

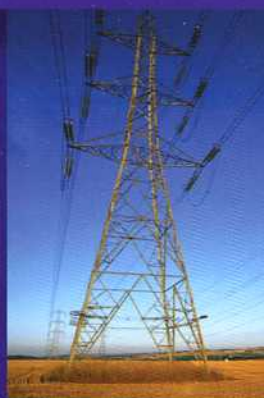
СПРАВОЧНИК

О.И. Громцева

ФГОС

ФИЗИКА

7 – 9 КЛАССЫ



ЭКЗАМЕН®

О.И. Громцева

ФИЗИКА

Справочник

7–9 классы

*Рекомендовано
Российской Академией Образования*

Издательство
«ЭКЗАМЕН»
МОСКВА • 2014

УДК 372.8:53
ББК 74.262.22
Г87

Громцева, О.И.

Г87 Физика. Справочник: 7–9 классы / О.И. Громцева. — М. : Издательство «Экзамен», 2014. — 191, [1] с. (Серия «Словари и справочники»)

ISBN 978-5-377-06934-8

Данное пособие полностью соответствует федеральному государственному образовательному стандарту (второго поколения).

Справочные материалы по физике для 7–9 классов составлены в соответствии с содержанием базового курса школы. В пособии приведено краткое изложение основного материала: законы, формулы, определения физических величин, единицы их измерения, сведения по астрономии, материалы из истории физики и справочные таблицы.

Справочник будет полезен для учащихся, готовящихся к государственной итоговой аттестации (ГИА) и к традиционному экзамену по физике за курс основной школы.

Приказом № 729 Министерства образования и науки Российской Федерации учебные пособия издательства «Экзамен» допущены к использованию в общеобразовательных учреждениях.

УДК 372.8:53
ББК 74.262.22

Подписано в печать 26.08.2013 г. Формат 60х90/16. Гарнитура «Таймс».
Бумага газетная. Уч.-изд. л. 5,09. Усл. печ. л. 12,0.
Тираж 10 000 экз. Заказ № 2752

ISBN 978-5-377-06934-8

© Громцева О.И., 2014
© Издательство «ЭКЗАМЕН», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	11
Измерительные приборы.....	12
Основные единицы Международной системы единиц СИ.....	16
Приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц.....	17
Единицы измерения в СИ и их связь с дополнительными единицами	18
2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ	20
2.1. Кинематика	20
2.1.1. Механическое движение	20
Единицы измерения длины.....	20
2.1.2. Равномерное прямолинейное движение	21
Единицы измерения скорости	21
2.1.3. Графики кинематических величин при равномерном прямолинейном движении	22
Геометрический смысл перемещения.....	22
2.1.4. Относительность механического движения	23
Частные случаи сложения скоростей.....	23
Частные случаи определения относительной скорости	24
2.1.5. Равноускоренное прямолинейное движение	24
Единицы измерения ускорения	25
Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении.....	25
Уравнения проекции скорости, проекции перемещения и координаты.....	25
2.1.6. Графики кинематических величин при равноускоренном прямолинейном движении	26
Кинематические величины, которые можно узнать по графику зависимости скорости от времени.....	27
2.1.7. Свободное падение	28
Мгновенная скорость при свободном падении.....	28
Перемещение при свободном падении	28
Перемещение в n -ю секунду свободного падения.....	29
Уравнения проекции скорости, проекции перемещения и координаты.....	29

2.1.8. Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью	29
Величины, характеризующие движение по окружности с постоянной по модулю скоростью	30
2.1.9. Обобщающая таблица по теме «Кинематика»	30
2.2. Динамика	33
2.2.1. Законы Ньютона	33
Единицы измерения массы, объёма и плотности	33
2.2.2. Сила всемирного тяготения	35
2.2.3. Сила тяжести	36
2.2.4. Искусственные спутники	36
2.2.5. Сила упругости	37
2.2.6. Силы трения	38
2.2.7. Вес тела	39
Формулы для расчёта веса	39
2.2.8. Обобщающая таблица по теме «Динамика»	40
2.3. Законы сохранения	43
2.3.1. Закон сохранения импульса	43
Частные случаи закона сохранения импульса	43
2.3.2. Реактивное движение	44
2.3.3. Механическая работа	44
2.3.4. Мощность силы	45
2.3.5. Механическая энергия	45
2.3.6. Закон сохранения энергии	46
Превращения энергии	46
2.3.7. Обобщающая таблица по теме «Законы сохранения»	47
2.4. Статика	49
2.4.1. Виды равновесия	49
2.4.2. Момент силы	49
2.4.3. Условие равновесия рычага	50
2.4.4. Простые механизмы	50
2.4.5. Коэффициент полезного действия	51
КПД простых механизмов	51
2.4.6. Давление	51
2.5. Гидростатика	53
2.5.1. Сообщающиеся сосуды	53
2.5.2. Гидравлический пресс	54

2.5.3. Атмосферное давление.....	54
2.5.4. Сила давления.....	55
2.5.5. Гидростатический парадокс.....	56
2.5.6. Архимедова сила.....	56
Разные способы расчёта архимедовой силы.....	56
2.5.7. Условия плавания тел.....	57
Тело плавает на поверхности.....	57
2.5.8. Воздухоплавание.....	58
2.5.9. Обобщающая таблица по теме «Статика и гидростатика».....	59
2.6. Механические колебания и волны.....	61
2.6.1. Механические колебания.....	61
2.6.2. Гармонические колебания.....	61
Закон гармонических механических колебаний.....	61
Графики колебательного процесса.....	62
Математический маятник.....	62
Пружинный маятник.....	63
2.6.3. Вынужденные механические колебания.....	64
2.6.4. Механические волны.....	65
2.6.5. Звуковые волны.....	65
Частота колебаний крыльев насекомых и птиц в полёте.....	66
Частотный диапазон голосов певцов и певиц.....	66
Уровень шума.....	67
Скорость звука.....	68
2.6.6. Обобщающая таблица по теме «Механические колебания и волны».....	69
3. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ.....	71
3.1. Строение вещества.....	71
3.1.1. Атомистическая теория.....	71
3.1.2. Основные сведения о строении вещества.....	71
Свойства вещества в разных агрегатных состояниях.....	72
Строение твёрдых, жидких и газообразных веществ.....	72
Температурные шкалы.....	73
3.2. Изменение агрегатных состояний вещества.....	73
3.2.1. Внутренняя энергия.....	73
3.2.2. Виды теплопередачи.....	74

3.2.3. Количество теплоты.....	74
Нагревание и охлаждение вещества.....	74
3.2.4. Теплообмен	75
3.2.5. Сгорание топлива	75
Коэффициент полезного действия (КПД) нагревателя	76
3.2.6. Агрегатные (фазовые) переходы.....	76
3.2.7. Тепловые процессы при нагревании и охлаждении	78
3.2.8. Испарение.....	79
3.2.9. Влажность воздуха.....	79
Измерение относительной влажности воздуха	80
3.2.10 Тепловые машины	81
Коэффициент полезного действия	81
Четыре такта работы двигателя внутреннего сгорания.....	82
3.2.11. Обобщающая таблица по теме «Тепловые явления»	83
4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ	85
4.1. Электростатика	85
4.1.1. Электрический заряд. Электрическое поле.....	85
Электрическое поле.....	85
4.1.2. Делимость электрического заряда	86
4.1.3. Открытие электрона	86
4.1.4. Конденсатор	87
4.2. Постоянный ток	88
4.2.1. Постоянный электрический ток.....	88
Графическое изображение некоторых элементов электрической цепи.....	88
Действительное и условное направления тока	88
4.2.2. Закон Ома.....	89
4.2.3. Вольтамперная характеристика	90
4.2.4. Законы последовательного и параллельного соединения проводников	90
Измерительные приборы.....	91
4.2.5. Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля — Ленца	91
4.2.6. Коэффициент полезного действия	92
4.2.7. Обобщающая таблица по теме «Электрические явления».....	93

5. МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ	97
5.1. Магнитное поле	97
5.1.1. Вектор магнитной индукции	98
Способы определения направления вектора магнитной индукции	98
Обозначения направлений векторов	99
5.1.2. Силовые линии магнитного поля	99
Магнитное поле создано прямолинейным током	99
Магнитное поле кругового тока	99
5.1.3. Сила Ампера	100
Взаимодействие параллельных токов	100
5.2. Электромагнитная индукция	101
5.2.1. Открытие электромагнитной индукции	101
Опыты М. Фарадея	101
5.2.2. Передача электроэнергии на большие расстояния. Трансформатор	102
5.3. Электромагнитные колебания	103
5.4. Электромагнитные волны	104
Шкала электромагнитных волн	104
5.4.1. Обобщающая таблица по теме «Магнитные явления»	106
6. СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ	108
6.1. Геометрическая оптика	108
6.1.1. Прямолинейное распространение света	108
6.1.2. Закон отражения света	109
6.1.3. Закон преломления света	110
Частные случаи закона преломления	111
6.1.4. Линзы	111
Виды линз.....	111
Основные точки и линии собирающей линзы.....	112
Ход лучей в собирающей линзе	112
Изображение, даваемое собирающей линзой.....	113
Основные точки и линии рассеивающей линзы	113
Ход лучей в рассеивающей линзе	113
Изображение, даваемое рассеивающей линзой	114
6.1.5. Оптическая сила	114
6.1.6. Формула тонкой линзы	115

Частные случаи формулы тонкой линзы	115
6.1.7. Глаз	116
Дефекты зрения и их коррекция	117
6.1.8. Свет и цвет	117
6.1.9. Обобщающая таблица по теме «Оптика»	118
7. КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ	120
7.1. Строение атома и атомного ядра	120
7.1.1. Строение атома	120
Опыт Э. Резерфорда	120
Планетарная модель атома Э. Резерфорда	121
Схемы атомов	121
7.1.2. Ядерные силы	121
Изотопы водорода	122
7.1.3. Радиоактивность	122
Виды радиоактивных излучений	123
7.1.4. Ядерные реакции	124
7.1.5. Обобщающая таблица по теме «Квантовая физика»	125
8. ЭЛЕМЕНТЫ АСТРОНОМИИ	127
8.1. Солнечная система	127
8.1.1. Солнце	127
8.1.2. Планеты земной группы	128
8.1.3. Пояс астероидов (малые планеты)	128
8.1.4. Планеты-гиганты	129
8.1.5. Второй пояс астероидов	129
8.1.6. Луна	130
8.1.7. Кометы	130
8.1.8. Метеорные тела	131
8.2. Звёзды	132
Условия равновесия звезды	132
Спектральный класс и температура	132
Эволюция звёзд	133
Переменные и нестационарные звёзды	134
8.2.1. Состав и структура Галактики Млечный Путь	135
8.2.2. Основные типы галактик	137
8.2.3. Вселенная	138

9. СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ	140
9.1. История открытия закона всемирного тяготения	140
9.2. Из истории космонавтики	142
9.3. Открытия в области статики и гидростатики	144
9.4. Первые воздухоплаватели	145
9.5. Открытия в области тепловых явлений	146
Открытие броуновского движения	146
9.6. Из истории открытия электричества и магнетизма	147
9.7. Открытие атома и атомного ядра.....	151
9.8. Открытие радиоактивности	152
ПРИЛОЖЕНИЕ	154
Справочные таблицы	154
1. Физические постоянные.....	154
2. Латинский алфавит.....	155
3. Латинский алфавит и обозначение физических величин	155
4. Греческий алфавит.....	157
5. Греческий алфавит и обозначение физических величин.....	158
6. Десятичные приставки	160
7. Математические преобразования десятичных приставок	161
8. Единицы длины	161
9. Самый, самый	161
10. Скорости движения в природе и технике.....	162
11. Самый, самый... ..	163
12. Плотность твёрдых тел.....	163
13. Плотность жидкостей (при 20 °С).....	166
14. Плотность газов (при 20 °С и нормальном атмосферном давлении).....	167
15. Космические скорости для Земли.....	167
16. Некоторые астрономические величины	168
17. Характеристики некоторых тел Солнечной системы	168
18. Скорость распространения звука	168
19. Самый, самый	171
20. Удельная теплоёмкость вещества	172
21. Удельная теплота сгорания топлива	172
22. Удельная теплота сгорания некоторых пищевых продуктов	173

23. Температура плавления и кристаллизации (при давлении 760 мм рт. ст. или 101,3 кПа)	174
24. Удельная теплота плавления	176
25. Температура кипения воды при различных значениях давления ниже атмосферного	177
26. Температура кипения воды при различных значениях давления выше нормального атмосферного	178
27. Температура кипения (при давлении 760 мм рт. ст. или 101,3 кПа).....	179
28. Удельная теплота парообразования (при давлении 760 мм рт. ст. или 101,3 кПа)	180
29. Давление насыщенного водяного пара и его плотность при различных значениях температуры	181
30. Психрометрическая таблица	182
31. Диэлектрическая проницаемость некоторых веществ.....	183
32. Удельное электрическое сопротивление (при 20 °С)	184
33. Мощность различных электрических устройств	184
34. Показатель преломления некоторых веществ	185
35. Масса покоя частиц.....	185
36. Относительная атомная масса некоторых изотопов	185
37. Периоды полураспадов радиоизотопов	186
38. Энергия покоя частиц	187
39. Энергия покоя ядер	187
40. Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева.....	188
41. Некоторые математические формулы.....	190
42. Свойства треугольника	190
43. Значения тригонометрических функций некоторых углов	191

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Для обозначения физических величин используются буквы латинского и греческого алфавитов (см. таблицы № 3, 5 Приложения).

Скалярные величины — величины, которые полностью характеризуются числовым значением и единицей измерения. Например: время, путь, масса, температура, сила тока и т. д.

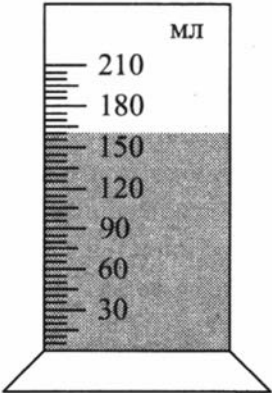
Векторные величины — величины, которые полностью характеризуются числовым значением, единицей измерения и направлением в пространстве. Например: перемещение, скорость, ускорение, сила, импульс и т. д.

$$\begin{aligned} \text{Каждая физическая величина} &= \\ &= \text{Числовое значение} \times \text{Единица измерения} \end{aligned}$$

Измерение физической величины:

для определения числового значения необходимо с помощью измерительного прибора сравнить физическую величину с однородной величиной, принятой за единицу измерения.

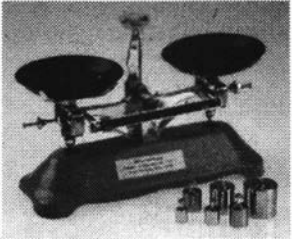
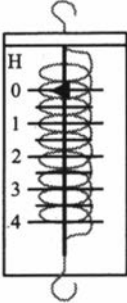

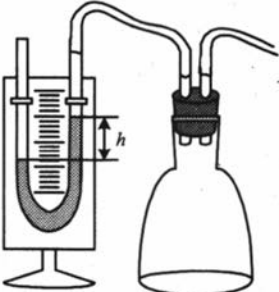
$$\begin{aligned} \text{Результат измерений физической величины} &= \\ &= \text{Видимый результат} \pm \text{Погрешность} \end{aligned}$$

Пример измерительного прибора	Характеристики прибора и результат измерений
	<p>Единица измерения — мл Предел измерений — 210 мл Цена деления — расстояние между <u>ближайшими</u> штрихами, выраженное в единицах измерения данного прибора, — 5 мл Видимый результат — 160 мл Погрешность измерения — если нет специальных указаний, то это половина от цены деления — 2,5 мл Результат измерений: $160 \pm 2,5$ мл</p>

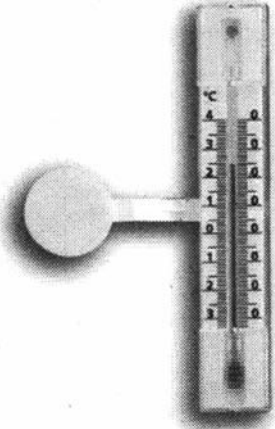


Для определения цены деления следует найти разность между двумя ближайшими оцифрованными делениями (в вышеприведённом примере $60 - 30$) и разделить на количество делений (в данном случае на 6). Получаем $(60 - 30) : 6 = 5$.

