

# Spis treści

<b>Przedmowa</b> . . . . .	IX
<b>Część I Podstawy</b> . . . . .	1
<b>1. Zasady dynamiki Newtona</b> . . . . .	3
1.1. Mechanika klasyczna . . . . .	3
1.2. Przestrzeń i czas . . . . .	4
1.3. Masa i siła . . . . .	10
1.4. Pierwsza i druga zasada dynamiki Newtona; inercjalne układy odniesienia . . . . .	13
1.5. Trzecia zasada dynamiki i zasada zachowania pędu . . . . .	19
1.6. Druga zasada dynamiki Newtona we współrzędnych kartezjańskich . . . . .	24
1.7. Współrzędne biegunowe na płaszczyźnie . . . . .	27
<b>2. Ruch pocisków i cząstek naładowanych</b> . . . . .	43
2.1. Opór powietrza . . . . .	43
2.2. Liniowy opór powietrza . . . . .	46
2.3. Tor ciała i zasięg rzutu w ośrodku z oporem liniowym . . . . .	53
2.4. Kwadratowa siła oporu powietrza . . . . .	56
2.5. Ruch cząstki naładowanej w jednorodnym polu magnetycznym . . . . .	64
2.6. Eksponens liczby zespolonej . . . . .	67
2.7. Rozwiązanie dla ruchu cząstki naładowanej w polu magnetycznym . . . . .	69
<b>3. Pęd i moment pędu</b> . . . . .	82
3.1. Zasada zachowania pędu . . . . .	82
3.2. Rakiety . . . . .	84
3.3. Środek masy . . . . .	86
3.4. Moment pędu pojedynczej cząstki . . . . .	88
3.5. Moment pędu układu wielu cząstek . . . . .	92
<b>4. Energia</b> . . . . .	104
4.1. Energia kinetyczna i praca . . . . .	104
4.2. Siły zachowawcze i energia potencjalna . . . . .	108
4.3. Siła jako gradient energii potencjalnej . . . . .	114
4.4. Drugi warunek zachowawczości siły $\mathbf{F}$ . . . . .	117
4.5. Potencjał zależny od czasu . . . . .	120

4.6.	Energia w układach jednowymiarowych . . . . .	122
4.7.	Krzywoliniowe układy jednowymiarowe . . . . .	128
4.8.	Siły centralne . . . . .	132
4.9.	Energia oddziaływania dwóch cząstek . . . . .	137
4.10.	Energia układu wielu cząstek . . . . .	142
<b>5.</b>	<b>Drgania . . . . .</b>	<b>159</b>
5.1.	Prawo Hooke'a . . . . .	159
5.2.	Ruch harmoniczny prosty . . . . .	161
5.3.	Oscylatory dwuwymiarowe . . . . .	167
5.4.	Drgania tłumione . . . . .	170
5.5.	Drgania wymuszone oscylatora tłumionego . . . . .	176
5.6.	Rezonans . . . . .	184
5.7.	Szeregi Fouriera* . . . . .	189
5.8.	Rozwiązanie w postaci szeregu Fouriera dla oscylatora z siłą wymuszającą* . . . . .	194
5.9.	Wychylenie średnie kwadratowe; twierdzenie Parsevala* . . . . .	200
<b>6.</b>	<b>Rachunek wariacyjny . . . . .</b>	<b>212</b>
6.1.	Dwa przykłady . . . . .	213
6.2.	Równanie Eulera–Lagrange'a . . . . .	215
6.3.	Zastosowania równania Eulera–Lagrange'a . . . . .	219
6.4.	Przypadek wielu zmiennych . . . . .	223
<b>7.</b>	<b>Równania Lagrange'a . . . . .</b>	<b>233</b>
7.1.	Równania Lagrange'a dla ruchu swobodnego . . . . .	234
7.2.	Przykład układu nieswobodnego . . . . .	241
7.3.	Układy nieswobodne w przypadku ogólnym . . . . .	243
7.4.	Dowód prawdziwości równań Lagrange'a dla układów nieswobodnych . . . . .	247
7.5.	Przykładowe zastosowania równań Lagrange'a . . . . .	251
7.6.	Pędy uogólnione i współrzędne cykliczne . . . . .	262
7.7.	Wnioski . . . . .	263
7.8.	Więcej na temat praw zachowania* . . . . .	264
7.9.	Równania Lagrange'a dla ruchu w polu magnetycznym* . . . . .	268
7.10.	Mnożniki Lagrange'a i siły reakcji więzów* . . . . .	271
<b>8.</b>	<b>Zagadnienie ruchu dwóch ciał oddziałujących na siebie siłą centralną . . . . .</b>	<b>289</b>
8.1.	Sformułowanie zagadnienia . . . . .	289
8.2.	Położenie środka masy i położenie względne; masa zredukowana . . . . .	291
8.3.	Równania ruchu . . . . .	292
8.4.	Równoważne zagadnienie jednowymiarowe . . . . .	295
8.5.	Równanie orbity . . . . .	301
8.6.	Orbity keplerowskie . . . . .	303
8.7.	Nieograniczone orbity keplerowskie . . . . .	308
8.8.	Zmiana orbity . . . . .	310
<b>9.</b>	<b>Mechanika w nieinercjalnych układach odniesienia . . . . .</b>	<b>321</b>
9.1.	Przyspieszenie bez obrotu . . . . .	321
9.2.	Pływy . . . . .	325
9.3.	Wektor prędkości kątowej . . . . .	331
9.4.	Pochodne względem czasu w obracającym się układzie odniesienia . . . . .	334
9.5.	Druga zasada dynamiki Newtona w obracającym się układzie odniesienia . . . . .	337

