

И. В. Яковлев

Физика

Перед вами — электронное пособие по физике, охватывающее всю школьную программу и, соответственно, все темы кодификатора ЕГЭ по физике.

Цель данного пособия — обеспечить школьникам исчерпывающую теоретическую подготовку по физике. Такую подготовку, которая позволит успешно выступить на олимпиадах, набрать высокие баллы на ЕГЭ, поступить в желаемый вуз и впоследствии органично перейти к изучению вузовского курса общей физики.

Пособие состоит из семи глав:

1. [Механика](#)
2. [Молекулярная физика и термодинамика](#)
3. [Электродинамика](#)
4. [Оптика](#)
5. [Теория относительности](#)
6. [Квантовая физика](#)
7. [Приложение. Векторы в физике](#)

Содержание пособия выходит за рамки кодификатора ЕГЭ и в отдельных местах за рамки школьной программы. Дополнительный материал позволяет лучше понять рассматриваемые темы и служит «мостиком» к дальнейшему вузовскому курсу. Этот «мостик» совершенно необходим, поскольку разрыв между уровнями изложения физики в школе и в вузе весьма велик. Если заранее не преодолеть этот разрыв хотя бы частично, то есть риск получить проблемы с физикой в первую же сессию.

Автор пособия — профессиональный преподаватель с 25-летним стажем, имеющий красный диплом МФТИ (факультет общей и прикладной физики) и несколько сотен учеников, ставших успешными студентами ведущих московских вузов.

Все главы пособия обсуждались на форуме преподавателей компании «Ваш репетитор», которая является крупнейшим в России репетиторским сообществом. Я выражаю глубокую благодарность [Дмитрию Андреевичу Сухоручкину](#), [Антону Марковичу Безбородову](#), [Михаилу Владимировичу Солину](#), [Борису Семёновичу Семёнову](#), [Юрию Анатольевичу Боравлёву](#), а также другим ведущим преподавателям компании, чьи квалифицированные замечания способствовали улучшению изложения материала.

Текст пособия время от времени обновляется (по мере устранения замеченных ошибок). Последняя версия всегда находится по адресу: <http://mathus.ru/phys/book.pdf>.

По всем вопросам пишите мне: pandominator@gmail.com

Оглавление

1	Механика	12
1.1	Производная	14
1.1.1	Предел	14
1.1.2	Мгновенная скорость	16
1.1.3	Определение производной	18
1.1.4	Табличные производные	19
1.1.5	Правила дифференцирования	20
1.1.6	Обозначения производной в физике	22
1.1.7	Предел векторной величины	23
1.1.8	Дифференцирование векторов	24
1.2	Механическое движение	27
1.2.1	Относительность движения	27
1.2.2	Основная задача механики	27
1.2.3	Материальная точка	28
1.2.4	Траектория, путь, перемещение	28
1.2.5	Скорость	29
1.2.6	Ускорение	30
1.2.7	Примеры вычисления скорости и ускорения	30
1.2.8	Закон сложения скоростей	31
1.2.9	Виды механического движения	33
1.3	Равномерное прямолинейное движение	35
1.3.1	Закон движения	35
1.3.2	Интегрирование	36
1.4	Равноускоренное движение	37
1.4.1	Зависимость скорости от времени	37
1.4.2	Закон движения	37
1.4.3	Прямолинейное равноускоренное движение	38
1.4.4	Свободное падение	39
1.4.5	Горизонтальный бросок	40
1.4.6	Бросок под углом к горизонту	41
1.5	Равномерное движение по окружности	42
1.5.1	Угловая скорость	42
1.5.2	Закон движения	43
1.5.3	Центростремительное ускорение	43
1.5.4	Почему ускорение направлено к центру окружности?	44
1.6	Путь при неравномерном движении	45
1.7	Первый закон Ньютона	48
1.7.1	Инерциальные системы отсчёта	48
1.7.2	Принцип относительности	49
1.8	Масса и плотность	50

1.9	Второй и третий законы Ньютона	51
1.9.1	Принцип суперпозиции	51
1.9.2	Второй закон Ньютона	51
1.9.3	Третий закон Ньютона	52
1.9.4	Как найти закон движения?	52
1.10	Сила упругости	54
1.10.1	Деформация	54
1.10.2	Закон Гука	54
1.10.3	Модуль Юнга	55
1.11	Сила тяготения	56
1.11.1	Закон всемирного тяготения	56
1.11.2	Сила тяжести	56
1.11.3	Вес тела. Невесомость	57
1.11.4	Искусственные спутники	59
1.12	Сила трения	60
1.12.1	Сухое трение	60
1.12.2	Вязкое трение	62
1.13	Статика твёрдого тела	63
1.13.1	Момент силы	64
1.13.2	Условия равновесия	64
1.14	Статика жидкостей и газов	67
1.14.1	Гидростатическое давление	67
1.14.2	Закон Паскаля	68
1.14.3	Гидравлический пресс	69
1.14.4	Закон Архимеда	69
1.14.5	Плавание тел	71
1.15	Импульс	73
1.15.1	Второй закон Ньютона в импульсной форме	73
1.15.2	Пример вычисления силы	75
1.15.3	Импульс системы тел	76
1.15.4	Закон сохранения импульса	77
1.15.5	Закон сохранения проекции импульса	78
1.16	Энергия	80
1.16.1	Работа	80
1.16.2	Мощность	81
1.16.3	Механическая энергия	82
1.16.4	Кинетическая энергия	82
1.16.5	Потенциальная энергия тела вблизи поверхности Земли	83
1.16.6	Потенциальная энергия деформированной пружины	84
1.16.7	Закон сохранения механической энергии	85
1.16.8	Закон изменения механической энергии	85
1.17	Простые механизмы	87
1.17.1	Рычаг	87
1.17.2	Неподвижный блок	87
1.17.3	Подвижный блок	88
1.17.4	Наклонная плоскость	88
1.17.5	Золотое правило механики	89
1.17.6	КПД механизма	90
1.18	Механические колебания	92
1.18.1	Гармонические колебания	92