Измерительные приборы

Название прибора, что измеряет	Внешний вид прибора	Примечание
Амперметр измеряет силу тока		Включается в цепь последовательно; «+» источника присоединяется к «+» амперметра
Барометр измеряет атмосферное давление		Определяет давление и в паскалях, и в миллиметрах ртутного столба
Вольтметр измеряет напряжение		Включается параллельно к изучаемому элементу цепи; «+» источника присоединяется к «+» вольтметра

Название прибора, что измеряет	Внешний вид прибора	Примечание
Весы измеряют массу тел		Перед взвешивани- ем обязательно уравновесьте весы
Динамометр изме- ряет силу (в том числе вес)		Подвесив груз, оп- ределяем числовые значения сразу трёх сил: силу упругости, силу тяжести и вес тела
Линейка измеряет длину		Для больших рас- стояний можно ис- пользовать разно- видность линейки: рулетку
Манометр (жидко- стный) измеряет давление, отли- чающееся от атмо- сферного		Если уровни жидко- сти в двух коленах манометра равны, то давление газа в кол- бе равно атмосфер- ному. В данном случае давление га- за в колбе <u>меньше</u> атмосферного на $ρgh$, где $h(м)$ — раз- ность в уровнях

<p>Название прибора, что измеряет</p>	<p>Внешний вид прибора</p>	<p>Примечание</p>
<p>Металлический манометр измеряет давление, отличающееся от атмосферного</p>		<p>Необходимо учитывать, что манометры могут быть проградуированы в мм рт.ст., в атм., в Па</p>
<p>Психрометр позволяет определить относительную влажность воздуха</p>		<p>Для определения относительной влажности воздуха необходимо определить показания сухого и влажного термометров и воспользоваться психрометрической таблицей</p>

Название прибора, что измеряет	Внешний вид прибора	Примечание
Термометр служит для определения температуры		Температура может измеряться не только в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), но и в Кельвинах (К) и в градусах Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$)
Секундомер измеряет время		Маленький циферблат секундомера измеряет количество минут
Спидометр определяет числовое значение скорости		Обычно спидометры определяют скорость в км/ч

Название прибора, что измеряет	Внешний вид прибора	Примечание
Мензурка измеряет объём жидкости.		Мензуркой также можно измерить объём твёрдого тела неправильной формы

Основные единицы Международной системы единиц СИ

Наименование величины	Наименование единицы измерения	Определение
Длина	метр (м)	Метр — это длина пути, проходимого светом в вакууме за $1 / 299\,792\,458$ секунды
Время	секунда (с)	Секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133
Масса	килограмм (кг)	Килограмм равен массе международного прототипа килограмма. Это цилиндр диаметром и высотой 39,17 мм, изготовленный из сплава платины и иридия (90 % платины, 10 % иридия)

Наименование величины	Наименование единицы измерения	Определение
Сила тока	ампер (А)	Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 метр один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 метр силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

**Приставки для образования десятичных кратных
и дольных единиц**
(подробнее см. таблицы 6, 7 Приложения)

Приставки	Обозначение	Математические действия	
		Умножить на	Разделить на
мега	М	1 000 000 или 10^6	
кило	к	1000 или 10^3	
деци	д	0,1 или 10^{-1}	10
санти	с	0,01 или 10^{-2}	100
мили	м	0,001 или 10^{-3}	1000
микро	мк	0,000001 или 10^{-6}	1 000 000

**Единицы измерения в СИ и их связь
с дополнительными единицами**

Название	СИ	Дополнительные единицы
Длина	м	$1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$ $1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$ $1 \text{ дм} = 10^{-1} \text{ м}$ $1 \text{ км} = 10^3 \text{ м}$
Площадь	м^2	$1 \text{ мм}^2 = (10^{-3} \text{ м})^2 = 10^{-6} \text{ м}^2$ $1 \text{ см}^2 = (10^{-2} \text{ м})^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$ $1 \text{ дм}^2 = (10^{-1} \text{ м})^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$
Объём	м^3	$1 \text{ мм}^3 = (10^{-3} \text{ м})^3 = 10^{-9} \text{ м}^3$ $1 \text{ см}^3 = (10^{-2} \text{ м})^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$ $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3 = (10^{-1} \text{ м})^3 = 10^{-3} \text{ м}^3$
Время	с	$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$ $1 \text{ час} = 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с} = 3600 \text{ с}$ $1 \text{ сутки} = 24 \text{ ч} \cdot 3600 \text{ с} = 86400 \text{ с}$ $1 \text{ год} = 365 \text{ сут} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 3600 \text{ с}$
Скорость	м/с	$1 \text{ км/ч} = 10^3 \text{ м}/3600 \text{ с}$ $1 \text{ см/с} = 10^{-2} \text{ м/с}$ $1 \text{ км/с} = 10^3 \text{ м/с}$
Ускорение	м/с^2	$1 \text{ мм/с}^2 = 10^{-3} \text{ м/с}^2$ $1 \text{ см/с}^2 = 10^{-2} \text{ м/с}^2$ $1 \text{ км/с}^2 = 10^3 \text{ м/с}^2$
Масса	кг	$1 \text{ мг} = 10^{-6} \text{ кг}$ $1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг}$ $1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг}$
Плотность	кг/м^3	$\rho (\text{г/см}^3) \cdot 1000 = \rho (\text{кг/м}^3)$
Сила	$\text{Н} = \text{кг} \cdot \text{м/с}^2$	
Работа, энергия, количество теплоты	$\text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м} =$ $= \text{кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$	$1 \text{ кВт} \cdot \text{час} = 1000 \cdot 3600 \text{ Дж}$ $1 \text{ эВ} = \frac{1 \text{ Дж}}{1,6 \cdot 10^{-19}}$

Название	СИ	Дополнительные единицы
Мощность	$\text{Вт} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} =$ $= \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} =$ $= \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3}$	
Давление	$\text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} =$ $= \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$	1 мм рт.ст. \approx 133 Па 1 атм. = 10^5 Па
Температура		°С

2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

2.1. Кинематика

2.1.1. Механическое движение

Механическое движение — изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

По характеру движения точек различают три вида движения:

а) **поступательное** — это движение, при котором все точки тела движутся одинаково и любая прямая, мысленно проведённая в теле, остаётся параллельна сама себе;

б) **вращательное** движение, при котором все точки тела движутся по окружностям;

в) **колебательное** — движение, которое повторяется или почти повторяется. В отличие от вращательного движения колебательное происходит в двух взаимно противоположных направлениях.

По виду траектории различают **прямолинейное** и **криволинейное** движения (частный случай криволинейного движения — движение по окружности); по скорости — **равномерное** и **неравномерное**; по ускорению — **равноускоренное**, **равнозамедленное**, **ускоренное**.

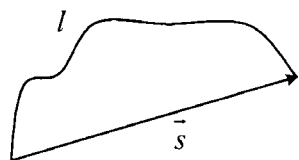


Рис. 2.1

Траектория — линия, вдоль которой движется тело.

Путь l (м) — длина траектории (рис. 2.1).

Перемещение \vec{s} (м) — это вектор, соединяющий начальное положение тела с конечным.

Единицы измерения длины

Дополнительные единицы	Перевод в СИ
1 мм	$1 \text{ мм} = \frac{1}{1000} \text{ м} = 10^{-3} \text{ м}$
1 см	$1 \text{ см} = \frac{1}{100} \text{ м} = 10^{-2} \text{ м}$
1 км	$1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$

Средняя скорость $v_{\text{ср}}$ (м/с) переменного движения равна отношению пройденного пути ко всему времени движения (см. таблицу 10 Приложения):

$$v_{\text{ср}} = \frac{l}{t},$$

где l (м) — весь путь, пройденный телом,

t (с) — всё время движения,

$v_{\text{ср}}$ (м/с) — средняя скорость.

2.1.2. Равномерное прямолинейное движение

Равномерное прямолинейное движение — движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает равные перемещения. Другими словами, это движение по прямой с постоянной скоростью. При таком движении путь равен длине перемещения:

$$l = s.$$

Скорость равномерного прямолинейного движения \vec{v} (м/с) — векторная физическая величина, которая показывает, какое перемещение совершило тело за единицу времени.

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t},$$

где \vec{s} (м) — вектор перемещения,

t (с) — время движения.

Единицы измерения скорости

Дополнительные единицы	Перевод в СИ
$1 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$	$1 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}}$
$1 \frac{\text{км}}{\text{с}}$	$1 \frac{\text{км}}{\text{с}} = \frac{1000 \text{ м}}{\text{с}}$
$1 \frac{\text{см}}{\text{с}}$	$1 \frac{\text{см}}{\text{с}} = \frac{1 \text{ м}}{100 \text{ с}} = 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$1 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$	$1 \frac{\text{м}}{\text{мин}} = \frac{1 \text{ м}}{60 \text{ с}}$

2.1.3. Графики кинематических величин при равномерном прямолинейном движении

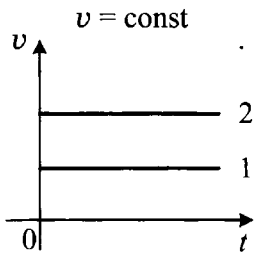


Рис. 2.2

Графики скорости при равномерном прямолинейном движении представляют собой прямые, параллельные оси времени (рис. 2.2). Чем дальше график располагается от оси времени (прямая 2), тем больше числовое значение скорости.

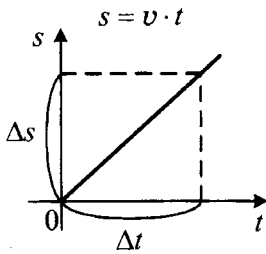
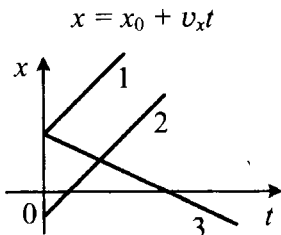


Рис. 2.3

График перемещения (пути) при равномерном прямолинейном движении представляет собой прямую, выходящую из начала координат (рис. 2.3).

По графику перемещения можно вычислить скорость:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$



Графики координаты — при равномерном прямолинейном движении представляют собой прямые, выходящие из разных точек и под разными углами (рис. 2.4). Если графики координат пересекаются (например, прямые 2 и 3), то точка пересечения позволяет определить место и время встречи.

Геометрический смысл перемещения

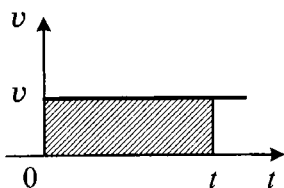


Рис. 2.5

Для определения пути или модуля перемещения при равномерном прямолинейном движении необходимо вычислить площадь фигуры под графиком (рис. 2.5) в осях (v, t) :

$$s = S_{\text{фигуры}}.$$

2.1.4. Относительность механического движения

Под *относительностью механического движения* понимают зависимость чего-либо от выбора системы отсчёта. Например: покой относителен; движение относительно; положение тела относительно.

Правило сложения перемещений — векторная сумма перемещений:

$$\vec{s}' = \vec{s}_1 + \vec{s}_2,$$

где \vec{s}_1 — перемещение тела относительно подвижной системы отсчёта;

\vec{s}_2 — перемещение подвижной системы отсчёта относительно неподвижной системы отсчёта;

\vec{s}' — перемещение тела относительно неподвижной системы отсчёта.

Правило сложения скоростей — векторная сумма скоростей:

$$\vec{v}' = \vec{v} + \vec{u},$$

где \vec{v} — скорость тела относительно подвижной системы отсчёта;

\vec{u} — скорость подвижной системы отсчёта относительно неподвижной системы отсчёта;

\vec{v}' — скорость тела относительно неподвижной системы отсчёта.

Частные случаи сложения скоростей

Тело плывёт по течению: $\vec{v} \uparrow \uparrow \vec{u}$ $v' = v + u$	Тело плывёт против течения: $\vec{v} \uparrow \downarrow \vec{u}$ $v' = v - u$	Тело плывёт перпендикулярно течению: $\vec{v} \perp \vec{u}$ $v' = \sqrt{v^2 + u^2}$
Катер движется по озеру: $v' = v,$ так как $u = 0$	Лодка плывёт в стоячей воде: $v' = v,$ так как $u = 0$	Пассажир поднимается по неподвижному эскалатору: $v' = v,$ так как $u = 0$
Плот плывёт по течению реки: $v' = u,$ так как $v = 0$	Катер движется с выключенным двигателем: $v' = u,$ так как $v = 0$	Эскалатор поднимает неподвижно стоящего пассажира: $v' = u,$ так как $v = 0$

Относительная скорость — это векторная разность скоростей:

$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2 = \vec{v}_{12},$$

где $\vec{v}_{\text{отн}}$ — скорость первого тела относительно второго (относительная скорость);

\vec{v}_1 — скорость первого тела;

\vec{v}_2 — скорость второго тела.

Учтите: $v_{21x} = v_{2x} - v_{1x}$ — проекция скорости второго тела относительно первого.

Частные случаи определения относительной скорости

<p>Тела движутся в одном направлении:</p> $\vec{v}_1 \uparrow \uparrow \vec{v}_2$ $v_{\text{отн}} = v_1 - v_2 $	<p>Тела движутся навстречу друг другу:</p> $\vec{v}_1 \uparrow \downarrow \vec{v}_2$ $v_{\text{отн}} = v_1 + v_2$	<p>Скорости тел перпендикулярны друг другу:</p> $\vec{v}_1 \perp \vec{v}_2$ $v_{\text{отн}} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$
--	---	---

2.1.5. Равноускоренное прямолинейное движение

Равноускоренное прямолинейное движение — движение по прямой с постоянным ускорением ($\vec{a} = \text{const}$).

Ускорение \vec{a} (м/с^2) — векторная физическая величина, которая показывает, насколько изменяется скорость тела за 1 с:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}.$$

При рассмотрении равноускоренного прямолинейного движения одного тела можно от векторных значений перейти к модулям скоростей:

$$\pm a = \frac{v - v_0}{t},$$

где a (м/с^2) — ускорение тела,

v_0 (м/с) — модуль начальной скорости тела,

v (м/с) — модуль конечной скорости тела:

$$v = v_0 \pm at,$$

$v = v - v_0$ (м/с) — изменение скорости,

t (с) — интервал времени:

$$t = \frac{v - v_0}{\pm a},$$

+ a , если скорость увеличивается по модулю,

- a , если скорость уменьшается по модулю.

Единицы измерения ускорения

Дополнительные единицы	Перевод в СИ
$1 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$	$1 \frac{\text{см}}{\text{с}^2} = \frac{1 \text{ м}}{100 \text{ с}^2} = 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
$1 \frac{\text{км}}{\text{с}^2}$	$1 \frac{\text{км}}{\text{с}^2} = \frac{1000 \text{ м}}{1 \text{ с}^2} = 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2},$$

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{\pm 2a},$$

$$s = \frac{(v + v_0^2)}{\pm 2a},$$

где s (м) — модуль перемещения,

v_0 (м/с) — модуль начальной скорости,

v (м/с) — модуль конечной скорости,

t (с) — время движения,

$\pm a$ (м/с²) — ускорение.