9.6.	Siła odśrodkowa . . . . .	339
9.7.	Siła Coriolisa . . . . .	343
9.8.	Spadek swobodny i siła Coriolisa . . . . .	346
9.9.	Wahadło Foucaulta . . . . .	349
9.10.	Siła Coriolisa i przyspieszenie Coriolisa . . . . .	352
<b>10.</b>	<b>Ruch obrotowy bryły sztywnej . . . . .</b>	<b>362</b>
10.1.	Właściwości środka masy . . . . .	362
10.2.	Ruch obrotowy wokół stałej osi . . . . .	367
10.3.	Ruch obrotowy wokół dowolnej osi; tensor momentu bezwładności . . . . .	373
10.4.	Osie główne bezwładności . . . . .	381
10.5.	Wyznaczanie osi głównych; równania własne . . . . .	383
10.6.	Precesja bąka pod wpływem niedużego momentu siły . . . . .	387
10.7.	Równania Eulera . . . . .	389
10.8.	Równania Eulera dla zerowego momentu siły . . . . .	391
10.9.	Kąty Eulera* . . . . .	396
10.10.	Ruch wirującego bąka* . . . . .	398
<b>11.</b>	<b>Oscylatory sprzężone i mody normalne . . . . .</b>	<b>412</b>
11.1.	Dwa ciężarki i trzy sprężyny . . . . .	413
11.2.	Identyczne sprężyny i równe masy . . . . .	416
11.3.	Dwa oscylatory słabo ze sobą sprzężone . . . . .	422
11.4.	Podejście lagranżowskie: wahadło podwójne . . . . .	426
11.5.	Przypadek ogólny . . . . .	432
11.6.	Trzy wahadła sprzężone . . . . .	436
11.7.	Współrzędne normalne* . . . . .	440
<b>Dodatek.</b>	<b>Diagonalizacja rzeczywistych macierzy symetrycznych . . . . .</b>	<b>451</b>
A.1.	Diagonalizacja jednej macierzy . . . . .	451
A.2.	Równoczesna diagonalizacja dwóch macierzy . . . . .	455
	<b>Odpowiedzi do zadań o numerach nieparzystych . . . . .</b>	<b>458</b>
	<b>Literatura uzupełniająca . . . . .</b>	<b>477</b>
	<b>Skorowidz . . . . .</b>	<b>478</b>