 Nabitá plocha v elektrostatickém poli .....	44
1.2.7 Poissonova a Laplaceova rovnice .....	46
1.2.8 Hustota energie elektrostatického pole .....	47
1.2.9 Řešené příklady .....	48
a) Nabitá přímka .....	49
b) Nabitá rovina .....	50
c) Dvojice rovnoběžných nabitých rovin .....	52
d) Nabitá rovinná vrstva .....	53
e) Nabitá kulová slupka .....	54
f) Nabitá koule .....	55
g) Nabitá nekonečná válcová plocha a válec .....	56
h) Pole a potenciál na ose nabitě kružnice .....	57
i) Elektrostatické pole na ose válcové elektrody .....	57
j) Elektrostatické pole na ose kulového pásu .....	58
k) Elektrostatická energie nabitě koule .....	59
1.3 Elektrický dipól .....	60
1.3.1 Vlastnosti elektrického dipólu .....	60
*1.3.2 Multipólový rozvoj elektrostatického pole .....	65
*1.3.3 Elektrická dvojvrstva .....	69
*1.3.4 Objemové rozložení elektrických dipólů .....	71
1.3.5 Řešené příklady .....	73
a) Síla působící mezi dvěma elektrickými dipóly .....	73
b) Elektrický kvadrupólový moment elipsoidu .....	75
c) Polarizovaný válec a rovinná vrstva .....	76
d) Polarizovaná koule .....	77
1.4 Elektrostatické pole nabitých vodičů .....	79
1.4.1 Vodiče a nevodíče .....	79
1.4.2 Chování vodičů v elektrostatickém poli .....	82
*1.4.3 Nepřímé ověření Coulombova zákona .....	85
1.4.4 Základní úloha elektrostatiky .....	89
1.4.5 Kapacita a kondenzátor .....	91

1.4.6	Energie soustavy nabitých vodičů.....	98
1.4.7	Řešené příklady.....	102
	a) Bodový náboj a vodivá rovina.....	102
	b) Kulové elektrostatické zobrazení.....	104
	c) Vodivá koule v homogenním elektrostatickém poli.....	105
	d) Kapacita kulového kondenzátoru.....	106
	e) Kapacita válcového kondenzátoru.....	107
	f) Kapacita dvoulinky.....	107
	g) Mechanické napětí nabitých vodičů.....	108
	h) Elektrostatické měřicí přístroje.....	109
1.5	Elektrostatické pole v dielektrikách.....	111
1.5.1	Dielektrika v elektrostatickém poli.....	111
1.5.2	Polarizace dielektrika.....	113
1.5.3	Gaussův zákon pro elektrostatické pole v dielektriku.....	115
1.5.4	Materiálové vztahy, elektrická susceptibilita a permitivita.....	117
*1.5.5	Energie elektrostatického pole v dielektriku.....	119
1.5.6	Řešené příklady.....	123
	a) Volné náboje a nabité vodiče v dielektriku.....	123
	b) Elektrické pole na rozhraní dvou dielektrik.....	123
	c) Dielektrická koule a elipsoid v homogenním elektrostatickém poli.....	124
	d) Pole v dutině vytvořené v homogenním dielektriku.....	126
	Úlohy ke kapitole 1.....	127
<b>2</b>	<b>*Silové působení mezi pohybujícími se náboji.....</b>	<b>131</b>
2.1	Základní vztahy relativistické mechaniky.....	131
2.1.1	Einsteinův princip relativity.....	131
2.1.2	Lorentzova transformace.....	134
2.1.3	Relativistická dynamika.....	137
2.2	Pole pohybujících se nábojů.....	139
2.2.1	Pohybující se bodový náboj.....	139
2.2.2	Pole náboje pohybujícího se rovnoměrně malou rychlostí.....	141
2.2.3	Pole náboje pohybujícího se rovnoměrně libovolnou rychlostí.....	145
2.2.4	Pole náboje pohybujícího se libovolným způsobem.....	154
2.2.5	Řešené příklady.....	156
	a) Pole přímého nábojového paprsku.....	156
	b) Pole roviny vytvořené rovnoběžnými nábojovými paprsky.....	157
	c) Síly působící mezi nábojovými paprsky.....	158
	d) Transformace složek elektrického a magnetického pole.....	160
<b>3</b>	<b>Stacionární pole.....</b>	<b>164</b>
3.1	Elektrický proud.....	164
3.1.1	Pojem elektrického proudu, hustota proudu.....	164
3.1.2	Mechanismy vedení proudu.....	167
3.1.3	Rovnice kontinuity proudu.....	169
3.2	Stacionární elektrické pole a elektrický obvod.....	170
3.2.1	Základní vlastnosti stacionárního elektrického pole.....	170
3.2.2	Ohmův zákon pro homogenní vodiče.....	172