Уравнения проекции скорости, проекции перемещения и координаты

$$v_x = v_{0x} \pm a_x t,$$

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2},$$

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2},$$

где v_x (м/с) — проекция конечной скорости на ось OX ,

v_{0x} (м/с) — проекция начальной скорости на ось OX ,

a_x (м/с²) — проекция ускорения на ось OX ,

t (с) — время движения,

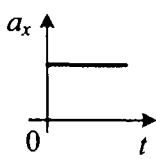
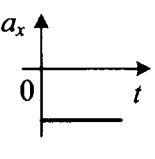
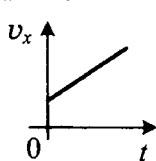
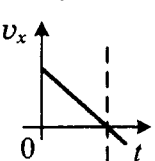
s_x (м) — проекция перемещения на ось OX ,

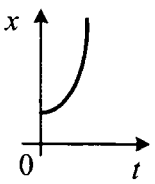
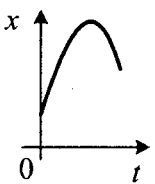
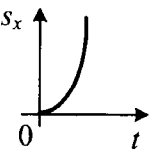
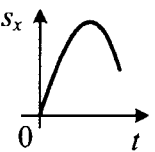
x (м) — координата тела в данный момент времени,

x_0 (м) — начальная координата тела.

Для определения знаков проекций начальной скорости и ускорения следует сравнивать направления этих векторов с направлением выбранной оси OX . Если направление вектора совпадает с направлением оси OX , то проекция положительна; если противоположно, то отрицательна.

2.1.6. Графики кинематических величин при равноускоренном прямолинейном движении

	Равноускоренное движение	Равнозамедленное движение
	$\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{v}_0, \vec{v}_0 \uparrow \uparrow OX$	$\vec{a} \uparrow \downarrow \vec{v}_0, \vec{v}_0 \uparrow \uparrow OX$
$a_x(t)$	$a_x = \text{const},$ 	$a_x = \text{const},$ 
$v_x(t)$	$v_x = v_0 + at$ 	$v_x = v_0 - at$ 

	Равноускоренное движение	Равнозамедленное движение
$x(t)$	$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$ 	$x = x_0 + v_0 t - \frac{at^2}{2}$ 
$s_x(t)$	$s_x = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ 	$s_x = v_0 t - \frac{at^2}{2}$ 

Кинематические величины, которые можно узнать по графику зависимости скорости от времени

Ускорение (рис. 2.6):

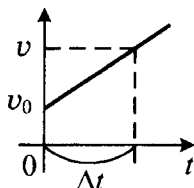


Рис. 2.6

$$\pm a = \frac{v - v_0}{\Delta t},$$

где v_0 (м/с) — начальная скорость,

v (м/с) — конечная скорость,

Δt (с) — интервал времени.

Мгновенная скорость при равноускоренном движении (см. рис. 2.6):

$$v = v_0 \pm at.$$

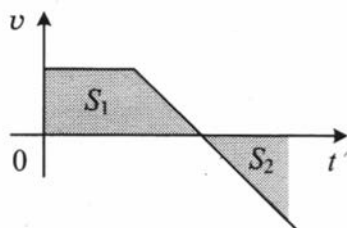


Рис. 2.7

Перемещение (рис. 2.7): при движении вдоль оси OX перемещение будет равно площади S_1 , перемещение при движении против оси OX — S_2 .

Модуль перемещения:

$$s = |S_1 - S_2|$$

Путь:

$$l = S_1 + S_2$$

2.1.7. Свободное падение

Свободное падение — пример равноускоренного прямолинейного движения. Свободное падение происходит под действием только *силы тяжести*.

Свободное падение — свободно от сопротивления воздуха.

Все тела, независимо от массы, падают в вакууме с одинаковым ускорением. Ускорение свободного падения всегда направлено вниз, к центру Земли, и равно $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, принято округлять до $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Мгновенная скорость при свободном падении

$$v = v_0 \pm gt,$$

где v_0 (м/с) — модуль начальной скорости,

v (м/с) — модуль конечной скорости,

t (с) — время падения,

$g = 10 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения,

$+g$ — при движении вниз,

$-g$ — при движении вверх.

Перемещение при свободном падении

$$s = v_0 t \pm \frac{gt^2}{2},$$

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{\pm 2g},$$

$$s = \frac{(v + v_0)t}{2},$$

где s (м) — перемещение,

v_0 (м/с) — модуль начальной скорости,

v (м/с) — модуль конечной скорости,

t (с) — время движения.

Перемещение в n -ю секунду свободного падения ($v_0 = 0$)

$$s_n = s(n) - s(n-1),$$

$$\text{где } s(n) = \frac{gn^2}{2}; \quad s(n-1) = \frac{g(n-1)^2}{2}.$$

Уравнения проекции скорости, проекции перемещения и координаты

$$v_y = v_{0y} \pm g_y t,$$

$$s_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2},$$

$$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2},$$

где v_{0y} (м/с) — проекция начальной скорости на ось OY ,

v_y (м/с) — проекция конечной скорости на ось OY ,

g_y (м/с²) — проекция ускорения на ось OY ,

t (с) — время движения,

s_y (м) — проекция перемещения на ось OY ,

y_0 (м) — начальная высота тела,

y (м) — конечная высота тела.

Для определения знаков проекций начальной скорости и ускорения следует сравнивать направления этих векторов с направлением выбранной оси OY . Если направление вектора совпадает с направлением оси OY , то проекция положительна; если противоположно, то отрицательна.

2.1.8. Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью

Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью — простейший вид криволинейного движения (рис. 2.8). Траекторией такого движения является окружность.

Модуль скорости не изменяется. Вектор скорости всегда направлен по касательной к окружности.

Направление скорости постоянно изменяется.

Ускорение, которое изменяет направление скорости, называют **центростремительным**.

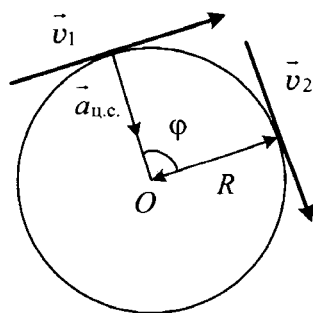


Рис. 2.8

Центростремительное ускорение не меняет модуля скорости.
 Центростремительное ускорение направлено к центру окружности.

Величины, характеризующие движение по окружности с постоянной по модулю скоростью

Обозначим: t (с) — время; N — число оборотов; R (м) — радиус окружности.

Период T (с) — время одного полного оборота:

$$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\nu}$$

Частота ν (Гц) — число полных оборотов за 1 с:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{N}{t}$$

Линейная скорость v (м/с) — показывает, какой путь проходит тело за 1 с:

$$v = \frac{l}{t} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu = \omega R.$$

Угловая скорость ω (рад/с) — показывает, на какой угол поворачивает тело за 1 с:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu = \frac{v}{R}$$

Центростремительное ускорение $a_{ц.с.}$ (м/с²) — изменяет направление вектора скорости:

$$a_{ц.с.} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 R\nu^2.$$

2.1.9. Обобщающая таблица по теме «Кинематика»

Физическая величина	Формула
Равномерное прямолинейное движение	
Ускорение	$\vec{a} = 0$
Модуль скорости	$v = \frac{s}{t}$
Уравнение координаты	$x = x_0 + v_0 t$
В момент встречи	$x_1 = x_2$

Физическая величина	Формула
Равноускоренное прямолинейное движение	
Ускорение	$\pm a = \frac{v - v_0}{t}$ $\pm a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
Время движения	$t = \frac{v - v_0}{\pm a}$
Скорость	$v = v_0 \pm at$
Перемещение $l = s$	$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2};$ $s = \frac{v^2 - v_0^2}{\pm 2a};$ $s = \frac{(v_0 + v)t}{2}.$
Свободное падение (вертикальный бросок)	
Ускорение	$g = 9,8 \text{ м/с}^2 \approx 10 \text{ м/с}^2$
Мгновенная скорость	$v = v_0 \pm gt$
Перемещение	$s = h = v_0 t \pm \frac{gt^2}{2}$
Путь в n -ю секунду ($v_0 = 0$)	$s_n = s(n) - s(n - 1),$ <p>где $s(n) = \frac{gn^2}{2};$</p> $s(n - 1) = \frac{g(n - 1)^2}{2}$
Период	$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\nu}$

Физическая величина	Формула
Равномерное движение по окружности	
Частота	$\nu = \frac{1}{T} = \frac{N}{t}$
Линейная скорость	$v = \frac{l}{t} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu = \omega R$
Угловая скорость	$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu = \frac{v}{R}$
Центростремительное ускорение	$a_{\text{ц.с.}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 R\nu^2$

2.2. Динамика

2.2.1. Законы Ньютона

Инертность — физическое свойство, заключающееся в том, что любое тело оказывает сопротивление изменению его скорости (как по модулю, так и по направлению).

Проявление инертности чаще всего наблюдается в движущемся транспорте. Например, при резком увеличении скорости все пассажиры отклоняются назад; при торможении — вперёд; при повороте направо все отклоняются налево и т. д.

Масса m (кг) — скалярная физическая величина, являющаяся мерой инертности тела. Измерительный прибор — *весы*.

Плотность ρ (кг/м³) — масса одного кубического метра данного вещества (см. табл. № 12—14 Приложения).

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где m (кг) — масса, V (м³) — объём,

$$V = Sl,$$

где S (м²) — площадь сечения, l (м) — длина,

$$V = abc,$$

где a (м), b (м), c (м) — стороны прямоугольного параллелепипеда.

При одинаковом объёме большую массу имеет тело с максимальной плотностью.

При одинаковой массе больший объём у тела с минимальной плотностью.

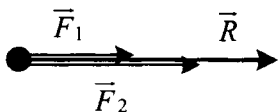
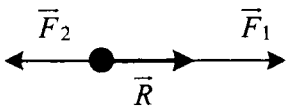
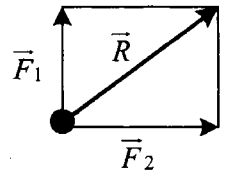
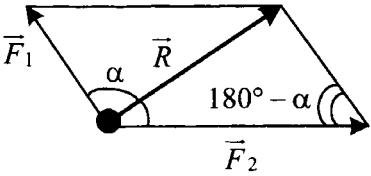
Единицы измерения массы, объёма и плотности

Масса	Объём	Плотность
$1 \text{ Т} = 1000 \text{ кг}$ $1 \text{ г} = \frac{1}{1000} \text{ кг} =$ $= 10^{-3} \text{ кг}$ $1 \text{ мг} = \frac{1}{1000000} \text{ кг} =$ $= 10^{-6} \text{ кг}$	$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3 = \frac{1}{10 \cdot 10 \cdot 10} \text{ м}^3 =$ $= 10^{-3} \text{ м}^3$ $1 \text{ см}^3 = \frac{1}{100 \cdot 100 \cdot 100} \text{ м}^3 =$ $= 10^{-6} \text{ м}^3$ $1 \text{ мм}^3 = \frac{1}{1000 \cdot 1000 \cdot 1000} \text{ м}^3 =$ $= 10^{-9} \text{ м}^3$	ρ (г/см ³) · 1000 = = ρ (кг/м ³)

Сила \vec{F} (Н) — векторная физическая величина, которая количественно характеризует действие одного тела на другое. Сила — векторная величина, которая имеет числовое значение, направление в пространстве, точку приложения. Точкой приложения всех сил в динамике (кроме веса) является *центр тяжести тела*. Измерительный прибор — *динамометр*.

Равнодействующая сила — векторная сумма всех сил, действующих на тело:

$$\vec{R} = \sum \vec{F}_i.$$

Сложение двух сил, направленных вдоль одной прямой	
<p>В одном направлении</p>  <p>Если $\vec{F}_1 \uparrow \vec{F}_2$, то $R = F_1 + F_2$</p>	<p>В противоположных направлениях</p>  <p>Если $\vec{F}_1 \uparrow \vec{F}_2$, то $R = F_1 - F_2$</p>
<p>Сложение двух сил, перпендикулярных друг другу</p>  <p>Если $\vec{F}_1 \perp \vec{F}_2$, то по теореме Пифагора $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$</p>	<p>Сложение двух сил, расположенных под углом α друг к другу</p>  <p>По теореме косинусов $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos(180^\circ - \alpha)}$</p>

Инерция — явление, при котором тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения (т. е. в этих случаях отсутствует ускорение).

Инерциальные системы отсчёта (ИСО) — системы отсчёта, относительно которых наблюдается инерция, а также те, которые движутся равномерно и прямолинейно относительно ИСО. Другими словами, ИСО — системы отсчёта, ускорение которых равно нулю.

Первый закон Ньютона: *существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых тела движутся*

равномерно и прямолинейно или находятся в состоянии покоя, если на них не действуют другие тела или их действия скомпенсированы.

Второй закон Ньютона: сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на ускорение, которое сообщает эта сила.

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Учтите: направление силы совпадает с направлением ускорения $\vec{F} \uparrow \uparrow \vec{a}$, так как $m > 0$.

Третий закон Ньютона: тела действуют друг на друга с силами, направленными вдоль одной прямой, противоположными по направлению и равными по модулю.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Учтите: силы, возникающие при взаимодействии, имеют одинаковую природу, но приложены к разным телам, поэтому не компенсируют друг друга.

2.2.2. Сила всемирного тяготения

Сила всемирного тяготения $F_{\text{тяг}}$ (Н) — сила, с которой все тела притягиваются друг к другу. Эта сила наиболее заметно проявляется при взаимодействии массивных тел (звёзд, планет, их спутников).

Закон всемирного тяготения (открыт И. Ньютоном; см. раздел 9): все тела в природе притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению масс этих тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

$$F_{\text{тяг}} = \frac{Gm_1m_2}{r^2},$$

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ — **гравитационная постоянная**, численно равна силе гравитационного притяжения двух тел, массой по 1 кг каждое, находящихся на расстоянии 1 м одно от другого,

m_1 (кг) — масса первого тела,

m_2 (кг) — масса второго тела,

r (м) — расстояние между центрами тел (рис. 2.9).

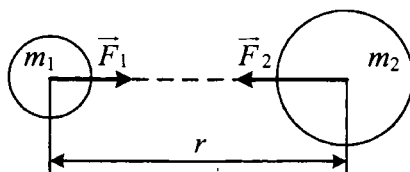


Рис. 2.9

2.2.3. Сила тяжести

Сила тяжести $F_{\text{тяж}}$ (Н) — это сила, с которой планета (Земля) притягивает к себе окружающие тела.

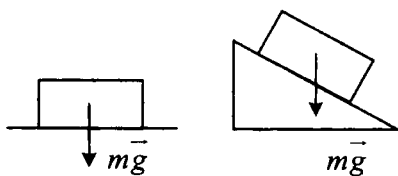


Рис. 2.10

$$F_{\text{тяж}} = mg,$$

где m (кг) — масса,
 $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Сила тяжести направлена вертикально вниз — к центру Земли (рис. 2.10).

2.2.4. Искусственные спутники

Искусственный спутник — тело, которое обращается вокруг планеты. Траекторией движения в упрощенном случае можно считать окружность (рис. 2.11).

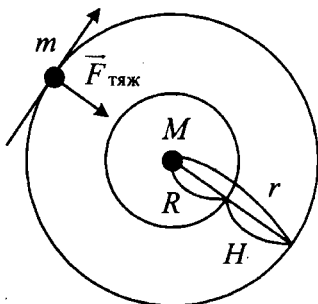


Рис. 2.11

M (кг) — масса планеты,

m (кг) — масса спутника,

R (м) — радиус планеты,

H (м) — высота спутника над поверхностью планеты,

r (м) — расстояние от центра планеты до спутника,

$r = R + H$ — радиус орбиты,

v (м/с) — линейная скорость спутника,

g (м/с²) — ускорение свободного падения.

