

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Kinematyka punktu materialnego</b> .....	1
1.1	Układy odniesienia .....	1
1.2	Ruch postępowy i obrotowy .....	2
1.3	Ruch punktu .....	2
1.4	Ruch prostoliniowy punktu .....	5
1.4.1	Prędkość .....	5
1.4.2	Przyspieszenie .....	8
1.4.3	Droga .....	9
1.4.4	Przykłady najważniejszych ruchów prostoliniowych .....	10
1.5	Ruch punktu na płaszczyźnie .....	14
1.5.1	Równanie toru .....	14
1.5.2	Prędkość .....	15
1.5.3	Przyspieszenie .....	17
1.5.4	Ruch punktu po okręgu .....	19
1.5.5	Przyspieszenie normalne w ruchu punktu po dowolnej krzywej płaskiej .....	23
1.6	Ruch po krzywej przestrzennej .....	26
1.7	Transformacje prędkości i przyspieszenia .....	27
1.8	Prędkość względna .....	35
<b>2</b>	<b>Dynamika punktu materialnego</b> .....	39
2.1	Od Arystotelesa do Galileusza .....	39
2.2	Zasady dynamiki .....	40
2.2.1	I. zasada dynamiki .....	40
2.2.2	II. zasada dynamiki .....	43
2.2.2.1	Równanie Newtona jako definicja siły. Przykłady sił .....	46
2.2.2.2	Inne postaci równania Newtona. Prawo zachowania pędu .....	50
2.2.2.3	Równanie Newtona w różnych układach inercjalnych. Zasada względności Galileusza .....	52

2.2.3	III. zasada dynamiki	53
2.3	Równanie Newtona jako prawo Przyrody	54
2.4	Tarcie statyczne i kinematyczne	64
2.5	Moment pędu (kręt)	70
2.5.1	Równanie momentów	70
2.5.2	Prawo zachowania krętu	72
2.5.3	Siła centralna	73
2.6	Przykład całkowania równań Newtona	77
2.6.1	Ruch pod działaniem siły ciężkości	77
2.6.2	Ruch z uwzględnieniem siły tarcia mokrego	83
2.7	Równanie Newtona w układzie nieinercyjnym	86
2.7.1	Ziemia jako układ nieinercyjny	89
<b>3</b>	<b>Praca i energia</b>	<b>95</b>
3.1	Praca sił	95
3.2	Energia potencjalna	100
3.2.1	Przykłady sił zachowawczych	103
3.2.2	Powierzchnie ekwipotencjalne	106
3.2.3	Cechowanie energii potencjalnej	107
3.3	Energia kinetyczna	108
3.4	Prawo zachowania energii	111
3.4.1	Prawo zachowania energii w ruchu prostoliniowym	116
<b>4</b>	<b>Układ punktów materialnych</b>	<b>119</b>
4.1	Środek masy	119
4.1.1	Układ środka masy (UŚM)	120
4.1.2	Ruch środka masy	123
4.2	Moment pędu (kręt) układu punktów materialnych	126
4.3	Energia układu punktów materialnych	129
4.4	Prawa zachowania a własności symetrii czasoprzestrzeni	131
4.5	Zderzenia	135
<b>5</b>	<b>Ruch drgający</b>	<b>149</b>
5.1	Ruch drgający harmoniczny i anharmoniczny	149
5.2	Swobodny oscylator harmoniczny	152
5.3	Energia swobodnego oscylatora harmonicznego	159
5.4	Składanie drgań harmonicznych zachodzących wzdłuż jednej prostej	163
5.4.1	Drgania o tej samej częstotliwości	163
5.4.2	Drgania o różnych częstotliwościach ( $\omega_1 > \omega_2$ )	164
5.5	Okresowość złożonego ruchu drgającego	167
5.6	Oscylator dwuwymiarowy	168
5.7	Oscylator trójwymiarowy	174
5.8	Oscylator z tłumieniem	176
5.9	Energia oscylatora z tłumieniem	181
5.10	Oscylator z tłumieniem i siłą wymuszającą $F_0 \cos \omega t$	183