3.2.3	Ohmův zákon pro nehomogenní vodiče.....	176
3.2.4	Kirchhoffova pravidla pro stacionární obvod.....	180
3.2.5	Práce a výkon v elektrickém obvodu, Jouleův zákon.....	182
3.2.6	Řešené příklady.....	184
	a) Podobnost elektrostatického a stacionárního elektrického pole.....	184
	b) Řazení odporů.....	186
	c) Transformace hvězda trojúhelník.....	186
	d) Výkonové přizpůsobení spotřebiče.....	187

3.3	Stacionární magnetické pole .....	188
3.3.1	Vektor magnetické indukce .....	189
3.3.2	Ampérův zákon pro magnetické pole ve vakuu .....	190
3.3.3	Vektorový potenciál, Biotův–Savartův vzorec.....	194
*3.3.4	Magnetické pole v místech s nenulovou hustotou proudu, pole plošných proudů .....	199
3.3.5	Řešené příklady.....	201
	a) Magnetické pole přímého vodiče.....	202
	b) Magnetická indukce na ose kruhového závitu.....	204
	c) Magnetická indukce na ose solenoidu .....	205
	d) Magnetická indukce toroidu.....	206
	e) Vektorový potenciál homogenního pole a nekonečně dlouhého solenoidu.....	207
3.4	Magnetický dipól .....	209
3.4.1	Magnetický dipólový moment rovinné proudové smyčky .....	209
3.4.2	Potenciální energie a silové účinky magnetického pole na magnetický dipól.....	211
*3.4.3	Multipólový rozvoj magnetického pole.....	212
*3.4.4	Objemové rozložení magnetických dipólů .....	213
*3.4.5	Magnetická dvojvrstva .....	215
3.4.6	Řešené příklady.....	217
	a) Magnetický dipólový moment nabitě částice konající rovnoměrný kruhový pohyb.....	217
	b) Magnetický dipólový moment rotující nabitě koule.....	217
3.5	Magnetické pole v látkách.....	218
3.5.1	Chování látek v magnetickém poli.....	218
3.5.2	Magnetická polarizace (magnetizace) látek, magnetizační proudy .....	220
3.5.3	Ampérův zákon v látkovém prostředí .....	224
3.5.4	Materiálové vztahy, magnetická susceptibilita a permeabilita .....	226
3.5.5	Magnetický obvod .....	231
3.5.6	Magnetostatické pole .....	234
3.5.7	Řešené příklady.....	236
	a) Magnetické pole na rozhraní dvou prostředí .....	236
	b) Toroidní jádro se vzduchovou mezerou .....	236
	c) Koule v homogenním magnetickém poli.....	238
	d) Elipsoid magnetovaný ve směru hlavní osy .....	240
	Úlohy ke kapitole 3.....	241
<b>4</b>	<b>Kvazistacionární elektrické a magnetické pole.....</b>	<b>244</b>
4.1	Elektromagnetická indukce.....	244
4.1.1	Zákon elektromagnetické indukce .....	244
4.1.2	Souvislost mezi elektromagnetickou indukcí a silovými účinky magnetického pole.....	248
	a) Pohyb přímého vodiče v homogenním magnetickém poli.....	248
	b) Princip elektrického stroje.....	249
	c) Princip fluxmetru.....	252
4.1.3	Obecné vlastnosti kvazistacionárního pole.....	253
4.1.4	Vlastní a vzájemná indukčnost vodičů.....	256
4.1.5	Řešené příklady.....	259
	a) Demonstrace platnosti Ampérova zákona (měřicí transformátor) .....	259
	b) Vlastní indukčnost přímých vodičů.....	261
	c) Vlastní indukčnost kruhové smyčky .....	262
	d) Vlastní indukčnost solenoidu .....	263
	e) Vlastní indukčnost toroidu.....	263
	f) Vzájemná indukčnost dvou sousedních smyček .....	264
	g) Vzájemná indukčnost dvojice sousedních válcových cívek.....	265

4.2	Kvazistacionární elektrický obvod .....	266
4.2.1	Kirchhoffova pravidla pro kvazistacionární obvod .....	266
4.2.2	Generace střídavého harmonického napětí, střídavé obvody .....	270
4.2.3	Indukčně vázané obvody, transformátor .....	275
4.2.4	Řešené příklady .....	279
	a) Neustálený stav v obvodech s indukčností a kapacitou .....	279
	b) Sériový rezonanční obvod .....	281
	c) Vlastní kmity indukčně vázaných oscilačních obvodů .....	285
4.3	Energie kvazistacionárního pole .....	286
4.3.1	Zákon zachování energie v kvazistacionárních soustavách .....	286