Сила тяжести на любой планете, на любой высоте H :

$$F_{\text{тяж}} = \frac{GMm}{(R+H)^2} = \frac{GMm}{r^2}.$$

Сила тяжести на поверхности планеты ($H = 0$):

$$F_{\text{тяж}} = \frac{GMm}{R^2}.$$

Ускорение свободного падения на высоте H :

$$g = \frac{GM}{(R+H)^2} = \frac{GM}{r^2}.$$

Ускорение свободного падения на поверхности планеты ($H = 0$):

$$g_0 = \frac{GM}{R^2}.$$

Ускорение свободного падения на полюсе больше, чем на экваторе, так как расстояние от центра Земли до полюса меньше расстояния от центра Земли до экватора. Ускорение свободного падения у подножия горы больше, чем на вершине.

Линейная скорость кругового движения на высоте H:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+H}} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Если $H \ll R$, то получим формулу для *первой космической скорости*:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

2.2.5. Сила упругости

Сила упругости $F_{\text{упр}}$ (Н) — сила, которая возникает при деформациях тел как ответная реакция на внешнее воздействие.

Сила упругости относится к силам электромагнитной природы.

Деформация — изменение формы или объёма тела.

Упругие деформации исчезают после снятия нагрузки.

Пластические деформации остаются после снятия нагрузки. Только для упругих деформаций выполняется закон Гука.

Закон Гука: модуль силы упругости, возникающей при деформации тела, пропорционален его удлинению:

$$F_{\text{упр}} = kx.$$

где $x = |l - l_0| = \Delta l$ (м) — деформация или изменение длины пружины (рис. 2.12),

l_0 (м) — начальная длина пружины,

l (м) — длина деформированной пружины,

k (Н/м) — **коэффициент жёсткости тела** — показывает, какую силу необходимо приложить к пружине, чтобы растянуть её на 1 м.

Направление силы упругости противоположно перемещению частиц при деформации.

Если пружину растягивают две противоположные и равные силы, то

$$F_1 = F_2 = F_{\text{упр}}.$$

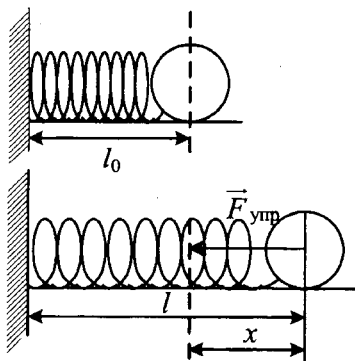


Рис. 2.12

Если груз подвешен к пружине, то

$$F_{\text{упр}} = mg.$$

При *параллельном* соединении пружин

$$k_{\text{пар}} = k_1 + k_2.$$

При *последовательном* соединении пружин

$$\frac{1}{k_{\text{посл}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}.$$

2.2.6. Силы трения

Сила трения — сила, которая возникает при движении тел или при попытке сдвинуть их с места. Относится к силам электромагнитной природы. Трение бывает сухое и жидкое. Сухое делится на три вида: трение покоя, трение скольжения и трение качения.

Сила трения скольжения $F_{\text{тр.ск.}}$ (Н) возникает при скольжении одного тела по поверхности другого. Направление силы трения скольжения противоположно скорости движения ($\vec{F}_{\text{тр.ск.}} \uparrow \downarrow \vec{v}$):

$$F_{\text{тр.ск.}} = \mu N$$

или

$$F_{\text{тр.ск.}} = \mu F_{\text{давл.}}$$

где μ — коэффициент трения,

N (Н) — сила реакция опоры,

$F_{\text{давл.}}$ (Н) — сила нормального давления.

Способы уменьшения трения: выравнивание поверхностей, введение смазки, замена трения скольжения на трение качения.

Если движение происходит по гладкой поверхности, то силу трения учитывать не надо.

Сила трения скольжения не зависит от площади соприкасающихся тел.

Жидкое трение (сила сопротивления) $F_{\text{сопр.}}$ (Н) возникает при движении в жидкостях и газах. Направление жидкого трения противоположно скорости движения ($\vec{F}_{\text{сопр.}} \uparrow \downarrow \vec{v}$).

Жидкое трение зависит от формы и скорости тел. При малых скоростях сила сопротивления пропорциональна скорости:

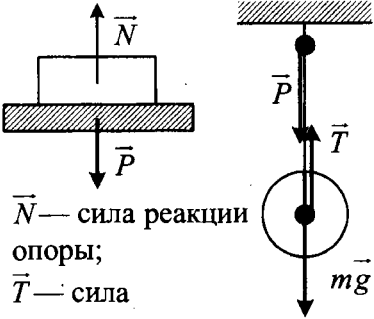
$$F_{\text{сопр.}} = kv,$$

при больших скоростях — квадрату скорости:

$$F_{\text{сопр.}} = kv^2.$$

2.2.7. Вес тела

Вес тела P (Н) — сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или подвес (сила, с которой тело давит на опору или растягивает подвес); относится к силам электромагнитной природы. Измеряется динамометром.

Точка приложения — точка опоры или подвеса	 <p>\vec{N} — сила реакции опоры; \vec{T} — сила натяжения нити</p>
Направление	Вес имеет направление, противоположное силе реакции опоры, силе натяжения нити или силе упругости: $\vec{P} \uparrow \downarrow \vec{N}$; $\vec{P} \uparrow \downarrow \vec{T}$; $\vec{P} \uparrow \downarrow \vec{F}_{\text{упр}}$
Способ определения модуля веса	По третьему закону Ньютона $P = N$, или $P = T$, или $P = F_{\text{упр}}$
Невесомость	$P = 0$
Условие невесомости	Свободное падение тел
Перегрузка	$\frac{P}{P_0} = \frac{P}{mg}$

Формулы для расчёта веса

- Вес тела, если тело или опора (подвес) *неподвижны* ($\vec{a} = 0$):

$$P_0 = mg,$$

где m (кг) — масса тела,

$g = 10 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения.

- Ускорение опоры направлено *вверх*:

$$P_{\uparrow} = m(g - a),$$

где a (м/с^2) — ускорение опоры или подвеса.

- Ускорение опоры направлено *вниз*:

$$P_{\downarrow} = m(g - a).$$

- Нижняя точка *вогнутого моста*:

$$P_{\cup} = m(g + a_{\text{ц.с.}}).$$

где $a_{\text{ц.с.}}$ (м/с²) — центростремительное ускорение, которое равно:

$$a_{\text{ц.с.}} = \frac{v^2}{R},$$

v (м/с) — скорость,

R (м) — радиус окружности.

- Верхняя точка *выпуклого моста*:

$$P_{\cap} = m(g - a_{\text{ц.с.}}).$$

- Верхняя точка «мертвой петли»:

$$P = m(a_{\text{ц.с.}} - g).$$

Сравнительная таблица: масса, сила тяжести, вес

	Масса	Сила тяжести	Вес
Обозначение	m	$F_{\text{тяж}}$	P
Единица измерения	кг	Н	Н
Измерительный прибор	весы	динамометр	динамометр
Формула	$m = \rho \cdot V$	$F_{\text{тяж}} = mg$	$P_0 = mg$
Когда обращается в нуль	Никогда	Вдали от звёзд и планет	При свободном падении

2.2.8. Обобщающая таблица по теме «Динамика»

Законы Ньютона	
Первый закон	$\sum \vec{F}_i = 0; \vec{a} = 0$
Второй закон	$\vec{R} = \sum \vec{F}_i = m\vec{a}; \vec{a} \uparrow \uparrow \vec{R}$
Третий закон	$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

Сила всемирного тяготения и сила тяжести

Закон всемирного тяготения	$F_{\text{тяг}} = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$
Сила тяжести	$F_{\text{тяж}} = mg$
Сила тяжести на любой планете, на любой высоте H	$F_{\text{тяж}} = \frac{GMm}{(R+H)^2} = \frac{GMm}{r^2}$
Сила тяжести на поверхности планеты	$F_{\text{тяж}} = \frac{GMm}{R^2}$
Искусственные спутники	
Ускорение свободного падения на высоте H	$g = \frac{GM}{(R+H)^2} = \frac{GM}{r^2}$
Ускорение свободного падения на поверхности планеты	$g_0 = \frac{GM}{R^2}$
Линейная скорость кругового движения на высоте H	$v = \sqrt{\frac{GM}{R+H}} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$
Первая космическая скорость	$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$
Сила упругости	
Закон Гука	$F_{\text{упр}} = kx$
Жёсткость системы пружин при параллельном соединении	$k_{\text{пар}} = k_1 + k_2$
Жёсткость системы пружин при последовательном соединении	$\frac{1}{k_{\text{посл}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$

Сила трения скольжения	
Трение скольжения	$F_{\text{тр.ск.}} = \mu N$ или $F_{\text{тр.ск.}} = \mu F_{\text{давл.}}$
Вес тела	
Способ определения модуля веса	По третьему закону Ньютона $P = N$, или $P = T$, или $P = F_{\text{упр.}}$
Опора неподвижна ($\vec{a} = 0$)	$P_0 = mg$
Ускорение опоры направлено вверх	$P_{\uparrow} = m(g + a)$
Ускорение опоры направлено вниз	$P_{\downarrow} = m(g - a)$
Нижняя точка вогнутого моста	$P_{\cup} = m(g + a_{\text{ц.с.}})$
Верхняя точка выпуклого моста	$P_{\cap} = m(g - a_{\text{ц.с.}})$
Верхняя точка «мертвой петли»	$P = m(a_{\text{ц.с.}} - g)$

2.3. Законы сохранения

Импульс тела \vec{p} (кг · м/с) — векторная физическая величина, равная произведению массы тела на его скорость.

$$\vec{p} = m\vec{v},$$

где m (кг) — масса тела,

v (м/с) — скорость тела.

Направление импульса совпадает с направлением скорости:

$$\vec{p} \uparrow \uparrow \vec{v}, \text{ так как } m > 0.$$

Импульс тела равен нулю, если тело не движется ($v = 0$).

Полный (суммарный) импульс системы равен векторной сумме импульсов всех тел:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + m_3\vec{v}_3 + \dots$$

2.3.1. Закон сохранения импульса

Закон сохранения импульса: *полный импульс замкнутой системы сохраняется.*

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2.$$

Систему называют *замкнутой*, если тела, входящие в неё, взаимодействуют только друг с другом, а влиянием внешних сил можно пренебречь.

Частные случаи закона сохранения импульса

(в проекциях на горизонтальную ось OX)

- Неупругое столкновение движущегося тела с неподвижным телом:

$$m_1v_1 = (m_1 + m_2)v.$$

- Неупругое столкновение двух движущихся тел:

$$m_1v_1 \pm m_2v_2 = \pm (m_1 + m_2)v.$$

- До взаимодействия оба тела покоятся:

$$0 = m_1v_1 - m_2v_2.$$

- Тела сначала движутся вместе (или являются единым целым):

$$(m_1 + m_2)v = \pm m_1v_1 \pm m_2v_2.$$

Знак проекции скорости тела зависит от выбранного направления оси OX . Если направление вектора совпадает с направлением оси OX , то проекция положительна; если противоположно, то отрицательна.

2.3.2. Реактивное движение

Реактивное движение — это движение, которое происходит за счёт отделения от тела с некоторой скоростью какой-либо его части. В отличие от других видов движения, реактивное движение позволяет телу двигаться и тормозить в безвоздушном пространстве, достигать первой космической скорости.

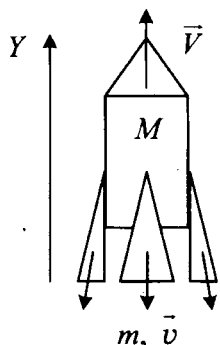


Рис. 2.13

Ракета представляет собой систему двух тел: оболочки и топлива. Оболочка имеет форму трубы, верхний конец которой заострён и герметично закрыт; нижняя часть оболочки снабжена специальной насадкой — это сопло ракеты (рис. 2.13).

M (кг) — масса оболочки (ракеты),

m (кг) — масса топлива,

v (м/с) — скорость выброса раскалённых газов,

V (м/с) — скорость ракеты.

Закон сохранения импульса для ракеты:

в проекциях на ось OY : $0 = MV - mv$.

Модуль скорости ракеты:

$$V = \frac{m}{M} v.$$

Историю космонавтики можно посмотреть в разделе 9.

2.3.3. Механическая работа

Если под действием некоторой силы тело перемещается, то при этом совершается **механическая работа** A (Дж), равная произведению модуля силы на модуль перемещения и на косинус угла между вектором силы и вектором перемещения (рис. 2.14):

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha,$$

где F (Н) — модуль силы,

s (м) — модуль перемещения,

α ($^\circ$) — угол между направлениями силы и перемещения.

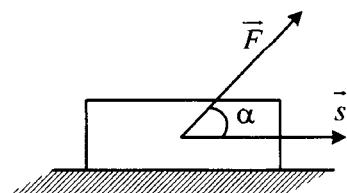


Рис. 2.14

Знак работы зависит от знака косинуса угла. В первой четверти ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$) он положительный; при $\alpha = 90^\circ$ равен нулю; во второй четверти ($90^\circ < \alpha < 180^\circ$) отрицательный.

Значения косинусов некоторых углов

Угол	0°	30°	45°	60°	90°	180°
Значение косинуса	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	0,5	0	-1

2.3.4. Мощность силы

Мощность силы N (Вт) — показывает, какую работу совершает тело за 1 секунду:

$$N = \frac{A}{t},$$

где N (Вт) — мощность,

A (Дж) — механическая работа,

t (с) — время выполнения работы.

Мощность при равномерном прямолинейном движении:

$$N = F_m \cdot v,$$

где F_m (Н) — сила тяги,

v (м/с) — скорость равномерного прямолинейного движения.

Мгновенная мощность:

$$N = F_m \cdot v_{\text{мгн}},$$

где $v_{\text{мгн}}$ (м/с) — скорость в данный момент времени.

2.3.5. Механическая энергия

Если тело может совершить механическую работу, то оно обладает **механической энергией** E (Дж). Существует два вида механической энергии: кинетическая и потенциальная.

Кинетическая энергия E_k (Дж) — это энергия движущихся тел:

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

где E_k (Дж) — кинетическая энергия,

m (кг) — масса тела,

v (м/с) — модуль мгновенной скорости.

Потенциальная энергия E_p (Дж) — это энергия взаимодействующих тел.

Потенциальная энергия тела, поднятого над Землёй:

$$E_p = mgh,$$

где m (кг) — масса тела,

h (м) — высота определяется от нулевого уровня или от нижней точки траектории.

Потенциальная энергия упруго деформированной пружины:

$$E_p = \frac{kx^2}{2},$$

где k (Н/м) — жёсткость пружины,

x (м) — деформация определяется от положения не деформированной пружины.

Полная механическая энергия E (Дж) — сумма кинетической и потенциальной энергии тела в определённый момент времени:

$$E = E_k + E_p.$$

2.3.6. Закон сохранения энергии

Закон сохранения механической энергии: *полная энергия замкнутой системы сохраняется.*

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p,$$

где E_{k0} (Дж) и E_{p0} (Дж) — кинетическая и потенциальная энергии тела в начальный момент времени,

E_k (Дж) и E_p (Дж) — кинетическая и потенциальная энергии тела в конечный момент времени.

Закон сохранения механической энергии для движения в поле тяжести Земли:

$$\frac{mv_0^2}{2} + mgh_0 = \frac{mv^2}{2} + mgh,$$

где m (кг) — масса тела,

v_0 (м/с) и h_0 (м) — скорость и высота в начальный момент времени,

v (м/с) и h (м) — скорость и высота в конечный момент времени.

