

OBSAH

Úvod	15
I. Newtonova mechanika a Galileiho princip relativity	
1. Prostor a čas v klasické mechanice	17
1,1. Referenční soustavy, systémy souřadnic, transformace souřadnic	17
1,2. Transformace složek rychlosti a zrychlení	19
1,3. Absolutní čas, absolutní vzdálenost	22
2. Zákon setrvačnosti, inerciální systémy souřadnic	23
3. Síly v Newtonově mechanice a problém význačného systému souřadnic	26
3,1. Newtonovy pohybové rovnice	26
3,2. Zákony pravých sil a Galileiho princip relativity	27
4. Realizace inerciálního systému. Machův princip	32
4,1. Astronomická realizace inerciálního systému	32
4,2. Newtonův absolutní prostor. Machova mechanika	33
Dodatek o měření délek a času	37
Úlohy	38
II. Lorentzova elektronová teorie	
1. Základní rovnice, jejich interpretace a obecné důsledky	41
1,1. Maxwellovy-Lorentzovy rovnice a Lorentzova pohybová rovnice	41
1,2. Zákony zachování v Lorentzově teorii	44
2. Důležitá řešení Maxwellových-Lorentzových rovnic	47
2,1. Liénardovy-Wiechertovy potenciály	47
2,2. Rovnoměrný přímočarý pohyb bodového náboje	50
2,3. Klidný zdroj světla	51
2,4. Zdroj světla v rovnoměrném přímočarém pohybu	53
3. Dynamika Lorentzova elektronu	56
3,1. Vnější a vlastní síla	56
3,2. Elektromagnetická hybnost a energie elektronu v rovnoměrném translačním pohybu	58
3,3. Elektromagnetická a celková hmota elektronu	61

4. Tenzory a pseudotenzory v trojrozměrném prostoru	63
4,1. Transformační vzorce pro složky tenzorů a pseudotenzorů	63
4,2. Tenzorové integrály	68
4,3. Složkový tenzorový zápis Maxwellových-Lorentzových rovnic	70
4,4. Maxwellovy-Lorentzovy rovnice v pohybujícím se inerciálním systému	72
5. Rovnice makroskopického elektromagnetického pole	75
5,1. Látkové prostředí v klidu	75
5,2. Látkové prostředí v pohybu. Strhování světla	78
Úlohy	81

III. Pokusy o určení pohybu Země vůči éteru

1. Vztahy mezi kinematickými parametry světelné vlny v klidném a pohybujícím se systému	83
2. Aberace stálé	86
3. Dopplerův jev a zpomalování chodu hodin vlivem jejich pohybu vůči éteru	88
3,1. Obecný vzorec pro Dopplerův jev. Vliv prvního řádu	88
3,2. Vlivy druhého řádu	90
3,3. Vlastní čas hodin v pohybu	92
4. Měření rychlosti světla v pohybujícím se systému	94
4,1. Absolutní rychlost Slunce, Maxwellův efekt	94
4,2. Klasické terestrické metody měření rychlosti světla	95
4,3. Pokus Michelsonův, Lorentzova kontrakce	97
4,4. Pokus Kennedyův-Thorndikeův	99
4,5. Pokusy o určení rychlosti světla v jednom směru	100
4,6. Jevy a pokusy dokazující nezávislost rychlosti světla na pohybu zdroje	104
5. Elektrodynamické pokusy	105
5,1. Pokus Troutonův-Nobleův a závislost sil působících v hmotné soustavě na jejím pohybu vůči éteru	105
5,2. Závislost setrvačné hmoty na rychlosti	109
6. Lorentzova transformace a její výklad	112
6,1. Lorentzův inerciální systém, Lorentzova transformace	112
6,2. Invariance základních rovnic Lorentzovy teorie vůči Lorentzovým transformacím, Einsteinův princip relativity	114
Úlohy	117

IV. Prostor a čas ve speciální teorii relativity

1. Inerciální systémy a Lorentzova transformace	121
1,1. Konstrukce inerciálního systému a základní postuláty teorie relativity	121
1,2. Odvození Lorentzovy transformace	124
2. Vlastnosti speciální Lorentzovy transformace	129
2,1. Důležitá invariantní rovnice a invariant Lorentzovy transformace	129
2,2. Podsvětelné a nadsvětelné rychlosti	131
2,3. Speciální Lorentzova grupa, Aproximace Lorentzovy transformace při $v \ll c$	132