1.18.2	Уравнение гармонических колебаний	94
1.18.3	Пружинный маятник	95
1.18.4	Математический маятник	96
1.18.5	Свободные и вынужденные колебания	97
1.19	Механические волны	99
1.19.1	Продольные и поперечные волны	99
1.19.2	Звук	100
2	Молекулярная физика и термодинамика	102
2.1	Основные положения МКТ	103
2.1.1	Атомы и молекулы	103
2.1.2	Тепловое движение атомов и молекул	104
2.1.3	Взаимодействие частиц вещества	105
2.2	Газы, жидкости и твёрдые тела	107
2.2.1	Газы	107
2.2.2	Твёрдые тела	107
2.2.3	Жидкости	109
2.3	Основные формулы молекулярной физики	110
2.4	Температура	112
2.4.1	Термодинамическая система	112
2.4.2	Тепловое равновесие	112
2.4.3	Температурная шкала. Абсолютная температура	113
2.5	Уравнение состояния идеального газа	114
2.5.1	Средняя кинетическая энергия частиц газа	114
2.5.2	Основное уравнение МКТ идеального газа	115
2.5.3	Энергия частиц и температура газа	115
2.5.4	Уравнение Менделеева — Клапейрона	116
2.6	Изопроцессы	117
2.6.1	Термодинамический процесс	117
2.6.2	Изотермический процесс	117
2.6.3	Графики изотермического процесса	118
2.6.4	Изобарный процесс	119
2.6.5	Графики изобарного процесса	120
2.6.6	Изохорный процесс	121
2.6.7	Графики изохорного процесса	122
2.7	Насыщенный пар	124
2.7.1	Испарение и конденсация	124
2.7.2	Динамическое равновесие	124
2.7.3	Свойства насыщенного пара	125
2.7.4	Влажность воздуха	126
2.8	Внутренняя энергия	128
2.8.1	Внутренняя энергия одноатомного идеального газа	128
2.8.2	Функция состояния	129
2.8.3	Изменение внутренней энергии: совершение работы	129
2.8.4	Изменение внутренней энергии: теплопередача	129
2.8.5	Теплопроводность	130
2.8.6	Конвекция	130
2.8.7	Тепловое излучение	131
2.9	Количество теплоты	133
2.9.1	Удельная теплоёмкость вещества	133

2.9.2	Уравнение теплового баланса	134
2.10	Фазовые переходы	135
2.10.1	Плавление и кристаллизация	135
2.10.2	График плавления	136
2.10.3	Удельная теплота плавления	137
2.10.4	График кристаллизации	138
2.10.5	Парообразование и конденсация	139
2.10.6	Кипение	140
2.10.7	График кипения	141
2.10.8	График конденсации	142
2.11	Первый закон термодинамики	143
2.11.1	Работа газа в изобарном процессе	143
2.11.2	Работа газа в произвольном процессе	144
2.11.3	Работа, совершаемая над газом	144
2.11.4	Первый закон термодинамики	145
2.11.5	Применение первого закона термодинамики к изопроцессам	145
2.11.6	Адиабатный процесс	146
2.12	Тепловые машины	147
2.12.1	Тепловые двигатели	147
2.12.2	Холодильные машины	149
2.12.3	Тепловая машина Карно	150
2.12.4	Тепловые двигатели и охрана окружающей среды	152
2.13	Второй закон термодинамики	153
2.13.1	Необратимость процессов в природе	153
2.13.2	Постулаты Клаузиуса и Кельвина	153
2.13.3	Эквивалентность постулатов Клаузиуса и Кельвина	154
2.13.4	Обратимые процессы	154
2.13.5	Обратимость машины Карно	155
3	Электродинамика	157
3.1	Электрический заряд	159
3.1.1	Два вида заряда	159
3.1.2	Электризация тел	160
3.1.3	Закон сохранения заряда	162
3.2	Закон Кулона	163
3.2.1	Принцип суперпозиции	164
3.2.2	Закон Кулона в диэлектрике	165
3.3	Напряжённость электрического поля	166
3.3.1	Дальнодействие и близкодействие	166
3.3.2	Электрическое поле	166
3.3.3	Напряжённость поля точечного заряда	167
3.3.4	Принцип суперпозиции электрических полей	169
3.3.5	Поле равномерно заряженной плоскости	170
3.3.6	Линии напряжённости электрического поля	171
3.4	Потенциал электрического поля	172
3.4.1	Консервативные силы	172
3.4.2	Потенциальность электростатического поля	173
3.4.3	Потенциальная энергия заряда в однородном поле	173
3.4.4	Потенциальная энергия взаимодействия точечных зарядов	175
3.4.5	Потенциал	175