Скорость в момент наивысшего подъёма обращается в нуль.

Высота равна нулю на поверхности Земли.

Превращения энергии

Закон сохранения механической энергии не выполняется, если между телами действуют силы трения. В этом случае механическая энергия превращается во внутреннюю энергию теплового движения молекул.

Закон сохранения и превращения энергии: при любых физических взаимодействиях энергия не возникает и не исчезает, а только превращается из одной формы в другую.

2.3.7. Обобщающая таблица по теме «Законы сохранения»

Импульс. Закон сохранения импульса	
Определение импульса	$\vec{p} = m\vec{v}$
Полный импульс	$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$
Закон сохранения импульса	$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}'_1 + m_2\vec{v}'_2$
Начальный импульс системы равен нулю	$0 = m_1v_1 - m_2v_2$
Неупругое столкновение	$m_1v_1 \pm m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$
Механическая работа. Мощность	
Определение механической работы	$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha$
Определение мощности	$N = \frac{A}{t}$
Мощность при равномерном прямолинейном движении	$N = F_m \cdot v$
Виды механической энергии	
Кинетическая энергия	$E_k = \frac{mv^2}{2}$
Потенциальная энергия тела, поднятого над Землёй	$E_p = mgh$
Потенциальная энергия упруго деформированной пружины	$E_p = \frac{kx^2}{2}$

Закон сохранения энергии	
Полная энергия	$E = E_k + E_p$
Закон сохранения энергии	$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p$
Закон сохранения энергии в поле тяжести Земли	$\frac{mv_0^2}{2} + mgh_0 = \frac{mv^2}{2} + mgh$

2.4. Статика

С историей развития статики и гидростатики можно ознакомиться в разделе 9.

2.4.1. Виды равновесия

Устойчивое равновесие: если тело вывести из устойчивого равновесия, то появляется сила, возвращающая его в положение равновесия (рис. 2.15). Устойчивому равновесию соответствует минимальное значение потенциальной энергии ($E_{p \min}$).

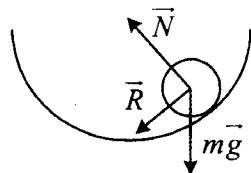


Рис. 2.15

Неустойчивое равновесие: если тело вывести из неустойчивого равновесия, то возникает сила, удаляющая тело от положения равновесия (рис. 2.16). Неустойчивому равновесию соответствует максимальное значение потенциальной энергии ($E_{p \max}$).

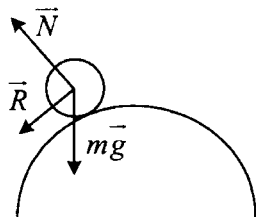


Рис. 2.16

Безразличное равновесие: при выведении тела из состояния безразличного равновесия дополнительных сил не возникает (рис. 2.17).

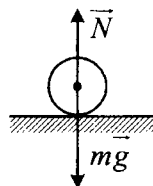


Рис. 2.17

2.4.2. Момент силы

Момент силы M (Н · м) — физическая величина, модуль которой равен произведению модуля силы на плечо силы:

$$M = F \cdot d,$$

где F (Н) — модуль силы,

d (м) — плечо силы.

Плечо силы d (м) — кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы (рис. 2.18).

d_1 — плечо первой силы F_1 ,

d_2 — плечо второй силы F_2 .

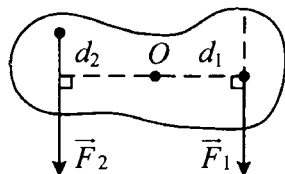


Рис. 2.18

2.4.3. Условие равновесия рычага

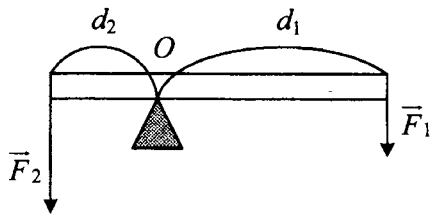


Рис. 2.19

Условие равновесия рычага для двух сил (рис. 2.19):

$$M_1 = M_2$$

или

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2,$$

где M_1 (Н · м) — момент силы, вызывающей вращение рычага по часовой стрелке,

M_2 (Н · м) — момент силы, вызывающей вращение рычага против часовой стрелки,

F_1 (Н) — модуль первой силы,

d_1 (м) — плечо первой силы,

F_2 (Н) — модуль второй силы,

d_2 (м) — плечо второй силы.

2.4.4. Простые механизмы

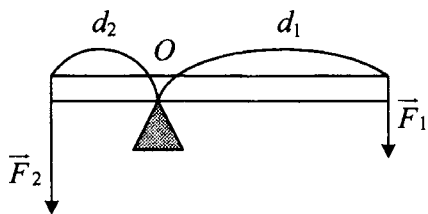


Рис. 2.20

Простые механизмы — приспособления, служащие для преобразования силы.

Рычаг (рис. 2.20) даёт выигрыш в силе:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{d_1}{d_2}.$$

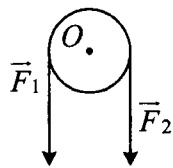


Рис. 2.21

Неподвижный блок (рис. 2.21) не даёт выигрыша в силе, но изменяет направление действия силы:

$$F_1 = F_2, \text{ так как } d_1 = d_2;$$

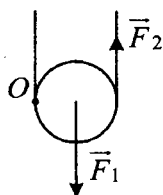


Рис. 2.22

Подвижный блок (рис. 2.22) даёт выигрыш в силе в 2 раза:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1} = 2,$$

$$\text{так как } d_1 = R; d_2 = 2R.$$

Клин (рис. 2.23):

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

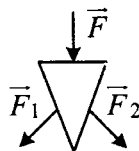


Рис. 2.23

«Золотое правило механики». При использовании простых механизмов (рычага, подвижного блока, наклонной плоскости) мы выигрываем в силе, но проигрываем в расстоянии, поэтому выигрыша в работе простые механизмы не дают.

2.4.5. Коэффициент полезного действия

Определение *коэффициента полезного действия* (КПД):

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затр}}} \cdot 100\%$$

или

$$\eta = \frac{N_{\text{полезн}}}{N_{\text{полн}}} \cdot 100\%$$

где η (%) — коэффициент полезного действия,

$A_{\text{полезн}}$ (Дж) — полезная работа,

$A_{\text{затр}}$ (Дж) — затраченная работа,

$N_{\text{полезн}}$ (Вт) — полезная мощность,

$N_{\text{полн}}$ (Вт) — полная мощность.

КПД простых механизмов

КПД неподвижного блока, рычага:

$$\eta = \frac{mgh}{A_{\text{соверш}}} \cdot 100\%$$

где m (кг) — масса тела,

$g = 10 \text{ Н/кг} = 10 \text{ м/с}^2$,

h (м) — высота,

$A_{\text{соверш}}$ (Дж) — совершённая работа.

КПД наклонной плоскости:

$$\eta = \frac{mgh}{Fl} \cdot 100\%$$

где F (Н) — сила тяги,

l (м) — длина наклонной плоскости.

2.4.6. Давление

Давление p (Па) силы, действующей перпендикулярно поверхности:

$$p = \frac{F}{S}$$

где F (Н) — сила,

S (м^2) — площадь поверхности.

Если увеличить силу и (или) уменьшить площадь, то давление увеличивается.

Если увеличить площадь и (или) уменьшить силу, то давление уменьшается.

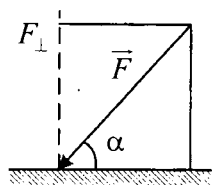


Рис. 2.24

Давление силы, действующей под углом α к поверхности (рис. 2.24):

$$p = \frac{F_{\perp}}{S},$$

где F_{\perp} (Н) — перпендикулярная составляющая силы, равная $F_{\perp} = F \cdot \sin\alpha$;

S (м²) — площадь поверхности.

Давление твёрдого тела:

$$p = \frac{F}{nS} = \frac{P}{nS} = \frac{mg}{nS} = \frac{\rho Vg}{nS},$$

где P (Н) — вес тела,

n — количество опор,

S (м²) — площадь опоры,

m (кг) — масса тела,

$g = 10$ Н/кг = 10 м/с²,

ρ (кг/м³) — плотность тела,

V (м³) — объём тела.

Давление в твёрдых телах передаётся в том же направлении, в котором действует сила.

Единицы измерения площади

Дополнительные единицы	Перевод в СИ
1 мм ²	$1 \text{ мм}^2 = \frac{1}{1000 \cdot 1000} \text{ м}^2 = 10^{-6} \text{ м}^2$
1 см ²	$1 \text{ см}^2 = \frac{1}{100 \cdot 100} \text{ м}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$

2.5. Гидростатика

Давление в газах связано с тем, что молекулы газа беспорядочно движутся, сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. Давление газа увеличивается при увеличении температуры газа.

Закон Паскаля: *давление, производимое на жидкость или газ, передаётся жидкостью или газом во все стороны одинаково.*

Это связано с подвижностью молекул в жидком и газообразном состояниях.

Давление жидкости p (Па):

$$p = \rho_{\text{ж}}gh,$$

где $\rho_{\text{ж}}$ (кг/м³) — плотность жидкости (см. таблицу 13 Приложения),

$g = 10 \text{ Н/кг} = 10 \text{ м/с}^2$,

h (м) — глубина, определяемая от открытой поверхности жидкости.

2.5.1. Сообщающиеся сосуды

Сообщающиеся сосуды — сосуды, соединённые между собой или имеющие общее дно (рис. 2.25).

Давление жидкости на одном горизонтальном уровне AB :

По закону Паскаля

$$p_1 = p_2,$$

или

$$\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2,$$

где ρ_1 (кг/м³) — плотность первой жидкости,

h_1 (м) — высота столба первой жидкости,

ρ_2 (кг/м³) — плотность второй жидкости,

h_2 (м) — высота столба второй жидкости.

Уровни жидкости в сообщающихся сосудах одинаковы и располагаются горизонтально, если: в сосуды налита однородная жидкость; поверхности жидкости открыты; ни один из сосудов не является капилляром; в жидкости нет пузырьков с воздухом.

Если в сообщающиеся сосуды налиты разные по плотности не смешивающиеся жидкости, то выше будет располагаться уровень жидкости с меньшей плотностью.

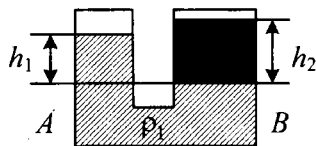
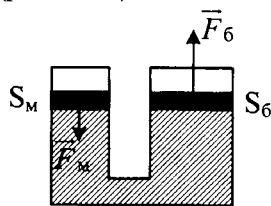


Рис. 2.25

2.5.2. Гидравлический пресс

Гидравлический пресс — простой механизм, дающий выигрыш в силе. Он представляет собой сообщающиеся сосуды разного сечения (рис. 2.26).



По закону Паскаля

$$p_m = p_6,$$

или

$$\frac{F_m}{S_m} = \frac{F_6}{S_6},$$

Рис. 2.26

где p_m — давление под малым поршнем,

p_6 — давление под большим поршнем,

F_m (Н) — сила, действующая на малый поршень (совершает полную работу),

F_6 (Н) — сила, действующая на большой поршень (совершает полезную работу),

S_m (м²) — площадь малого поршня,

S_6 (м²) — площадь большого поршня.

Работа поршней (без учёта потерь энергии):

$$A_m = A_6,$$

$$F_m h_m = F_6 h_6,$$

где h_m (м) — вертикальное перемещение малого поршня,

h_6 (м) — перемещение большого поршня.

Выигрыш в силе:

$$\frac{F_6}{F_m} = \frac{S_6}{S_m} = \frac{h_m}{h_6}.$$

КПД гидравлического пресса с учётом потерь энергии:

$$\eta = \frac{A_6}{A_m} \cdot 100\% = \frac{F_6 h_6}{F_m h_m} \cdot 100\% = \frac{p_6}{p_m} \cdot 100\%.$$

Гидравлические прессы используют для выжимания масла, для прессования фанеры, картона, сена. На металлургических заводах гидравлические прессы используют при изготовлении стальных валов машин, железнодорожных колёс и т. д.

2.5.3. Атмосферное давление

Атмосфера — воздушная оболочка Земли. Она существует благодаря земному притяжению и беспорядочному движению молекул в газообразном состоянии. В состав атмосферы входят азот, кислород и другие газы. Атмосфера не имеет чёткой границы, плотность воздуха уменьшается с высотой.

Атмосферное давление — давление «воздушного океана», которое так же уменьшается с высотой.

Ртутный барометр (рис. 2.27) — прибор для определения атмосферного давления; создан Торричелли. Состоит из стеклянной трубки длиной 1 м, запаянной с одного конца, заполненной ртутью, и широкого сосуда, в который выливается ртуть после переворачивания трубки.

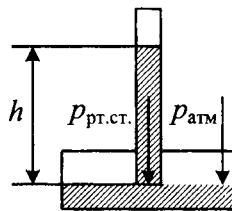


Рис. 2.27

Преобразование показаний ртутного барометра в паскали (Па):

$$p_{\text{атм}} = \rho_{\text{рт}}gh,$$

где $p_{\text{атм}}$ (Па) — атмосферное давление,

$\rho_{\text{рт}} = 13600 \text{ кг/м}^3$ — плотность ртути,

h (м) — высота ртутного столбика.

1 мм рт. ст. ≈ 133 Па.

При подъёме в среднем на каждые 12 м давление уменьшается на 1 мм рт. ст. (или на 133 Па).

Атмосферное давление на вершине горы меньше, чем у подножия.

Пары ртути опасны для человека, поэтому в настоящее время ртутные барометры не используются.

Первый водяной барометр с трубкой длиной 12 м сконструировал Б. Паскаль.

2.5.4. Сила давления

- Сила давления F (Н) твёрдого тела на опору:

$$F = p \cdot S = mg,$$

где p (Па) — давление,

S (м^2) — площадь поверхности,

m (кг) — масса тела.

- Сила давления на дно сосуда:

$$F = \rho_{\text{ж}}ghS_{\text{дна}},$$

где $\rho_{\text{ж}}$ (кг/м^3) — плотность жидкости,

$g \approx 10 \text{ Н/кг} = 10 \text{ м/с}^2$,

h (м) — высота столба жидкости.

- Сила давления на боковую грань сосуда:

$$F = \frac{\rho_{\text{ж}}gh}{2} S_{\text{бок.пов.}}$$

- Сила атмосферного давления:

$$F = p_{\text{атм}} \cdot S = \rho_{\text{рт}}ghS,$$

где $p_{\text{атм}}$ (Па) — атмосферное давление,
 $\rho_{\text{рт}} = 13600 \text{ кг/м}^3$ — плотность ртути,
 h (м) — высота ртутного столбика.

2.5.5. Гидростатический парадокс

Гидростатический парадокс (следствие закона Паскаля): *давление на дно сосуда определяется только плотностью жидкости и высотой столба жидкости.*

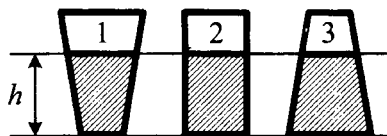


Рис. 2.28

Если в сосуды (рис. 2.28) налита одинаковая жидкость, то в трёх сосудах давление на дно одинаково:

$$p_1 = p_2 = p_3.$$

Сила давления разная, так как она зависит от площади поверхности дна:

$$F = pS,$$

$$F_1 < F_2 < F_3.$$

2.5.6. Архимедова сила

Архимедова сила (*выталкивающая сила, подъёмная сила*) F_A (Н) действует на погружённое в жидкость или газ тело.