5.11	Drgania wymuszone . . . . .	185
5.12	Relacje energetyczne dla drgań wymuszonych . . . . .	188
5.13	Drganie wymuszone ze słabym tłumieniem ( $\gamma \ll \omega_0$ ) . . . . .	190
5.14	Bilans sił działających na oscylator wykonujący drgania wymuszone	192
5.15	Oscylator z zerowym tłumieniem ( $\gamma = 0$ ) i siłą wymuszającą $F_0 \cos \omega t$ . . . . .	193
5.16	Oscylator pod działaniem stałej siły . . . . .	195
5.17	Drgania wymuszone, pod działaniem dowolnej siły zależnej od czasu	197
5.18	Drgania nieliniowe . . . . .	198
5.19	Drgania układu punktów materialnych . . . . .	199
5.20	Oscylator tłumiony siłą tarcia suchego . . . . .	204
5.21	Drgania samowzbudne . . . . .	207
5.22	Rezonans parametryczny . . . . .	209
<b>6</b>	<b>Grawitacja</b> . . . . .	211
6.1	Prawo powszechnego ciężenia . . . . .	211
6.2	Pole grawitacyjne obiektów niepunktowych . . . . .	212
6.3	Doświadczenie Cavendisha . . . . .	218
6.4	Zależność przyspieszenia ziemskiego od wysokości $h$ nad powierzchnią Ziemi ( $h \ll R_Z$ ) . . . . .	219
6.5	Siły pływowe . . . . .	220
6.6	1. Strefa Roche'a . . . . .	221
6.6	2. Przyptywy . . . . .	221
6.7	Energia grawitacyjna . . . . .	222
6.8	Ruch dwóch mas punktowych oddziałujących siłą grawitacyjną (problem Keplera) . . . . .	224
6.9	Ruch po orbicie kołowej . . . . .	231
6.10	Ruch po torze eliptycznym, parabolicznym i hiperbolicznym . . . . .	232
6.11	Ruch po torze hiperbolicznym . . . . .	238
6.12	O pewnych własnościach pola grawitacyjnego . . . . .	240
	6.12.1 Równowaga statyczna ciał oddziałujących grawitacyjnie . . . . .	240
	6.12.2 Równowaga dynamiczna ciał oddziałujących grawitacyjnie . . . . .	242
6.13	Prędkości kosmiczne . . . . .	244
6.14	Sfera przyciągania Ziemi . . . . .	246
6.15	Masa bezwładna (inercyjna) i grawitacyjna . . . . .	249
6.16	Promień Schwarzschilda . . . . .	251
<b>7</b>	<b>Ruch bryły</b> . . . . .	255
7.1	Kinematyka ruchu bryły . . . . .	255
	7.1.1 Liczba stopni swobody bryły . . . . .	255
7.2	Określenie położenia bryły w układzie inercjalnym $Oxyz$ . . . . .	257
7.3	Składanie prędkości kątowych . . . . .	260
7.4	Ogólny chwilowy opis ruchu bryły . . . . .	266
7.5	Równania ruchu bryły . . . . .	269

7.5.1	Równania ruchu .....	269
7.5.2	Równoważne układy sił .....	269
7.6	Dynamika ruchu płaskiego bryły .....	277
7.6.1	Ruch bryły wokół ustalonej osi .....	277
7.6.1.1	Własności momentu bezwładności .....	283
7.6.1.1.1	Addytywność momentu bezwładności .....	283
7.6.1.1.2	Twierdzenie Steinera .....	283
7.6.1.2	Wahadło fizyczne .....	286
7.6.1.3	Wahadło rewersyjne Katera .....	290
7.6.2	Dalsze przykłady ruchu płaskiego bryły .....	291
7.6.3	Tarcie przy toczeniu .....	296
7.7	Ruch bryły z jednym punktem nieruchomym .....	298
7.8	Jak znajdować osie główne? .....	302
7.9	Ruch swobodny bryły .....	307
7.10	Stabilność ruchu bąka niesymetrycznego .....	316
7.11	Żyroskopy .....	317
7.11.1	Zawieszenie Cardana .....	318
7.11.2	Wahadło żyroskopowe .....	319
7.12	Zastosowanie żyroskopów .....	321
7.13	Ziemia jako bąk symetryczny .....	322
7.14	Jeszcze o obrocie bryły dookoła ustalonej osi .....	323
<b>A</b>	<b>Rozdział 1. Kinematyka punktu materialnego .....</b>	<b>327</b>
A.1	Krzywizna krzywej płaskiej .....	327
A.2	Współrzędne biegunowe .....	330
<b>B</b>	<b>Rozdział 4. Układ punktów materialnych .....</b>	<b>333</b>
<b>C</b>	<b>Rozdział 5. Ruch drgający .....</b>	<b>337</b>
C.1	Liniowe równanie różniczkowe rzędu drugiego o stałych współczynnikach .....	337
C.1.1	Wiadomości ogólne .....	337
C.1.2	Rozwiązanie ogólne równania jednorodnego .....	338
C.1.3	Rozwiązania szczególne równania niejednorodnego .....	341
C.2	Liniowe równania jednorodne rzędu drugiego o stałych współczynnikach zespolonych .....	344
<b>D</b>	<b>Rozdział 6. Grawitacja .....</b>	<b>351</b>
D.1	Równanie elipsy we współrzędnych kartezjańskich .....	351
D.2	Twierdzenie o wirale .....	352
	<b>Skorowidz .....</b>	<b>357</b>