3. Relativnost současnosti a princip kauzality	135
3,1. Relativnost současnosti bodových událostí	135
3,2. Princip kauzality. Maximální signálová rychlost	137
3,3. Příklady „praktického použití“ nového pojmu současnosti	138
4. Dilatace času. Vlastní čas	140
4,1. Zpomalování chodu hodin v relativním pohybu	140
4,2. Vlastní frekvence oscilátoru. Vlastní čas. Pasivní a aktivní interpretace dilatace času	142
4,3. Přímý experimentální důkaz dilatace času	143
4,4. O tak zvaném „paradoxu hodin“	145
5. Transformace délek a vzdáleností	148
5,1. Relativistická kontrakce délky tyče v pohybu	148
5,2. Příklad na použití relativní délky tyče	151
5,3. Jiné příklady vzdáleností a jejich transformace	153
5,4. „Paradox“ rotujícího kotouče	155
6. Transformace rychlosti a zrychlení	158
6,1. Transformace složek rychlosti bodu v libovolném pohybu	158
6,2. Transformace složek zrychlení. Klidové zrychlení	159
7. Zobecnění speciální Lorentzovy transformace pro libovolný směr rychlosti	160
7,1. Odvození transformace a její vlastnosti	160
7,2. Použití transformace	162
8. Skládání speciálních Lorentzových transformací ve dvou kolmých směrech	163
8,1. Otočení trojhranu os při složené transformaci	163
8,2. Jednoduché odvození vzorce pro Thomasovu precesi	165
Úlohy	167

V. Minkowského čtyřrozměrný prostor

1. Geometrická interpretace Lorentzovy transformace	170
1,1. Minkowského rovina	170
1,2. Prostorčas a Minkowského systém souřadnic	172
1,3. Názorné zobrazení Minkowského roviny do roviny Euklidovy	173
1,4. Prostorčasový interval. Světelný kužel	177
1,5. Praktické použití Minkowského zobrazení	178
2. Obecná Lorentzova transformace a obecná Lorentzova grupa	180
2,1. Obecná Lorentzova transformace a její rozklad	180
2,2. Obecná Lorentzova grupa a její podgrupy	186
2,3. Infinitesimální Lorentzovy transformace	187
3. Další důležité geometrické útvary v prostorčase	189
3,1. Světočáry	189
3,2. Plochy a nadplochy v prostorčase. Světové trubice	192
4. Vektory a tenzory v prostorčase	193
4,1. Definice a základní vlastnosti prostorčasových tenzorů	193
4,2. Čtyřrychlost a čtyřzrychlení	195
4,3. Speciální tenzory vyšších řádů	197

4,4. Prostorčasové pseudotenzory	198
4,5. Tenzorové integrály	200
4,6. Věta o integrálech po nadplochách prostorové povahy	204
5. Reprezentace Lorentzovy grupy	207
5,1. Jednoznačné reprezentace konečného stupně	207
5,2. Ekvivalence a ireducibilita reprezentací	208
5,3. Maticový zápis transformací. Infinitesimální transformace z dané reprezentace	210
5,4. Dvojznačné reprezentace. Spinory	213
6. Reálné souřadnice v prostoročase	215
6,1. Zavedení reálných souřadnic. Metrické koeficienty	215
6,2. Transformace reálných souřadnic	216
6,3. Kontravariantní a kovariantní složky čtyřvektorů. Tenzory a jejich derivace podle souřadnic	219
Úlohy	221