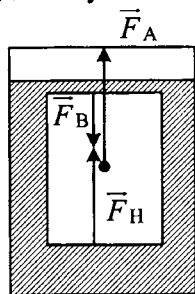


Рис. 2.29

Причина возникновения выталкивающей силы: нижняя грань тела находится на большей глубине, чем верхняя, поэтому сила давления жидкости снизу больше, чем сверху. Из-за разницы в силах давления возникает выталкивающая сила (рис. 2.29). Архимедова сила всегда направлена вертикально вверх.

Закон Архимеда: *выталкивающая сила равна весу вытесненной жидкости или газа:*

$$F_A = P_{\text{жид.}}$$

Разные способы расчёта архимедовой силы

- *Полное погружение тела:*

$$F_A = \rho_{\text{ж}} V_{\text{т}} g,$$

где F_A (Н) — архимедова сила,
 $\rho_{\text{ж}}$ (кг/м³) — плотность жидкости или газа,
 $V_{\text{т}}$ (м³) — объём полностью погружённого тела.

- Частичное погружение тела:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} V_{\text{п.ч.}} g,$$

где $V_{\text{п.ч.}}$ (м^3) — объём погружённой части тела.

- Разность сил давления:

$$F_A = F_{\text{Н}} - F_{\text{В}},$$

где $F_{\text{Н}}$ (Н) — сила давления, действующая на нижнюю грань тела,

$F_{\text{В}}$ (Н) — сила давления, действующая на верхнюю грань тела.

- Разница в весе в воздухе и в жидкости:

$$F_A = P_{\text{возд}} - P_{\text{ж}},$$

где $P_{\text{возд}}$ (Н) — вес тела в воздухе,

$P_{\text{ж}}$ (Н) — вес тела в жидкости.

В формулу для расчёта архимедовой силы следует подставлять плотность окружающей среды (жидкости или газа).

Архимедова сила зависит от плотности жидкости (газа) и от объёма тела, но не зависит от плотности тела.

При полном погружении тела архимедова сила не зависит от глубины.

2.5.7. Условия плавания тел

<p>Тело тонет</p> $F_{\text{тяж}} > F_A$ $\rho_{\text{т}} V_{\text{тг}} > \rho_{\text{ж}} V_{\text{тг}}$ или $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{ж}}$	<p>Тело плавает внутри жидкости</p> $F_{\text{тяж}} = F_A$ $\rho_{\text{т}} V_{\text{тг}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{тг}}$ или $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}$	<p>Тело всплывает</p> $F_{\text{тяж}} < F_A$ $\rho_{\text{т}} V_{\text{тг}} < \rho_{\text{ж}} V_{\text{тг}}$ или $\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}}$
---	---	---

Тело плавает на поверхности

Условие плавания	$\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}}$
Равенство сил	$F_{\text{тяж}} = F_A$
Сила тяжести	$F_{\text{тяж}} = mg = \rho_{\text{т}} V_{\text{тг}}$
Сила Архимеда	$F_A = \rho_{\text{ж}} V_{\text{п.ч.}} g$
Погружённая часть и объём тела	$\frac{V_{\text{п.ч.}}}{V_{\text{т}}} = \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{ж}}}$

На поверхности плавают только те тела, плотность которых меньше плотности жидкости: $\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}}$.

Если изменяется масса тела, плавающего на поверхности, то происходит изменение выталкивающей силы. Например, при разгрузке судов сила тяжести и архимедова сила уменьшаются.

При изменении плотности жидкости происходит изменение объёма погружённой части. Например, если корабль переходит из реки с пресной водой в море с солёной водой, то увеличивается плотность жидкости, а осадка судна уменьшается. Архимедова сила и сила тяжести в этом случае не изменяются.

2.5.8. Воздухоплавание

Рассказ о первых воздухоплатателях можно найти в разделе 9.

Условие подъёма (рис. 2.30):

$$F_A > F_{\text{тяж}} + F_{\text{сопр}}$$

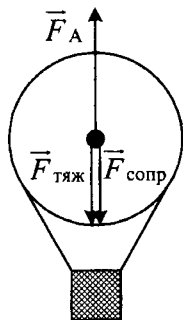


Рис. 2.30

Подъёмной силой служит архимедова сила:

$$F_A = \rho_{\text{возд}} V_{\text{шара}} g,$$

а мешают подъёму сила тяжести и сила сопротивления воздуха:

$$F_{\text{тяж}} = (M_{\text{шара}} + m_{\text{газа}} + m_{\text{корз.}} + m_{\text{гр}})g \text{ и } F_{\text{сопр.}}$$

Управление шаром:

- шар заполняют нагретым воздухом или газом, плотность которого меньше плотности окружающего воздуха;
- сбрасывая балласт, можно увеличить высоту полёта;
- охлаждая газ, можно вернуться на землю.

2.5.9. Обобщающая таблица по теме «Статика и гидростатика»

Простые механизмы	
Момент силы	$M = F \cdot d$
Правило моментов	$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$
КПД наклонной плоскости	$\eta = \frac{mgh}{Fl} \cdot 100\%$
Давление и сила давления	
Давление твёрдого тела	$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S}$
Давление жидкости	$p = \rho_{ж}gh$
Атмосферное давление	$p_{атм} = \rho_{рт}gh$
Сила давления	$F_{давл} = pS$
Сообщающиеся сосуды	$p_1 = p_2; \rho_1gh_1 = \rho_2gh_2$
Гидравлический пресс	$p_M = p_6, \frac{F_M}{S_M} = \frac{F_6}{S_6}$
Работа поршней (без потерь энергии)	$A_M = A_6$
Выигрыш в силе	$\frac{F_6}{F_M} = \frac{S_6}{S_M}$
Архимедова сила	
Закон Архимеда	$F_A = \rho_{ж}V_{п.ч}g,$

Условия плавания	
Тело тонет	$F_{\text{тяж}} > F_A; \rho_T > \rho_{\text{ж}}$
Тело плавает внутри жидкости	$F_{\text{тяж}} = F_A; \rho_T = \rho_{\text{ж}}$
Тело всплывает	$F_{\text{тяж}} < F_A; \rho_T V_T g < \rho_{\text{ж}} V_T g$
Тело плавает на поверхности	$F_{\text{тяж}} = F_A$ $\rho_T V_T g = \rho_{\text{ж}} V_{\text{п.ч.}} g$
Часть тела, погружённая в жидкость	$\frac{V_{\text{п.ч.}}}{V_T} = \frac{\rho_T}{\rho_{\text{ж}}}$

2.6. Механические колебания и волны

2.6.1. Механические колебания

Механические колебания — это процессы в механических системах, которые повторяются или почти повторяются.

Период T (с) — время одного полного колебания:

$$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega},$$

где t (с) — время колебаний,

N — количество колебаний,

ν (Гц) — частота колебаний,

ω (рад/с) — циклическая частота колебаний.

Частота ν (Гц) — число колебаний за 1 с:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}.$$

Циклическая частота ω (рад/с) — число колебаний за 2π секунд:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}.$$

Амплитуда X_m (м) — модуль наибольшего отклонения тела от положения равновесия.

2.6.2. Гармонические колебания

Гармонические колебания — это колебания, происходящие по закону синуса и косинуса.

Закон гармонических механических колебаний

$$x = X_m \cos(\omega t + \varphi_0)$$

или

$$x = X_m \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где x (м) — мгновенное значение смещения тела от положения равновесия,

X_m (м) — амплитуда колебаний,

$\varphi = \omega t + \varphi_0$ (рад) — фаза колебаний,

φ_0 (рад) — начальная фаза колебаний,

ω (рад/с) — циклическая частота.

Графики колебательного процесса ($\varphi_0 = 0$)

Синусоида (рис. 2.31):

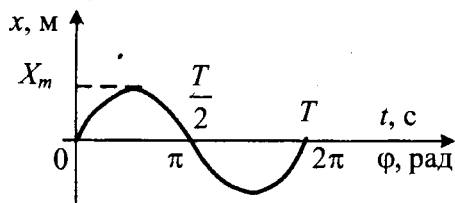


Рис. 2.31

Косинусоида (рис. 2.32):

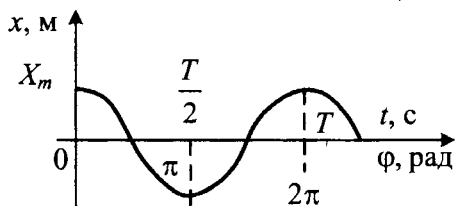


Рис. 2.32

Определение закона изменения координаты по графику колебательного процесса (рис. 2.33)

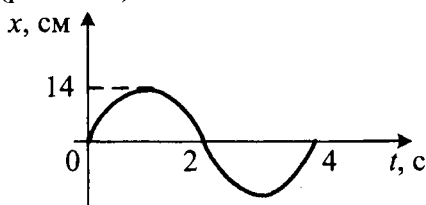


Рис. 2.33

Амплитуда $X_m = 0,14$ м,

период 4 с,

частота $\nu = \frac{1}{T} = 0,25$ Гц,

циклическая частота $\omega = 2\pi\nu = \frac{\pi}{2}$,

закон гармонических колебаний $x = 0,14\sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)$.

Математический маятник

Маятником называют тело, которое может совершать колебания под действием силы тяжести.

Маятник считают *математическим*, если он удовлетворяет трём условиям:

- 1) размеры нити значительно превышают размеры груза,
- 2) нить нерастяжима и невесома, т.е. вся масса маятника сосредоточена в массе груза,
- 3) отклонения нити малы (длина дуги \approx длине хорды).

Период T (с):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Частота ν (Гц):

$$\nu = \frac{\sqrt{g}}{2\pi\sqrt{l}}$$

где l (м) — длина нити,
 $g = 10\text{м/с}^2$.

Период математического маятника не зависит от массы груза и амплитуды колебаний.

Период колебаний зависит от длины нити.

Плоскость колебаний математического маятника должна сохраняться до тех пор, пока на него не подействует дополнительная сила: Если у маятника очень большая длина нити, то можно заметить, что плоскость колебания постепенно изменяется относительно поверхности Земли. Это явление связано с вращением Земли «под» маятником. Впервые подобный эксперимент провёл французский учёный Жан Фуко, в честь которого подобные маятники называются *маятниками Фуко*.

Путь груза за часть периода (за определённое изменение фазы):

$$\begin{aligned}l(T/4) &= l(\pi/2) = X_m, \\l(T/2) &= l(\pi) = 2X_m, \\l(3T/4) &= l(3\pi/2) = 3X_m, \\l(T) &= l(2\pi) = 4X_m,\end{aligned}$$

где l (м) — путь,

X_m (м) — амплитуда колебаний.

Пружинный маятник

Период T (с):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Частота ν (Гц):

$$\nu = \frac{\sqrt{k}}{2\pi\sqrt{m}},$$

где m (кг) — масса груза,
 k (Н/м) — жёсткость пружины.

Период пружинного маятника не зависит от амплитуды колебаний.

При *параллельном* соединении пружин:

$$k_{\text{пар}} = k_1 + k_2.$$

При *последовательном* соединении пружин:

$$\frac{1}{k_{\text{посл}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}.$$

Закон сохранения механической энергии (без учёта потерь энергии):

$$\frac{kX_m^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_m^2}{2}.$$

2.6.3. Вынужденные механические колебания

Вынужденные механические колебания происходят под действием внешней периодически изменяющейся силы.

Резонанс — явление резкого возрастания амплитуды колебаний, которое происходит при совпадении частоты вынуждающей силы и собственной частоты колебательной системы. Резонанс в механических системах может привести к разрушениям.

Рассмотрим рисунок 2.34.

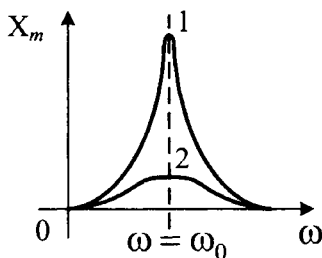


Рис. 2.34

Амплитуда во время резонанса в первой колебательной системе увеличивается больше, так как трение в ней меньше, чем во второй системе:

$$F_{\text{тр.1}} < F_{\text{тр.2}}.$$

2.6.4. Механические волны

Механическая волна — процесс распространения колебаний в упругой среде.

Если одна частица среды приходит в колебательное движение, то благодаря силам межмолекулярного взаимодействия соседние с ней частицы также придут в движение.

Виды волн: поперечные и продольные. В *поперечных волнах* направление колебаний частиц перпендикулярно направлению распространения волны (пример: волны на воде). В *продольных волнах* направление колебаний частиц параллельно направлению распространения волны (пример: звуковые волны).

Скорость распространения. Механические волны быстрее всего распространяются в твёрдых телах, медленнее в жидкостях и ещё медленнее в газах.

Учитите: механические волны в вакууме не распространяются.

Длина волны λ (м) — это расстояние, на которое распространится волна за время одного полного колебания частицы (за период).

Длина волны — это расстояние между двумя ближайшими «горбами» или «впадинами» (рис. 2.35).

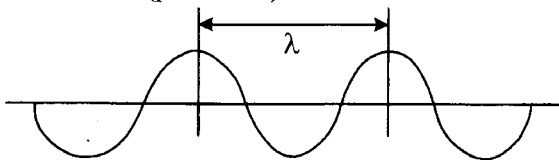


Рис. 2.35

Длина волны — это кратчайшее расстояние между точками, колеблющимися в фазе.

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu}$$

где λ (м) — длина волны,
 v (м/с) — скорость волны,
 T (с) — период колебаний,
 ν (Гц) — частота.

2.6.5. Звуковые волны

Звуковые волны — продольные механические волны, источником которых служит колеблющееся тело. Человеческое ухо способно воспринимать колебания, частоты которых лежат в пределах:

$$20 \text{ Гц} < \nu < 20\,000 \text{ Гц.}$$

Волны, частоты которых меньше 20 Гц, называют *инфразвуком*; а если частота волн больше 20 000 Гц, то *ультразвуком*.

Частота колебаний крыльев насекомых и птиц в полёте

Название	Частота
Аисты	≈ 2 Гц
Бабочки-капустницы	до 9 Гц
Воробьи	до 13 Гц
Вороны	3–4 Гц
Жуки майские	≈ 45 Гц
Колибри	35–50 Гц
Комары	500–600 Гц
Мухи комнатные	190–330 Гц
Пчёлы	200–250 Гц
Шмель	220 Гц
Слепни	≈ 100 Гц
Стрекозы	38–100 Гц

Высота тона определяется частотой звука. Например, бас — низкий тон, сопрано — высокий тон.

Частотный диапазон голосов певцов и певиц

Название	Диапазон частот
Бас	80–350 Гц
Баритон	100–400 Гц

Название	Диапазон частот
Тенор	130–500 Гц
Контральто	170–780 Гц
Сопрано	250–1000 Гц
Колоратурное сопрано	260–1400 Гц

Громкость звука определяется амплитудой колебаний. Особенностью нашего уха является то, что частоты от 1000 до 5000 Гц мы воспринимаем как более громкие.

Громкость звука принято характеризовать **уровнем громкости**, измеряемым в *фонах*, или **уровнем звукового давления**, измеряемым в *белах* (Б) или *децибелах* (дБ), составляющих десятую часть бела.

Уровень шума

Источник звука	Уровень звукового давления
Порог слышимости	0 дБ
Тиканье наручных часов	10 дБ
Тихий шёпот, шелест листвы	20 дБ
Звук настенных часов	30 дБ
Приглушённый разговор	40 дБ
Тихая улица	50 дБ
Обычная речь	60 дБ
Шумная улица	70 дБ
Опасный для здоровья уровень	80 дБ

Источник звука	Уровень звукового давления
Пневматический молоток	90 дБ
Кузнечный цех	100 дБ
Громкая музыка	110 дБ
Болевой порог, рок-концерт	120 дБ
Клёпка, сирена	130 дБ
Реактивный самолёт	150 дБ
Смертельный уровень	180 дБ
Шумовое оружие	200 дБ

При увеличении громкости на 10 дБ интенсивность звука увеличивается в 10 раз.