*4.3.2	Obecné vyjádření energie magnetického pole .....	288
*4.3.3	Obecné vyjádření sil v magnetickém poli .....	292
4.3.4	Řešené příklady .....	294
	a) Síly působící mezi póly elektromagnetu .....	294
	b) Hysterezní ztráty ve feromagnetiku .....	295
	c) Střední hodnota výkonu ve střídavém obvodu .....	296
	d) Magnetoelektrický měřicí přístroj .....	297
	Úlohy ke kapitole 4 .....	301
<b>5</b>	<b>Elektromagnetické pole .....</b>	<b>303</b>
5.1	Maxwellovy rovnice .....	304
5.1.1	Indukované elektrické pole .....	305
5.1.2	Magnetické pole posuvného proudu .....	308
5.1.3	Úplná soustava Maxwellových rovnic .....	311
5.1.4	Potenciály elektromagnetického pole .....	315
5.2	Energie a hybnost elektromagnetického pole .....	318
5.2.1	Poyntingova věta .....	318
*5.2.2	Hybnost elektromagnetického pole .....	321
*5.2.3	Termodynamické vztahy v přítomnosti elektromagnetického pole .....	324
5.3	Elektromagnetické vlny .....	328
5.3.1	Rovinná elektromagnetická vlna .....	328
5.3.2	Monochromatická rovinná vlna .....	332
*5.3.3	Vyzařování elektromagnetických vln .....	334
5.3.4	Řešené příklady .....	339
	a) Odraz a lom elektromagnetických vln .....	339
	b) Tlak záření .....	341
	c) Povrchový jev (skinefekt) .....	342
5.4	*Lorentzovy rovnice .....	344
5.4.1	Mikroskopický popis elektromagnetického pole .....	345
5.4.2	Odvození Maxwellových rovnic z rovnic Lorentzových .....	347
	Úlohy ke kapitole 5 .....	350
<b>6</b>	<b>Pohyb částice v elektromagnetickém poli .....</b>	<b>351</b>
6.1	Nabitá částice v elektromagnetickém poli .....	351
6.1.1	Pohybová rovnice .....	351
*6.1.2	Energie a hybnost částice .....	352
6.1.3	Pohyb v časově neproměnném homogenním poli .....	356
	a) Homogenní elektrické pole .....	356
	b) Homogenní magnetické pole .....	356
	c) Vzájemně kolmé elektrické a magnetické pole .....	358
*6.1.4	Pohyb v nehomogenním osově symetrickém magnetickém poli .....	360
6.2	Pohyb gyromagnetické částice v magnetickém poli .....	362
6.2.1	Pohybová rovnice .....	362
6.2.2	Larmorova precese .....	363

6.3 Příkladů použití.....	364
6.3.1 Principy částicové optiky.....	364
6.3.2 Urychlovače nabitých částic.....	368
a) Elektrostatické urychlovače.....	369
b) Lineární (rezonanční) urychlovač.....	370
c) Cyklotron.....	371
d) Betatron.....	372
6.3.3 Hmotnostní spektroskopie.....	373
6.3.4 Magnetická rezonance.....	374
Úlohy ke kapitole 6.....	376
<b>7 Elektrické a magnetické vlastnosti látek.....</b>	<b>378</b>
*7.1 Elektronová struktura látek.....	379
7.1.1 Energie elektronů v atomech a molekulách.....	379
7.1.2 Energie elektronů v kondenzovaných látkách.....	384
7.1.3 Elektronový plyn.....	386
7.1.4 Elektrické a magnetické momenty atomů a molekul.....	389
7.2 Dielektrická a magnetická polarizace.....	392
7.2.1 Dielektrika.....	392
7.2.2 Diamagnetismus a paramagnetismus.....	397
*7.2.3 Metamateriály.....	400
7.2.4 Magneticky uspořádané látky.....	403
7.3 Vedení proudu v pevných látkách.....	404
7.3.1 Obecné charakteristiky vedení proudu v pevných látkách.....	404
7.3.2 Vodivost kovů.....	407
7.3.3 Kontaktní napětí a termoelektrické jevy v kovech.....	411
7.3.4 Vlastní a příměšová vodivost polovodičů, vlastnosti přechodu <i>p-n</i> .....	415
7.3.5 Supravodivost.....	421
7.3.6 Elektronová emise.....	426
7.3.7 Nenasycený emisní proud, princip elektronky.....	429
7.4 Vedení proudu v kapalinách.....	431
7.4.1 Měrná a molární vodivost roztoků.....	431
7.4.2 Elektrolýza, Faradayovy zákony.....	433
7.4.3 Elektrochemické procesy na elektrodách – elektrodové potenciály, galvanické články.....	435
a) Primární články.....	438
b) Sekundární články.....	439
c) Palivové články.....	441
