

OBSAH

Předmluva	11
Seznam symbolů	14
Kapitola 1. Základní pojmy kinematiky soustav částic a tuhého tělesa	17
1.1. Prostor a čas v Newtonově mechanice	17
1.2. Základní pojmy kinematiky částic	19
1.2.1. Soustava souřadnic a poloha částic	19
1.2.2. Trajektorie částice	20
1.2.3. Rychlost částice	25
1.2.4. Zrychlení částice	28
1.2.5. Plošná rychlost a plošné zrychlení částice	31
1.2.6. Úhlová rychlost a úhlové zrychlení částice	33
1.3. Základní pojmy kinematiky tuhého tělesa	36
1.3.1. Přemístění tuhého tělesa	36
1.3.2. Skládání translací a rotací	38
1.3.3. Pohyb tuhého tělesa	40
1.4. Kinematika relativního pohybu	42
1.4.1. Časová změna vektoru vzhledem ke vztažné soustavě	42
1.4.2. Relativnost rychlosti a zrychlení částice	45
1.5. Kinematika částic v obecných souřadnicích	49
1.5.1. Složky rychlosti a zrychlení částice v křivočarách souřadnicích	49
1.5.2. Klasifikace vazeb mechanické soustavy	52
1.5.3. Obecná souřadnice holonomní soustavy	54
Úlohy ke cvičení	57

Kapitola 2. Dynamika soustav částic	61
2.1. Síla a hmotnost v Newtonově mechanice	61
2.2. Dynamika volné částice	63
2.2.1. Zákon zachování hybnosti volné částice	63
2.2.2. Zákon zachování momentu hybnosti volné částice	64
2.2.3. Kinetická energie částice a výkon síly	66
2.2.4. Práce síly	67
2.2.5. Konzervativní silové pole	69
2.2.6. Potenciální energie částice	71
2.2.7. Zákon zachování mechanické energie volné částice	75
2.2.8. Konzervativní síla jako gradient potenciální energie	76
2.2.9. Potenciál konzervativního silového pole	79
Úlohy ke cvičení	80
2.3. Dynamika soustavy volných částic	81
2.3.1. Pohybové rovnice soustavy volných částic	81
2.3.2. První věta impulsová a zákon zachování hybnosti	83
2.3.3. Hmotný střed soustavy	84
2.3.4. Druhá věta impulsová a zákon zachování momentu hybnosti	85
2.3.5. Kinetická energie soustavy volných částic a výkon sil	87
2.3.6. Práce sil působících na soustavu částic	88
2.3.7. Potenciální energie soustavy částic	88
2.3.8. Zákon zachování mechanické energie soustavy volných částic	90
Úlohy ke cvičení	91
2.4. Pohybové rovnice soustavy volných částic v obecných souřadnicích	92
2.4.1. Pohybové rovnice volné částice v ortogonálních křivočarých souřadnicích	92
2.4.2. Pohyb soustavy dvou volných částic	95
2.4.3. Langrangeovy rovnice druhého druhu	97
2.4.4. Klasifikace sil	101
2.5. Dynamika v neinerciálních soustavách souřadnic	106
2.5.1. Pohybová rovnice částice v neinerciální soustavě souřadnic	106
2.5.2. Galileiho transformace	108
2.5.3. Pohyb na povrchu Země	109
2.5.4. Vztah mezi hybností, momentem hybnosti a kinetickou energií v inerciální a těžišťové soustavě	113
2.5.5. První a druhá věta impulsová v neinerciální soustavě souřadnic	115
2.5.6. Zákon zachování mechanické energie v neinerciální soustavě souřadnic	118
Úlohy ke cvičení	121
2.6. Pohyb částice v poli centrální síly	121
2.6.1. Pohybové rovnice částice v poli centrální síly	121
2.6.2. Trajektorie částice v poli centrální síly	123
2.6.3. Keplerova úloha	125
2.6.4. Kvalitativní diskuse trajektorie	128
2.6.5. Binetův vzorec	131
2.6.6. Problém dvou těles	132
2.6.7. Rutherfordův vzorec	134
2.6.8. Účinný průřez rozptylu	137
2.6.9. Diagram hybností	138
Úlohy ke cvičení	141
2.7. Základy dynamiky soustavy vázaných částic a tuhého tělesa	143
2.7.1. Princip uvolnění	143