Громкость, равную 120 дБ, называют болевым порогом. При длительном воздействии такого звука происходит необратимое ухудшение слуха.

Скорость звука (Таблица 18 Приложения)

Быстрее всего звуковые волны распространяются в твёрдых телах, медленнее в жидкостях. Самая низкая скорость звука в газах. Например, скорость звуковых волн в воздухе примерно равна 330 м/с, в воде — 1435 м/с, в стали 5000 м/с. Скорость звука зависит от температуры вещества и от его агрегатного состояния. В вакууме звуковые волны не распространяются.

Расстояние от источника звука до наблюдателя:

$$l = v \cdot t,$$

где l (м) — путь, пройденный волной,

v (м/с) — скорость волны,

t (с) — время движения волны от источника колебаний до наблюдателя.

Эхо — отражение звуковых волн от различных преград.

Расстояние до преграды l (м):

$$l = v_{\text{зв}} \cdot \frac{t}{2},$$

где t (с) — время движения звука от источника и обратно,

$v_{\text{зв}}$ (м/с) — скорость звука в воздухе.

2.6.6. Обобщающая таблица по теме «Механические колебания и волны»

Механические колебания	
Период	$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\nu}$
Частота	$\nu = \frac{1}{T} = \frac{N}{t}$
Математический маятник	
Период	$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
Частота	$\nu = \frac{\sqrt{g}}{2\pi\sqrt{l}}$
Пружинный маятник	
Период	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
Частота	$\nu = \frac{\sqrt{k}}{2\pi\sqrt{m}}$
Закон сохранения энергии	$E = \frac{kX_m^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_m^2}{2}$

Механические волны

Длина механической волны	$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu}$
Расстояние до преграды. Эхо	$l = v_{зв} \cdot \frac{t}{2}$

3. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

3.1. Строение вещества

3.1.1. Атомистическая теория

Древнегреческий учёный Демокрит (460–370 гг. до н.э.) развивал идею атомистического строения материи. Суть его учения сводится к следующему.

Не существует ничего, кроме атомов и чистого пространства, всё другое только воззрение.

Атомы бесконечны по числу и бесконечно разнообразны по форме.

Из ничего не происходит ничего.

Ничто не совершается случайно, но всё совершается по какому-нибудь основанию и с необходимостью.

Различие между вещами происходит от различия их атомов в числе, величине, форме и порядке; качественного различия между атомами не существует.

3.1.2. Основные сведения о строении вещества

(их опытное подтверждение)

- Все вещества состоят из *молекул*. (Получены фотографии самых крупных молекул с помощью электронного микроскопа.)
- Между молекулами есть *промежутки*; при нагревании они увеличиваются, а при охлаждении уменьшаются. Исключение: вода и резина. (Холодный стальной шарик свободно проходит сквозь кольцо. Если шарик нагреть, то он застревает и сквозь кольцо не проходит.)
- Молекулы *движутся*. Чем быстрее их движение, тем больше температура вещества и наоборот. (*Диффузия* — явление перемешивания веществ без постороннего воздействия; *броуновское движение* — тепловое движение частиц под действием молекул вещества, в котором эти частицы взвешены.)
- Молекулы *взаимодействуют*. На расстояниях, сравнимых с размерами молекул, заметнее проявляется притяжение, а при уменьшении расстояний — отталкивание. (Склеивание двух стёкол, между которыми нанесли каплю воды.)

Свойства вещества в разных агрегатных состояниях

	Сохраняет объём	Сохраняет форму	Особые свойства
Твёрдое тело	+	+	
Жидкость	+	-	текучесть
Газ	-	-	летучесть

Строение твёрдых, жидких и газообразных веществ

	Твёрдое тело	Жидкость	Газ
Строение			
Расстояние между молекулами	Сравнимо с размером молекул	Чуть больше, чем в твёрдом теле	Многokrратно превышает размеры молекул
Характер движения	Колебательное	Скачкообразное	Хаотическое
Скорости молекул	Малы	Скорее малы	Огромны
Взаимодействие между молекулами	Наибольшее	Меньше, чем у твёрдых тел	Наименьшее

Химический состав молекул не зависит от агрегатного состояния. Молекулы в трёх агрегатных состояниях движутся беспорядочно. Аморфные твёрдые тела не имеют кристаллической решётки.

Температурные шкалы

Шкала Цельсия $t, ^\circ\text{C}$	Шкала Фаренгейта $T_F, ^\circ\text{F}$	Шкала Кельвина T, K
$t = \frac{5}{9}(T_F - 32) =$ $= T - 273$	$T_F = 32 + 1,8t$	$T = t + 273$
Примеры		
0 °C	32 °F	273 K
36 °C	≈ 100 °F	309 K
100 °C	212 °F	373 K

3.2. Изменение агрегатных состояний вещества

3.2.1. Внутренняя энергия

Внутренняя энергия сосредоточена «внутри» вещества и складывается из потенциальной энергии взаимодействующих молекул (или атомов) и кинетической энергии их движения.

$$U = \sum E_{k0} + \sum E_{p0},$$

где $\sum E_{k0}(v)$ — кинетическая энергия молекул (атомов), которая зависит от скорости движения молекул. Она изменяется только при изменениях температуры;

$\sum E_{p0}(r)$ — потенциальная энергия молекул, которая зависит от промежутков между молекулами. Она изменяется при изменениях температуры и объёма.

Способы изменения внутренней энергии:

- совершение работы (за счёт трения или ударов);
- испарение (в процессе испарения внутренняя энергия жидкости понижается);
- теплопередача (приведение в соприкосновение с более холодным или более нагретым телом).

3.2.2. Виды теплопередачи

Виды теплопередачи: теплопроводность, конвекция, излучение.

Теплопроводность. При теплопроводности происходит постепенное увеличение скорости движения молекул. Это возможно только благодаря межмолекулярному взаимодействию, поэтому теплопроводность в твёрдых телах происходит быстрее, чем в жидкостях. В газах она осуществляется ещё медленнее. Для сохранения тепла используют плохую теплопроводность газов. Например, пористые материалы в строительстве; меховые и шерстяные вещи в быту содержат прослойки воздуха. Воздух — это смесь газов, которая обладает плохой теплопроводностью, значит, лучше сохраняет тепло.

В вакууме теплопроводность невозможна.

Конвекция. При конвекции тёплые слои жидкости или газа поднимаются, а холодные опускаются. Конвекция осуществляется в жидкостях и газах.

Применение конвекции. Нагреватели следует располагать внизу, а охлаждающие тела вверху.

В твёрдых телах и в вакууме конвекция невозможна.

Излучение. Все нагретые тела излучают энергию. Чем больше нагрето тело, тем сильнее излучение. Теплопередача за счёт излучения возможна в любой среде, в том числе и в вакууме.

Свойства излучения. Тёмные поверхности хорошо поглощают излучение, но быстро отдают энергию при охлаждении. Зеркальные и светлые поверхности отражают излучение и медленно остывают.

3.2.3. Количество теплоты

Количество теплоты Q (Дж) — физическая величина, которая показывает, на сколько изменяется внутренняя энергия вещества в процессе теплопередачи:

$$Q = \pm \Delta U,$$

где «+», если внутренняя энергия увеличивается,

«-», если внутренняя энергия уменьшается.

Нагревание и охлаждение вещества

Для нагревания вещества необходимо количество теплоты Q (Дж):

$$Q = cm(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})$$

или

$$Q = cm\Delta t,$$

где $t_{\text{нач}}$ ($^{\circ}\text{C}$) — начальная температура вещества, $t_{\text{кон}}$ ($^{\circ}\text{C}$) — конечная температура вещества,
 $(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})$ ($^{\circ}\text{C}$) — изменение температуры вещества,
 m (кг) — масса вещества,
 c (Дж/кг \cdot $^{\circ}\text{C}$) — *удельная теплоёмкость вещества* — показывает, какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы нагреть 1 кг данного вещества на 1 $^{\circ}\text{C}$. Такое же количество теплоты выделится при охлаждении 1 кг этого вещества на 1 $^{\circ}\text{C}$ (Таблица 20 Приложения).

При охлаждении вещества выделяется количество теплоты:

$$Q = cm(t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}).$$

3.2.4. Теплообмен

Теплообмен осуществляется между телами (или веществами), имеющими разную температуру. При этом энергия переходит от более нагретого тела к более холодному. Если нет потерь энергии, то выполняется *уравнение теплового баланса*:

$$Q_{\text{отд.}} = Q_{\text{пол.}}$$

или

$$c_1 m_1 (t_1 - t) = c_2 m_2 (t - t_2),$$

где $Q_{\text{отд.}}$ — отданное количество теплоты,

$Q_{\text{пол.}}$ — полученное количество теплоты,

c_1 , m_1 , t_1 — удельная теплоёмкость, масса и начальная температура более нагретого вещества,

c_2 , m_2 , t_2 — удельная теплоёмкость, масса и начальная температура менее нагретого вещества,

t — установившаяся температура.

3.2.5. Сгорание топлива

Топливо — это вещества, при сгорании которых выделяется энергия.

При сгорании топлива *выделяется количество теплоты* Q (Дж):

$$Q = q \cdot m,$$

где m (кг) — масса топлива,

q (Дж/кг) — *удельная теплота сгорания топлива* — показывает, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании 1 кг данного вида топлива (Таблицы 21, 22 Приложения).

Коэффициент полезного действия (КПД) нагревателя

$$\eta = \frac{cm(t_{\text{кон.}} - t_{\text{нач.}})}{qm_{\text{топ.}}} \cdot 100\%,$$

где η (%) — КПД нагревателя,

$t_{\text{нач.}}$ (°C) — начальная температура вещества,

$t_{\text{кон.}}$ (°C) — конечная температура вещества,

$(t_{\text{кон.}} - t_{\text{нач.}})$ (°C) — изменение температуры вещества,

m (кг) — масса вещества,

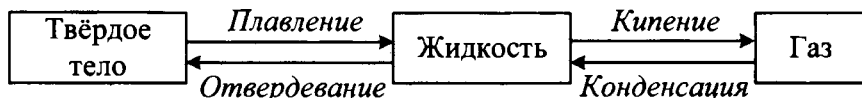
c (Дж/(кг · °C)) — удельная теплоёмкость вещества,

$m_{\text{топ.}}$ (кг) — масса топлива,

q (Дж/кг) — удельная теплота сгорания топлива.

Если энергия топлива полностью идёт на нагревания вещества, то $\eta = 100\%$.

3.2.6. Агрегатные (фазовые) переходы



Плавление — переход вещества из твёрдого состояния в жидкое. Плавление происходит у каждого вещества при определённой температуре, которая называется **температурой плавления** (см. Таблицу 23 Приложения). Температура в процессе плавления не изменяется, значит, скорость движения молекул и кинетическая энергия остаются без изменения. Всё подводимое тепло идёт на разрушение кристаллической решётки. При этом увеличиваются промежутки между молекулами и их потенциальная энергия. Внутренняя энергия вещества увеличивается.

Отвердевание (кристаллизация) — процесс обратный плавлению. Осуществляется переход вещества из жидкого состояния в твёрдое. Происходит он при той же температуре, что и плавление. В процессе отвердевания температура также не изменяется. Скорость молекул и кинетическая энергия их движения остаются без изменения. Промежутки между молекулами и потенциальная энергия их взаимодействия уменьшаются. Значит, внутренняя энергия вещества уменьшается.

Количество теплоты Q (Дж), которое требуется для плавления твёрдого тела или выделяется в процессе отвердевания (вещество находится при температуре плавления):

$$Q = \lambda \cdot m,$$

где m (кг) — масса вещества,

λ (Дж/кг) — **удельная теплота плавления** — показывает, какое количество теплоты необходимо сообщить 1 кг данного вещества, чтобы перевести его из твёрдого состояния в жидкое, при условии, что оно уже нагрето до температуры плавления (Таблица 24 Приложения). В процессе отвердевания 1 кг данной жидкости, охлаждённой до температуры отвердевания, выделится такое же количество теплоты.

Кипение (парообразование) — переход вещества из жидкого состояния в газообразное. Происходит при определённой температуре, которая называется **температурой кипения**. При кипении процесс парообразования идёт во всём объёме жидкости. Несмотря на то, что к кипящему веществу подводят тепло, температура не меняется. Скорость движения молекул и их кинетическая энергия остаются без изменения. Все затраты энергии идут на увеличение промежутков между молекулами. Потенциальная энергия взаимодействия молекул увеличивается. Внутренняя энергия вещества возрастает.

Температура кипения зависит от рода вещества и внешнего атмосферного давления (Таблицы 25—27 Приложения).

Конденсация — процесс, обратный кипению. Происходит при температуре кипения, которая также не изменяется во время всего процесса. Скорость движения и кинетическая энергия молекул остаются без изменения. Промежутки между молекулами и потенциальная энергия их взаимодействия уменьшаются, поэтому внутренняя энергия вещества тоже уменьшается.

Количество теплоты, которое необходимо для парообразования (кипения) вещества или выделяется в процессе конденсации (вещество находится при температуре кипения):

$$Q = L \cdot m \text{ или } Q = r \cdot m,$$

где m (кг) — масса вещества,

L (Дж/кг), r (Дж/кг) — **удельная теплота парообразования** — показывает, какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы

перевести в пар 1 кг жидкости, нагретой до температуры кипения (Таблица 28 Приложения). Такое же количество теплоты выделится в процессе конденсации 1 кг пара, охлаждённого до температуры конденсации.

3.2.7. Тепловые процессы при нагревании и охлаждении

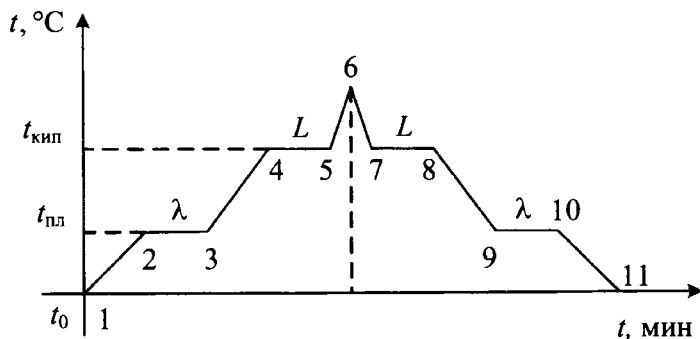


Рис. 3.1

Пояснения к рисунку 3.1:

Внутренняя энергия вещества увеличивается	1-2	Нагревание твёрдого тела	$Q = c_т m(t_{пл} - t_0)$
	2-3	Плавление ($t_{пл}$)	$Q = \lambda \cdot m$
	3-4	Нагревание жидкости	$Q = c_ж m(t_{кип} - t_{пл})$
	4-5	Кипение ($t_{кип}$)	$Q = L \cdot m$ или $Q = r \cdot m$
	5-6	Нагревание пара	$Q = c_п m(t - t_{кип})$
Внутренняя энергия вещества уменьшается	6-7	Охлаждение пара	$Q = c_п m(t - t_{кип})$
	7-8	Конденсация ($t_{кип}$)	$Q = L \cdot m$ или $Q = r \cdot m$
	8-9	Охлаждение жидкости	$Q = c_ж m(t_{кип} - t_{пл})$

	9–10	Отвердевание ($t_{пл}$)	$Q = \lambda \cdot m$
	10–11	Охлаждение твёрдого тела	$Q = c_T m (t_{пл} - t_0)$

На участках 2–3 и 9–10 вещество частично находится в жидком и в твёрдом состояниях, а на 4–5 и 7–8 — в жидком и газообразном.

