

Sadržaj

1	Kinematika specijalne teorije relativnosti	9
1.1	Brzina svetlosti i zakon sabiranja brzina	10
1.2	Majkelson-Morlijev eksperiment	14
1.3	Ajnštajnovi postulati	17
1.4	Posledice Ajnštajnovih postulata	19
1.4.1	Relativnost istovremenosti	20
1.4.2	Dilatacija vremena	23
1.4.3	Kontrakcija dužina	28
1.4.4	Doplerov efekat za svetlost	30
1.5	Lorencove transformacije	34
1.5.1	Lorencove transformacije	37
1.5.2	Relativistički zakon sabiranja brzina	38
1.5.3	Ubrzanje u specijalnoj teoriji relativnosti	39
1.6	Osnovne posledice Lorencovih transformacija	40
1.6.1	Dilatacija vremena	40
1.6.2	Kontrakcija dužine	41
1.6.3	Paradoks blizanaca sa stanovišta Lorencovih transformacija	41
1.7	Interval	43
1.7.1	Tipovi intervala	45
1.8	Prostor Minkovskog	46
1.8.1	Grafici u prostor-vremenu	47
1.8.2	Dužine pravih linija u prostoru Minkovskog	49
1.8.3	Svetlosni konusi	50
1.8.4	Vektori u prostoru Minkovskog	53
1.8.5	Prostor Minkovskog i Lorencove transformacije	56
1.8.6	Kontravarijantne i kovarijantne komponente vektora	57
1.8.7	4-vektor brzine	59
1.9	Zadaci	60

2	Dinamika specijalne teorije relativnosti	63
2.1	Impuls u specijalnoj teoriji relativnosti	63
2.2	Relativistička energija	65
2.3	Ekvivalentnost mase i energije	68
2.4	Dinamika u prostor-vremenu	69
2.4.1	Jednačina kretanja	69
2.4.2	4-vektor impulsa	71
2.4.3	4-impuls fotona	73
2.5	Transformacija impulsa i energije	74
2.6	Doplerov efekat i relativistička aberacija	74
2.7	Varijacioni princip u mehanici čestice	76
2.7.1	Varijacioni princip u Njutnovoj mehanici	76
2.7.2	Varijacioni princip u specijalnoj teoriji relativnosti	79
2.8	Relativistička raketa	80
2.9	Granica između Njutnove i relativističke dinamike	83
2.10	Zadaci	85
3	Osnove opšte teorije relativnosti	87
3.1	Kratak prikaz razvoja teorija gravitacije kroz istoriju	87
3.2	Njutnova gravitacija	90
3.3	Gravitaciona interakcija i neinercijalni sistemi reference	91
3.4	Princip ekvivalentnosti	93
3.5	Prostor i vreme u neinercijalnim sistemima reference	97
3.6	Elementi opšte teorije relativnosti	99
3.6.1	Prostor i vreme u gravitacionom polju	99
3.6.2	Opisivanje kretanja u gravitacionom polju	100
3.6.3	Satovi u gravitacionom polju	101
3.6.4	Gravitaciono polje i geometrija. Zakrivljenje prostora	104
3.6.5	Geodezijske linije i krivina prostora	105
3.7	Tri potvrde OTR	107
3.7.1	Precesija perihela Merkura	107
3.7.2	Skretanje svetlosti u blizini masivnih tela	108
3.7.3	Usporavanje toka vremena u gravitacionom polju	108
3.8	Crne rupe i gravitacioni talasi	109
3.9	Granice primenljivosti OTR	112
3.10	Primena OTR na vasionu, kosmologija.	112
3.11	Prostor-vreme i Njutnova gravitacija	115
3.11.1	Frekvencija emisije i apsorpcije	115
3.11.2	Njutnovsko kretanje u prostorno-vremenskim terminima	116
3.12	Zadaci	118