2.7.2.	Langrangeovy rovnice prvního druhu	144
2.7.3.	Zákon zachování mechanické energie soustavy vázaných částic	146
2.7.4.	Impulsové věty pro tuhé těleso	147
2.7.5.	Příklad na užití principu uvolnění	148
2.7.6.	Langrangeovy rovnice druhého druhu holonomní soustavy	152
Úlohy ke cvičení		154
2.8.	Základy teorie Newtonova potenciálu	154
2.8.1.	Newtonův (gravitační) potenciál	154
2.8.2.	Gravitační potenciál středově souměrného rozložení hmotnosti	156
2.8.3.	Věta o multipólovém rozvoji	159
2.8.4.	Vlastnosti gravitačního potenciálu při prostorovém rozložení hmotnosti	161
2.8.5.	Vlastnosti gravitačního potenciálu při plošném a čarovém rozložení hmotnosti	165
2.8.6.	Elektrostatické pole multipólů	165
2.8.7.	Gravitační potenciál Země	170
Kapitola 3. Principy mechaniky		173
3.1.	Stručný historický přehled	173
A. Diferenciální principy		179
3.2.	Princip virtuální práce	179
3.2.1.	Virtuální práce	179
3.2.2.	Obecná formulace principu virtuální práce	181
3.3.	Rovnováha vázaných mechanických soustav	184
3.3.1.	Částice na ploše	184
3.3.2.	Stabilita rovnovážné polohy při konzervativních silách	187
3.3.3.	Rovnováha soustavy částic podrobených holonomním skleronomním vazbám	188
3.3.4.	Obecněji o vazbách a virtuálních posunutích	189
3.3.5.	Obecné souřadnice	194
3.3.6.	Dva jednoduché příklady neholonomních vazeb	196
3.4.	Příklady na užití principu virtuální práce	200
3.4.1.	Rovnováha volného tuhého tělesa	200
3.4.2.	Tyč opírající se o dvě šikmé stěny	202
3.4.3.	Dvojzvratná páka v poli tíhy	206
3.4.4.	Homogenní tyč na jednom konci volně zavěšená a druhým koncem se opírající o svislou stěnu	210
3.4.5.	Rovnováha zatíženého prstence navlečeného na prohnutý drát a vázaného na pevný bod	213
3.4.6.	Dvě nití spojené částice na parabole	215
3.4.7.	Držené trojitě fyzické kyvadlo	216
3.4.8.	Kabel zavěšený ve dvou bodech	218
Úlohy ke cvičení		222
3.5.	Princip d'Alembertův	228
3.5.1.	Setrvačná síla	228
3.5.2.	Analytická formulace d'Alembertova principu. Lagrangeovy rovnice prvního druhu	231
3.5.3.	Věta o energii při skleronomních a při reonomních vazbách	232
3.5.4.	Dva příklady rovinného pohybu při neholonomní vazbě	234
3.5.5.	Ústřední Lagrangeova rovnice	239
3.5.6.	Dvě úpravy ústřední Lagrangeovy rovnice	242
3.6.	Variační diferenciální principy	245