VI. Relativistická elektrodynamika a mechanika hmotných částic

1. Relativistický tenzorový zápis Maxwellových-Lorentzových rovnic	225
2. Fyzikální důsledky transformačních vzorců a jejich praktické použití	227
3. Lorentzova čtyřsila a tenzor energie a hybnosti elektromagnetického pole	232
3,1. Hustota síly a úhrnná síla	232
3,2. Tenzor energie a hybnosti elektromagnetického pole	235
3,3. Úhrnná energie a hybnost elektromagnetického pole	237
3,4. Problém stability elektronu. Kohezí síly a kohezí energie	240
4. Rovinná elektromagnetická vlna	242
4,1. Vlnový čtyřvektor	242
4,2. Aberace paprsku a Dopplerův jev	244
4,3. Planckovy-Einsteinovy vztahy	246
5. Invariantní zápis Lorentzových pohybových rovnic elektronu	247
5,1. Pohybové rovnice a rovnice energie	247
5,2. Poincaréův elektron ve vnějším poli	252
6. Založení relativistické mechaniky nezávisle na elektrodynamice	255
6,1. Pohybové rovnice	255
6,2. Lewisovo-Tolmanovo odvození závislosti setrvačné hmoty tělesa na jeho rychlosti	256
6,3. Další příklady ukazující nutnou závislost klidové setrvačné hmoty tělesa na jeho vnitřní energii	259
7. Příklady sil, jejichž působení na hmotnou částici mění její klidovou hmotu	264
7,1. Minkowského čtyřsila časového charakteru	264
7,2. Nukleon ve vnějším skalárním mezickém poli	266
8. Einsteinův zákon o ekvivalenci hmoty a energie	268
9. Relativistický tenzor momentu hybnosti	273
9,1. Tenzor momentu hybnosti volné částice a soustavy volných částic	273

9,2. Moment hybnosti soustavy interagujících částic a pole	274
9,3. Spin částice a pohybové rovnice částice se spinem	276
10. Základní rovnice elektrodynamiky a mechaniky v reálných prostoročasových souřadnicích	278
Úlohy	281

VII. Variační principy

1. Vazbové síly. Relativistická formulace d'Alembertova principu a Lagrangeových rovnic 1. druhu	284
2. Hamiltonův princip v relativistické mechanice hmotné částice	287
2,1. Skutečná a variovaná světočára. Obecné vyjádření Hamiltonova principu	287
2,2. Lagrangeovy funkce a pohybové rovnice pro důležité speciální případy částice ve vnějším poli	290
2,3. Heuristický postup při sestrojení Lagrangeovy funkce	296
3. Hamiltonův princip v relativistické teorii pole	299
3,1. Variační princip pro elektromagnetické pole	299
3,2. Variační princip pro skalární mezické pole	301
4. Interakce rozptýlené nabitě hmotné substance a pole	303
4,1. Úplná Lagrangeova funkce a variační princip	303
4,2. Odvození rovnic pole i rovnic pohybu hmotného prachu z jediného variačního principu	307
4,3. Kinetický tenzor energie a hybnosti hmotného prachu	309
4,4. Různé další úpravy pohybových rovnic hmotného prachu	310
5. Pokusy o řešení problému klasické teorie elektronu	313
6. Teorie polí a jejich interakce	317
6,1. Rovnice neinteragujících, volných polí	317
6,2. Variační princip a rovnice pole. Kanonický tenzor energie a hybnosti a čtyřproud	321
6,3. Interakce polí	324
Úlohy	326

VIII. Princip relativity a fenomenologická makrofyzika

1. Princip relativity v makroskopické elektrodynamice	328
2. Invariantní tvar rovnic makroskopické elektrodynamiky	331
2,1. Základní rovnice. Transformace základních veličin	331
2,2. Invariantní definice vodivého proudu a invariantní tvar materiálových vztahů	336
3. Tenzor energie a hybnosti makroskopického elektromagnetického pole	338
4. Tenzor elastických napětí v pohybujícím se hmotném tělese	343
5. Invariantní tvar zákonů termodynamiky	348
Úlohy	351

IX. Relativita a gravitace

1. Einsteinův speciální princip relativity a teorie gravitace	353
1,1. Newtonova teorie gravitace a první pokusy o její přizpůsobení požadavkům speciální teorie relativity	353
1,2. Novější empirická data o gravitaci	361
1,3. Speciálně relativistická teorie gravitace a její potíže	362
2. Základní ideje Einsteinovy obecné teorie relativity a jeho přístupu k teorii gravitace	368
3. Prostorčas a dnešní fyzika	370
Řešení úloh	372
Seznam literatury	424
Rejstřík	428