4	Opisivanje zakrivljenog prostor-vremena	119
4.1	Mnogostrukosti	119
4.2	Koordinate	120
4.3	Krive i površi	120
4.4	Koordinatne transformacije	121
4.5	Geometrija mnogostrukosti	122
4.5.1	Rimanova geometrija	122
4.5.2	Unutrašnja i spoljašnja geometrija	123
4.5.3	Primeri neeuklidskih geometrija	126
4.5.4	Dužine, površine i zapremine	128
4.5.5	Lokalno Dekartove koordinate	132
4.5.6	Tangentni prostor mnogostrukosti	134
4.5.7	Pseudo-Rimanove mnogostrukosti	135
4.5.8	Integracija po podmnogostrukosti u opštem slučaju	136
4.6	Zadaci	138
5	Vektorska analiza na mnogostrukostima	139
5.1	Skalarna i vektorska polja na mnogostrukostima	139
5.1.1	Tangentni vektor krive	140
5.1.2	Bazisni vektori	141
5.1.3	Koordinatni bazisni vektori	142
5.1.4	Ortonormirani bazisni vektori	143
5.1.5	Podizanje i spuštanje indeksa	143
5.1.6	Bazisni vektori i koordinatne transformacije	144
5.2	Kristofelovi simboli	145
5.2.1	Izvodi bazisnih vektora i Kristofelovi simboli	145
5.2.2	Transformacije Kristofelovih simbola	147
5.2.3	Veza između Kristofelovih simbola i metrike	147
5.2.4	Lokalno geodezijske i Dekartove koordinate	149
5.2.5	Kovarijantni izvod vektora i skalara	151
5.2.6	Unutrašnji izvod vektora duž krive	152
5.2.7	Paralelni prenos	153
5.2.8	Nulte krive, ne-nulte krive i Kristofelovi simboli	155
5.3	Geodezijske linije	156
5.3.1	Stacionarne karakteristike nenultih geodezijskih linija	157
5.3.2	Lagranžev formalizam za geodezijske linije	158
5.4	Zadaci	161

6	Elementi tenzorskog računa	163
6.1	Tenzorska polja na mnogostrukostima	164
6.2	Komponente tenzora	164
6.3	Simetrije tenzora	165
6.4	Metrički tenzor	166
6.5	Elementarne operacije sa tenzorima	166
6.6	Tenzori i koordinatne transformacije	168
6.7	Tenzorske jednačine	169
6.8	Teorema količnika	169
6.9	Kovarijantni izvod tenzora	170
6.10	Unutrašnji izvod tenzora duž krive	171
6.11	Zadaci	172
7	Elektrodinamika u ravnim i zakrivljenim prostorima	173
7.1	Delovanje elektromagnetne sile na naelektrisanje u kretanju .	173
7.2	4-vektor gustine struje	174
7.3	Jednačine elektromagnetnog polja	175
7.4	Električno i magnetno polje u inercijalnim sistemima reference	176
7.5	Jednačine elektrodinamike u proizvoljnim sistemima reference	178
7.6	Zadaci	179
8	Princip ekvivalentnosti i prostorno-vremenska krivina	181
8.1	Njutnova gravitacija	181
8.2	Princip ekvivalentnosti	182
8.3	Gravitacija kao krivina prostor-vremena	183
8.4	Lokalno inercijalne koordinate	185
8.5	Slaba gravitaciona polja i Njutnova aproksimacija	186
8.6	Unutrašnja krivina mnogostrukosti	188
8.7	Tenzor krivine	189
8.8	Osobine tenzora krivine	190
8.9	Ričijev tenzor i skalarna krivina	192
8.10	Krivina i paralelni prenos	194
8.11	Krivina i devijacija geodezijskih linija	196
8.12	Plimske gravitacione sile	197
8.13	Zadaci	202
9	Ajnštajnovе jednačine polja	203
9.1	Tenzor energije-impulsa	204
9.2	Tenzor energije-impulsa za idealan fluid	205
9.3	Održanje energije i impulsa za idealni fluid	206

9.4	Ajnštajnovе jednačine	208
9.5	Ajnštajnovе jednačine za vakuum	211
9.6	Ajnštajnovе jednačine u aproksimaciji slabog polja	212
9.7	Kosmološka konstanta	213
9.8	Zadaci	215
10	Švarcšildovo rešenje	217
10.1	Opšta statična i izotropna metrika	217
10.2	Rešenja jednačina polja za prazan prostor	219
10.3	Geodezijske linije u Švarcšildovoj geometriji	223
10.4	Trajektorije masivnih čestica	225
10.4.1	Radijalno kretanje masivnih čestica	226
10.5	Trajektorije fotona	228
10.5.1	Radijalno kretanje fotona	229
10.5.2	Cirkularno kretanje fotona	229
10.6	Gravitacioni crveni pomak	230
10.7	Zadaci	232
11	Eksperimentalne potvrde opšte teorije relativnosti	233
11.1	Precesija orbita planeta	233
11.2	Savijanje putanje svetlosti	236
11.3	Radarski eho	238
11.4	Zadaci	240
12	Švarcšildove crne rupe	241
12.1	Singularnosti u Švarcšildovoj metrici	241
12.2	Radijalne svetske linije fotona	243
12.3	Radijalne svetske linije čestica	245
12.4	Edington-Finkelštajnovе koordinate	246
12.4.1	Advansovane Edington-Finkelštajnovе koordinate	246
12.4.2	Retardovane Edington-Finkelštajnovе koordinate	248
12.5	Gravitacioni kolaps i formiranje crne rupe	249
12.6	Plimske sile u blizini crne rupe	251
12.7	Kruskalove koordinate	252
12.8	Crvlje rupe i Ajnštajn-Rozenov most	257
12.9	Hokingov efekat	260
12.10	Zadaci	264