8 Obsah

3.6.1.	Gaussova metoda nejmenších čtverců	245
3.6.2.	Gaussův princip	247
3.6.3.	Jourdainův princip	251
3.6.4.	Hertzův princip	252
3.7.	Příklady na d'Alembertův princip	255
3.7.1	Pohyb tělesa po hladké lize, opřené o svislou stěnu	255
3.7.2.	Tři závaží v kombinaci pevné a pohyblivé kladky	258
3.7.3.	Spojení translačního pohybu s rotačním	261
	Úlohy ke cvičení	264
B.	Integrální principy	267
3.8.	Hamiltonův princip	267
3.8.1.	Diferenciální a integrální pojetí mechanických principů	267
3.8.2.	Hamiltonův princip	269
3.8.3.	Hamiltonův princip při neholonomních vazbách	273
3.8.4.	Hamiltonův princip pro nepotenciální síly	275
3.8.5.	Zobecněný potenciál v případě Lorentzovy síly	276
3.8.6.	Invariance Lagrangeových rovnic při bodových transformacích	279
3.8.7.	První integrály Lagrangeových rovnic	281
3.8.8.	Věta Noetherové	288
3.8.9.	Příklady na Lagrangeovy rovnice druhého druhu	293
3.8.10.	Sférické kyvadlo	300
3.9.	Principy Maupertuisův — Eulerův a Jacobiho	308
3.9.1.	Neizochronní variace	308
3.9.2.	Hölderova identita	311
3.9.3.	Princip Maupertuisův — Eulerův	315
3.9.4.	Princip Jacobiho	319
3.9.5.	Čas jako cyklická proměnná v Lagrangeově funkci	321
	Úlohy ke cvičení	323
C.	Kanonické rovnice a transformace. Hamiltonova — Jacobiho teorie	328
3.10.	Kanonické rovnice	328
3.10.1.	Hamiltonovy rovnice	328
3.10.2.	Legendrova duální transformace	332
3.10.3.	Hamiltonova funkce	334
3.10.4.	Odvození kanonických rovnic z Hamiltonova principu	341
3.10.5.	Poissonovy závorky	342
3.10.6.	Cyklické integrály	348
3.10.7.	Příklady	350
3.11.	Kanonické transformace	355
3.11.1.	Vytvořující funkce kanonické transformace	355
3.11.2.	Příklady	361
3.11.3.	Infinitezimální kanonická transformace	363
3.11.4.	Invarianty kanonických transformací. Liouvilleova věta	365
3.12.	Hamiltonova — Jacobiho teorie	369
3.12.1.	Úplný integrál parciální diferenciální rovnice prvního řádu	369
3.12.2.	Hamiltonova — Jacobiho rovnice	371
3.12.3.	Separace proměnných	376
3.12.4.	Příklady na Hamiltonovu — Jacobiho rovnici	378
	Úlohy ke cvičení	387

Kapitola 4. Základy teorie mechanických kmitů	391
4.1. Kmity soustav s jedním stupněm volnosti	391
4.1.1. Lineární soustavy	391
4.1.2. Aperiodický pohyb lineární soustavy	396
4.1.3. Volné kmity lineární soustavy s vazkým třením	398
4.1.4. Kvalita lineární tlumené soustavy	401
4.1.5. Volné kmity lineární soustavy se smykovým třením	402
4.1.6. Vynucené kmity lineární soustavy s vazkým třením	405
4.1.7. Nelineární soustavy	408
4.1.8. Parametrické kmity	414
4.2. Kmity soustav s více stupni volnosti	416
4.2.1. Pohybové rovnice pro netlumené lineární kmity soustavy	416
4.2.2. Volné netlumené kmity lineární soustavy	418
Úlohy ke cvičení	420
Kapitola 5. Mechanika tuhého tělesa	423
5.1. Kinematika otáčivého pohybu tuhého tělesa	423
5.1.1. Maticová formulace skládání konečných otočení	423
5.1.2. Eulerovy úhly	425
5.1.3. Vektorový charakter úhlové rychlosti	427
5.1.4. Eulerovy kinematické rovnice	429
5.1.5. Polodiová a herpolodiová plocha	430
5.2. Dynamika tuhého tělesa	432
5.2.1. Ekvivalence soustav sil působících na tuhé těleso	432
5.2.2. Centrum soustavy rovnoběžných sil	433
5.2.3. Translační a rotační pohyb tuhého tělesa	434
5.2.4. Tenzor setrvačnosti tuhého tělesa	436
5.2.5. Eulerovy dynamické rovnice	438
5.2.6. Otáčení tuhého tělesa kolem pevného bodu a pevné osy	439
5.2.7. Lagrangeova funkce pohybujícího se tuhého tělesa	440
5.3. Pohyb setrvačníků	442
5.3.1. Pohyb bezmomentového symetrického setrvačnicku	442
5.3.2. Pohyb těžkého symetrického setrvačnicku	446
Kapitola 6. Základy relativistické mechaniky	451
6.1. Základní problematika	451
6.1.1. Prostor, čas, hmota	451
6.1.2. Problematika šíření světla	454
6.2. Speciální Lorentzova transformace	461
6.2.1. Princip relativity a princip (zákon) konstantní rychlosti světla	461
6.2.2. Speciální Lorentzova transformace	462
6.3. Některé důsledky Lorentzovy transformace	466
6.3.1. Kontrakce délek	466
6.3.2. Dilatace času	467
6.3.3. Rozpad mionu	467
6.3.4. Relativita současnosti	468
6.3.5. Relativistický vzorec pro skládání rychlosti	469
6.3.6. Relativistický výklad aberace stálic, Fizeauova pokusu a Michelsonova — Morleyova pokusu	470
6.4. Relativistická mechanika částice	472