7.4.4 Polarografie.....	441
7.5 Vedení proudu v plynech.....	442
7.5.1 Nesamostatná vodivost.....	443
7.5.2 Doutnavý a obloukový výboj.....	443
7.6 Základy teorie materiálových konstant.....	447
7.6.1 Permittivita nepolárních látek (Clausiiův–Mosottiův vztah).....	447
7.6.2 Langevinova teorie diamagnetismu atomů a molekul.....	450
7.6.3 Susceptibilita nekovových paramagnetik, permittivita polárních látek (Langevinova teorie).....	451
a) Magnetická susceptibilita paramagnetik.....	452
b) Permittivita polárních látek.....	454
7.6.4 Obecné podmínky platnosti Ohmova zákona, fyzikální podstata Hallova jevu.....	455
7.6.5 Drudeho teorie vodivosti kovů.....	457
7.6.6 Výklad vodivosti roztoků.....	459
7.6.7 Výklad nesamostatné vodivosti plynů, podmínky pro vznik samostatného výboje.....	462
Úlohy ke kapitole 7.....	464

<b>8 Základy teorie elektrických obvodů .....</b>	<b>467</b>
8.1 Základní pojmy .....	467
8.1.1 Klasifikace elektrických obvodů a jejich prvků .....	467
8.1.2 Základní vlastnosti elektrických dvojpólů a čtyřpólů .....	469
a) Dvojpól .....	469
b) Čtyřpól .....	471
8.2 Stejnoseměrné a střídavé lineární obvody v ustáleném stavu .....	473
8.2.1 Ohmův zákon a Kirchhoffova pravidla v komplexní symbolice .....	473
8.2.2 Vlastnosti reálných dvojpólů .....	477
a) Náhradní schéma lineárního zdroje .....	479
b) Náhradní schéma kondenzátoru .....	480
c) Náhradní schéma cívky .....	482
8.2.3 Věta o superpozici .....	483
8.2.4 Obecné metody analýzy lineárních obvodů v ustáleném stavu .....	485
a) Přímá aplikace Kirchhoffových pravidel .....	485
b) Metoda smyčkových proudů .....	487
c) Metoda uzlových napětí .....	490
8.2.5 Théveninova věta .....	491
*8.2.6 Obvody se vzájemnou indukčností .....	493
8.2.7 Řešené příklady .....	496
a) Sériové a paralelní rezonanční obvody .....	497
b) Wheatstonův můstek .....	499
c) Thomsonův dvojmost .....	502
d) Měření napětí a proudů v obvodech .....	504
8.3 Vybrané typy obecnějších obvodů .....	505
8.3.1 Nesinusové střídavé lineární obvody v ustáleném stavu .....	505
8.3.2 Neustálený stav v lineárních obvodech .....	509
8.3.3 Příklady řešení nelineárních obvodů .....	510
a) Stabilizace napětí Zenerovou diodou .....	511
b) Stanovení pracovního bodu tranzistoru .....	513
c) Náhradní schéma linearizovaného čtyřpólu .....	515
Úlohy ke kapitole 8 .....	516
<b>Dodatek I Přehled vektorové analýzy .....</b>	<b>519</b>
a) Skalární a vektorové veličiny .....	519
b) Součiny vektorů .....	521
c) Transformační vlastnosti vektorů .....	523
d) Skalární a vektorová pole .....	524
e) Gradient skalárního pole .....	526
f) Divergence vektorového pole .....	529
g) Rotace vektorového pole .....	532
h) Operátory ( $\text{grad}$ ) a $\Delta$ .....	535
i) Vektorová pole potenciální a solenoidální .....	536
j) Některé integrální věty vektorové analýzy .....	539
k) Úlohy k Dodatku I .....	540
<b>Dodatek 2 Soustavy fyzikálních jednotek .....</b>	<b>541</b>
a) Charakteristiky soustav jednotek .....	541
b) Vývoj elektrických a magnetických jednotek .....	544
c) Přehled rovnic elektromagnetického pole v Gaussově soustavě .....	548
d) Převodní vztahy jednotek elektrických a magnetických veličin v Mezinárodní a Gaussově soustavě .....	550
e) Vybrané základní fyzikální konstanty .....	556

<b>Historický přehled</b> .....	558
Od Thaleta ke Gilbertovi.....	558
Od Gilberta ke Coulombovi.....	559
Od Coulomba k Ampérovi.....	563
Od Ampéra k Maxwellovi.....	565
Od Maxwella k Einsteinovi.....	569
Od Einsteina k dnešku.....	573
Výzkum elektřiny a magnetismu v našich zemích.....	578
<b>Výsledky a návody řešení úloh</b> .....	580
<b>Literatura</b> .....	588
<b>Rejstřík</b> .....	589