

Ю.М. Григорьев, И.С. Кычкин

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Допущено УМО

*по классическому университетскому образованию РФ
в качестве учебного пособия*

для студентов высших учебных заведений,

обучающихся по направлениям подготовки высшего образования

03.03.02 — Физика и 03.03.03 — Радиофизика

(Решение УМО № 088-4/63-14 от 28.05.2014 г.)



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2018

УДК 534, 537.8

ББК 22.3

Г 83

Григорьев Ю. М., Кычкин И. С. **Колебания и волны.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. — 400 с. — ISBN 978-5-9221-1823-1.

Пособие по современной теории колебаний и волн может быть использовано студентами высших учебных заведений, обучающимися по физическим, радиофизическим, физико-техническим, инженерно-физическим направлениям. Материал соответствует курсу общей физики. Пособие построено таким образом, чтобы на примере теории колебаний и волн студенты увидели взаимосвязь между разными областями физики. Книга может служить основой для понимания теоретической физики.

Допущено УМО по классическому университетскому образованию РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки высшего образования 03.03.02 — Физика и 03.03.03 — Радиофизика (Решение УМО № 088-4/63-14 от 28.05.2014 г.).

ISBN 978-5-9221-1823-1

© ФИЗМАТЛИТ, 2018

© Ю. М. Григорьев, И. С. Кычкин, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Глава I. Колебания	8
§ 1. Примеры колебаний	8
1.1. Пружинный маятник	8
1.2. Математический маятник	9
1.3. Физический маятник	9
1.4. Крутильный маятник	10
§ 2. Собственные колебания	13
2.1. Собственные колебания	13
2.2. Представление колебаний в других формах	15
2.3. Энергия	17
2.4. Взгляд с точки зрения закона сохранения энергии (ЗСЭ)	20
2.5. Жесткость возвращающей силы	21
§ 3. Свободные затухающие колебания	29
3.1. Свободные затухающие колебания в вязкой среде	29
3.2. Диссипация энергии при затухающих колебаниях	33
3.3. Колебания при сухом трении	35
§ 4. Вынужденные колебания	39
4.1. Общее решение в случае гармонической вынуждающей силы	39
4.2. Частные случаи	42
4.3. Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики	46
4.4. Общий случай произвольной вынуждающей силы	51
§ 5. Сложение колебаний	56
5.1. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний одинаковой частоты	56
5.2. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний кратных частот	59
5.3. Сложение параллельных колебаний одинаковой частоты	62
5.4. Сложение параллельных колебаний разных частот	64
5.5. Биения	66
5.6. Произвольная периодическая функция	68

§ 6. Колебания систем со многими степенями свободы	74
6.1. Система с двумя степенями свободы. Одномерная цепочка из двух одинаковых частиц, закрепленных на одинаковых пружинах	74
6.2. Система с двумя степенями свободы. Одномерная цепочка из двух разных частиц, закрепленных на разных пружинах	78
6.3. Система с двумя степенями свободы. Два связанных одинаковых математических маятника	80
6.4. Система с двумя степенями свободы. Два связанных разных математических маятника	83
6.5. Система с N числом степеней свободы. Система одинаковых частиц, закрепленных на шнуре на одинаковых расстояниях друг от друга	86
6.6. Система с N числом степеней свободы. Общий случай	91
6.7. Система с N числом степеней свободы. Формализм Лагранжа	94
§ 7. Нелинейные колебания	95
7.1. Учет силы, пропорциональной квадрату смещения	96
7.2. Учет силы, пропорциональной кубу смещения	99
7.3. Нелинейные колебания математического маятника	101
§ 8. Метод фазового пространства (МФП)	110
8.1. Гармонические колебания (линейный осциллятор)	111
8.2. Нелинейные колебания математического маятника	115
8.3. Колебания при сухом трении	118
Глава II. Волны	120
§ 9. Волны	120
§ 10. Уравнение волны (УВ). Волновое уравнение (ВУ)	128
10.1. Уравнение плоской волны (УПВ)	128
10.2. Уравнение сферической волны (УСВ)	131
10.3. Волновое уравнение	134
§ 11. Энергия волны	142
11.1. Общие понятия	142
11.2. Упругие деформации	144
11.3. Скорость в упругой среде	146
11.4. Плотность энергии в упругой среде	155
11.5. Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитной волны	158
§ 12. Принцип суперпозиции	164
§ 13. Интерференция и дифракция волн	172
13.1. Плоские волны. Случай некогерентных волн	172
13.2. Плоские волны. Случай когерентных волн	173
13.3. Интерференция волн от двух когерентных источников	174
13.4. Дифракция волн	179

§ 14. Стоячие волны	184
14.1. Стоячие волны	184
14.2. Стоячие волны в струне (стержне)	189
§ 15. Эффект Доплера (ЭД)	194
15.1. Эффект Доплера в случае сплошной среды	194
15.2. Эффект Доплера в случае электромагнитных волн	198
Глава III. Колебания и волны в разных областях физики	206
§ 16. Электромагнитные волны	206
16.1. Уравнения Максвелла для электромагнитных волн	206
16.2. Волновое уравнение. Электромагнитная волна	207
16.3. Энергия электромагнитной волны	210
16.4. Импульс и давление электромагнитной волны	211
16.5. Поляризация электромагнитных волн. Естественный и поляризованный свет	218
§ 17. Электрические колебания	226
17.1. Собственные колебания колебательного контура (свободные колебания колебательного контура без активного сопротивления)	226
17.2. Колебания колебательного контура с активным сопротивлением (свободные колебания колебательного контура с активным сопротивлением)	233
17.3. Вынужденные колебания колебательного контура	238
17.4. Переменный ток	245
§ 18. Явления на границе раздела двух сред	254
18.1. Упругие волны	254
18.2. Электромагнитные волны	259
§ 19. Излучение электрического диполя (осциллятора). Осциллятор в электромагнитном поле	267
19.1. Излучение электрического диполя (осциллятора)	267
19.2. Осциллятор в электромагнитном поле	275
§ 20. Дисперсия света. Поглощение света	280
20.1. Дисперсия света. Классическая теория дисперсии света	280
20.2. Поглощение света	289
§ 21. Рассеяние света	295
§ 22. Упругие (акустические) волны. Ударные волны	306
22.1. Упругие (акустические) волны	306
22.2. Физические характеристики акустических волн	311
22.3. Ударные волны	316
§ 23. Гипотеза Планка. Фотон	325
23.1. Излучение. Трудности классической теории	325
23.2. Гипотеза Планка. Постоянная Планка. Формула Планка	328
23.3. Осциллятор в квантовой механике	336
23.4. Фотоэффект. Фотоны	339

§ 24. Корпускулярно-волновой дуализм. Соотношение неопределенностей Гейзенберга	350
24.1. Гипотеза де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм	350
24.2. Экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля	352
24.3. Соотношение неопределенностей Гейзенберга	358
24.4. Физическое истолкование волн де Бройля	362
24.5. Кванты полей взаимодействий	370
§ 25. Метод квазичастиц	374
25.1. Силы Ван-дер-Ваальса. Квазичастицы	374
25.2. Теплоемкость твердых тел. Фононы	381
25.3. Кратко о других квазичастицах	387
Литература	392
Заключение	393
Предметный указатель	394