6.4.1.	Interval vlastního času	472
6.4.2.	Prostoročas	475
6.4.3.	Čtyřrychlost a čtyřzrychlení	477
6.4.4.	Minkowského síla	478
6.4.5.	Model srážky dvou částic	482
Úlohy ke cvičení		484
Dodatek I. Matematické doplňky ke kapitolám 1, 2 a 5		487
I.1.	Základní pojmy vektorové algebry	487
I.1.1.	Sčítání vektorů a násobení vektoru číslem	487
I.1.2.	Lineární kombinace vektorů	488
I.1.3.	Báze, dimenze a orientace vektorového prostoru	488
I.1.4.	Skalární součin vektorů	489
I.1.5.	Vektorový součin vektorů	490
I.1.6.	Součiny více vektorů	490
I.2.	Křivočaré souřadnice bodu	492
I.3.	Polární rovnice kuželoseček	497
I.4.	Legendrovy polynomy	501
I.5.	Hlavní složky a směry tenzoru setrvačnosti	502
Dodatek II. Základy variačního počtu		505
II.1.	Funkcionál a jeho variace	505
II.1.1.	Stacionární hodnota funkce	505
II.1.2.	Zobecněné prostory. Blížkost dvou křivek	508
II.1.3.	Funkcionál	513
II.1.4.	Příklady jednoduchých funkcionálů	514
II.1.5.	Základní lemma variačního počtu	517
II.1.6.	Variace funkcionálu	518
II.2.	Variační úlohy s pevnými koncovými body přípustných křivek. Eulerova rovnice	520
II.2.1.	Stacionární hodnota určitého integrálu	520
II.2.2.	Integrace Eulerovy rovnice ve speciálních případech	525
II.2.3.	Funkcionály závislé na derivacích vyšších řádů	526
II.2.4.	Funkcionály závislé na více funkcích a jejich prvních derivacích	528
II.2.5.	Funkcionály závislé na více nezávisle proměnných	530
II.3.	Variační úlohy s vedlejšími podmínkami	533
II.3.1.	Lagrangeova metoda neurčitých multiplikátorů (součinitelů)	533
II.3.2.	Vedlejší podmínky v integrálním tvaru	535
II.3.3.	Vedlejší podmínky typu $\varphi(x, y_1, \dots, y_n) = 0$	537
II.3.4.	Řešení příkladů z odst. II.1.4	539
II.4.	Variační úlohy s volnými koncovými body přípustných křivek	546
II.4.1.	Funkcionál s jednou závislou funkcí a její derivací	546
II.4.2.	Tři příklady na podmínky transversality	551
II.4.3.	Funkcionál s n závislými funkcemi a jejich derivacemi	554
II.5.	Invariantní charakter Eulerovy rovnice	558
II.5.1.	Variační úlohy v parametrickém tvaru	558
II.5.2.	Chování funkcionálů při transformaci souřadnic v rovině	560
Úlohy ke cvičení		562
Výsledky úloh ke cvičení		565
Literatura		574
Rejstřík		577