3.2.8. Испарение

Испарение — переход молекул вещества из жидкого состояния в газообразное. Причём процесс парообразования происходит только со свободной поверхности жидкости. Испарение бывает при любой температуре, так как всегда найдутся достаточно быстрые молекулы, способные преодолеть притяжение молекул жидкости.

Учтите, что в результате испарения из жидкости вылетают самые быстрые молекулы, поэтому температура жидкости понижается.

Скорость испарения зависит от:

- температуры жидкости (больше или меньше быстрых молекул).
- площади открытой поверхности;
- рода жидкости (сильнее или слабее взаимодействие между молекулами);
- наличия воздушных потоков;
- влажности воздуха (от плотности водяных паров над её поверхностью).

3.2.9. Влажность воздуха

Влажность воздуха бывает абсолютная и относительная. **Абсолютная влажность** ρ (кг/м³) — это плотность водяного пара в воздухе:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где m (кг) — масса водяного пара,

V (м³) — объём воздуха.

Относительная влажность φ (%) — это выраженное в процентах отношение абсолютной влажности к плотности насыщенного водяного пара при данной температуре:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас.}}} \cdot 100\%$$

или

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас.}}} \cdot 100\%$$

где ρ (кг/м³) — плотность водяного пара,

$\rho_{\text{нас.}}$ (кг/м³) — плотность насыщенного пара при данной температуре (Таблица 29 Приложения),

p (Па) — парциальное давление водяного пара,

$p_{\text{нас.}}$ (Па) — давление насыщенного пара при данной температуре (Таблица 29 Приложения).

Относительная влажность воздуха не может быть больше 100%.

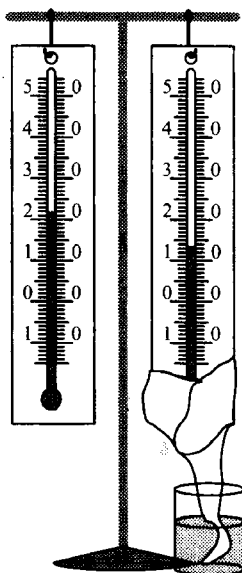
Относительная влажность воздуха измеряется с помощью *психрометра*.

Измерение относительной влажности воздуха

Психрометр состоит из двух термометров и психрометрической таблицы (Таблица 30 Приложения). Сухой термометр показывает температуру в помещении. Второй, влажный, обернут тканью, смоченной водой комнатной температуры (рис. 3.2). В результате испарения воды температура влажного термометра понижается, и он показывает более низкую температуру.

Пример.

Фрагмент психрометрической таблицы



$t_{\text{сух. терм}}$	Разность показаний сухого и влажного термометров								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42

Рис. 3.2

Для определения ϕ следует определить показания сухого термометра (22 °С), найти разницу в показаниях сухого и влажного термометров (22 °С – 14 °С = 8 °С). По показаниям таблицы узнать относительную влажность воздуха. В данном примере получилось 40 %.

3.2.10 Тепловые машины

Тепловые машины — устройства, в которых за счёт внутренней энергии топлива совершается механическая работа. Чтобы тепловая машина работала циклически, необходимо, чтобы часть энергии, полученной от нагревателя, она отдавала холодильнику.

Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины:

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} \cdot 100\%$$

или

$$\eta = \frac{A}{Q_H} \cdot 100\%,$$

где η (%) — КПД тепловой машины,

Q_H (Дж) — количество теплоты, полученное от нагревателя,

Q_X (Дж) — количество теплоты, отданное холодильнику,

A (Дж) — полезная работа.

Тепловые машины не могут иметь КПД больше 100 %.

Коэффициент полезного действия

Название	η
Двигатель внутреннего сгорания (дизельный)	36%
Двигатель внутреннего сгорания (карбюраторный)	до 35%
Тепловоз	28%
Паровая турбина	25–40%
Атомная электростанция	25–35%
Реактивный двигатель	25–30%

Название	η
Паровая поршневая машина	15%
Паровоз	9%

Четыре такта работы двигателя внутреннего сгорания

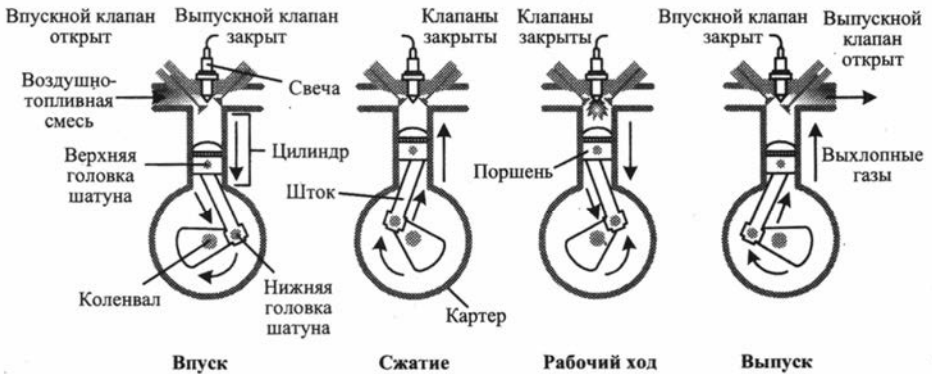


Рис. 3.3

Пояснение к рисунку 3.3:

Первый такт (впуск)	Поршень движется вниз, объём над поршнем увеличивается, в цилиндре создаётся разрежение. Впускной клапан открывается, в цилиндр заходит горючая смесь, клапан закрывается
Второй такт (сжатие)	Поршень движется вверх и сжимает горючую смесь. В момент наибольшего сжатия проскакивает электрическая искра
Третий такт (рабочий ход)	Образующиеся при сгорании газы давят на поршень и толкают его вниз. Движение поршня передаётся шатуну, а через него коленчатому валу с маховиком

Четвёртый такт (выпуск)	Открывается выпускной клапан, и через него продукты сгорания выходят из цилиндра в атмосферу. Клапан закрывается
-------------------------	--

Влияние тепловых двигателей на экологию: повышение температуры воздуха, таяние ледников, повышение уровня Мирового океана; выброс вредных веществ: оксидов азота, углерода и серы.

Способы уменьшения вредного воздействия на экологию: использовать больше солнечную энергию, энергию ветра, бороться с автомобильными пробками, использовать в автомобилях катализаторы, уменьшающие вредные выбросы в атмосферу.

3.2.11. Обобщающая таблица по теме «Тепловые явления»

Количество теплоты	
Нагревание	$Q = cm(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})$
Охлаждение	$Q = cm(t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}})$
Сгорание топлива	$Q = q \cdot m$
Плавление и отвердевание, $t = t_{\text{пл}}$	$Q = \lambda \cdot m$
Кипение и конденсация, $t = t_{\text{кип}}$	$Q = L \cdot m$ или $Q = r \cdot m$
Относительная влажность воздуха	
Относительная влажность воздуха	$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100\%$ или

	$\varphi = \frac{P}{P_{\text{нас}}} \cdot 100\%$
КПД	
КПД нагревателя	$\eta = \frac{cm\Delta t}{qm_{\text{топ}}} \cdot 100\%$
КПД тепловой машины	$\eta = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}}{Q_{\text{н}}} \cdot 100\%$ <p>или</p> $\eta = \frac{A}{Q_{\text{н}}} \cdot 100\%$

4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

4.1. Электростатика

4.1.1. Электрический заряд. Электрическое поле

Электризация тел — это процесс, в результате которого тело приобретает электрический заряд. Если тело после натирания начинает притягивать к себе другие тела, то говорят, что оно наэлектризовано или приобрело электрический заряд.

Электрический заряд q (Кл) определяет способность тел участвовать в электромагнитных взаимодействиях. В природе существует два вида зарядов, которые условно назвали *положительными и отрицательными*. Для получения положительного заряда, например на стеклянной палочке, необходимо потереть её шёлком. Отрицательный заряд получается на эбоните, потёртом о мех. В процессе электризации обязательно участвуют два тела, изготовленных из разных веществ. Каждое из них получает заряд. Эти заряды противоположны по знаку.

Одноимённые заряды отталкиваются, а разноимённые притягиваются.

Помните: заряженные тела притягивают к себе нейтральные тела и тела с противоположным зарядом. Отталкивание наблюдается только между одноимённо заряженными телами.

Закон сохранения заряда: алгебраическая сумма зарядов в замкнутой системе сохраняется.

$$\sum q_i = \text{const.}$$

Систему называют *замкнутой*, если она не обменивается зарядами с окружающей средой.

Проводники — вещества, проводящие электрические заряды (металлы, вода, электролиты).

Диэлектрики — вещества, которые не проводят электрические заряды (резина, стекло, пластмасса, сухое дерево).

Электрическое поле

Вокруг каждого заряда существует особая среда — *электрическое поле*, которое

- материально, то есть существует независимо от нашего сознания;

- возникает вокруг зарядов и обнаруживается по действию на пробный заряд;
- непрерывно распределено в пространстве;
- ослабевает по мере удаления от заряда;
- скорость распространения электрического поля в вакууме равна скорости света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

4.1.2. Делимость электрического заряда

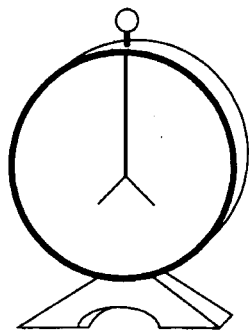


Рис. 4.1

Электроскоп — прибор, позволяющий обнаружить электрические заряды. Если коснуться стержня наэлектризованным телом, то заряд переходит сначала на стержень, а затем на лепестки. Одноимённо заряженные лепестки отталкиваются друг от друга.

Делимость электрического заряда между одинаковыми телами: если соединить проводником первоначально заряженный электроскоп с таким же электроскопом, но без заряда, то можно увидеть, как заряд разделится между ними поровну. Если соединить проводником два одинаковых электроскопа с зарядами q_1 и q_2 , то модули их зарядов станут равны:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{|q_1 \pm q_2|}{2},$$

«+» если заряды одноимённые; «-» если заряды разноимённые.

4.1.3. Открытие электрона

В опытах А.Ф. Иоффе и Р. Милликена было экспериментально доказано, что заряды можно делить до определённого предела.носителем наименьшего электрического заряда является отрицательно заряженный *электрон*.

Заряд электрона $q_e = e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Модуль любого заряда кратен заряду электрона

$$q = Nq_e,$$

где $N = q/q_e$ — избыток или недостаток электронов.

В процессе электризации от одного тела к другому переходят только электроны. Если у тела избыток электронов, то оно заряжено отрицательно, а если недостаток, то положительно.

4.1.4. Конденсатор

Конденсатор служит для накопления электрического заряда. Он представляет собой два проводника, разделённых слоем диэлектрика (рис. 4.2).

Плоский конденсатор — система двух разноимённо заряженных пластин.

Емкость плоского конденсатора C (Ф):

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/(Н · м²);

ϵ — диэлектрическая проницаемость среды (Таблица 31 Приложения),

S (м²) — площадь каждой пластины,

d (м) — расстояние между пластинами конденсатора.

Учтите: у воздушного конденсатора $\epsilon = 1$.

При *параллельном* соединении конденсаторов:

$$C_{\text{пар}} = C_1 + C_2.$$

При *последовательном* соединении конденсаторов:

$$\frac{1}{C_{\text{посл}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Взаимосвязь ёмкости конденсатора, заряда и напряжения:

$$C = \frac{q}{U},$$

где q (Кл) — заряд конденсатора, U (В) — напряжение между пластинами конденсатора.

Учтите: ёмкость конденсатора зависит только от параметров S , d , ϵ и не зависит от заряда и напряжения U .

Энергия конденсатора W , (Дж):

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}.$$

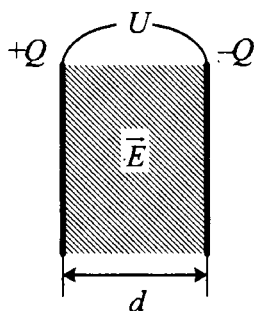


Рис. 4.2

4.2. Постоянный ток

4.2.1. Постоянный электрический ток

Электрический ток — направленное движение заряженных частиц под действием внешнего электрического поля.

Условия существования электрического тока:

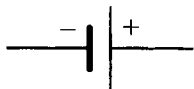
- наличие заряженных частиц;
- электрическое поле (создаётся источниками тока).

Носители электрического тока в различных средах:

- в металлах — свободные электроны;
- в электролитах — положительные и отрицательные ионы;
- в газах — ионы и электроны;
- в полупроводниках — электроны и дырки;
- в вакууме — электроны.

Графическое изображение некоторых элементов электрической цепи

Источник тока



Лампа



Ключ



Соединительный провод



Соединение проводов



Резистор



Амперметр



Вольтметр



Конденсатор



Действительное и условное направления тока

По проводам перемещаются отрицательно заряженные электроны, т.е. ток идёт от «-» к «+» источника. Направление движения электронов называют *действительным*. Но исторически в науке принято *условное* направление тока: от «+» источника к «-».

Действия электрического тока: тепловое, световое, магнитное, химическое, механическое, биологическое.

Сила тока I (А) показывает, какой заряд проходит через поперечное сечение проводника за одну секунду:

$$I = \frac{q}{t}$$

или

$$I = \frac{Nq_e}{t},$$

где q (Кл) — заряд, проходящий через поперечное сечение проводника,

t (с) — время,

N — число электронов,

$q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд электрона.

Напряжение U (В) характеризует работу электрического поля по перемещению положительного заряда:

$$U = \frac{A}{q},$$

где A (Дж) — работа электрического поля,

q (Кл) — заряд.

Сопротивление R (Ом) металлов характеризует тормозящее действие положительных ионов кристаллической решётки на движение свободных электронов.

$$R = \frac{\rho l}{S},$$

где l (м) — длина проводника,

S (мм²) — площадь сечения проводника,

ρ (Ом · мм²/м) — **удельное сопротивление** — показывает, какое сопротивление имеет проводник длиной 1 м с площадью поперечного сечения 1 мм², изготовленный из определенного материала (Таблица 32 Приложения).

4.2.2. Закон Ома

Закон Ома: сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению.

$$I = \frac{U}{R},$$

где I (А) — сила тока,

U (В) — напряжение,
 R (Ом) — сопротивление.

С учётом формулы для расчёта сопротивления:

$$I = \frac{US}{\rho l},$$

где I (А) — сила тока,
 U (В) — напряжение,
 l (м) — длина проводника,
 S (мм²) — площадь сечения проводника,
 ρ (Ом · мм²/м) — удельное сопротивление проводника.

4.2.3. Вольтамперная характеристика

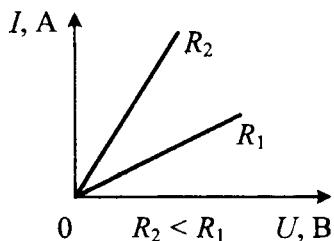


Рис. 4.3

Вольтамперная характеристика — это зависимость силы тока от напряжения (рис. 4.3).

Вольтамперная характеристика позволяет сравнивать и рассчитывать сопротивления.

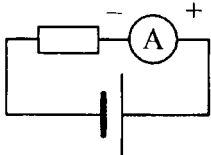
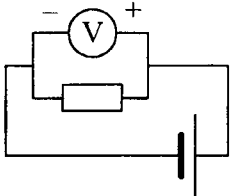
Обращайте внимание на единицы измерения, стоящие на осях.

4.2.4. Законы последовательного и параллельного соединения проводников

	Последовательное соединение	Параллельное соединение
Схема		
Полная сила тока	$I = I_1 = I_2$	$I = I_1 + I_2$
Полное напряжение	$U = U_1 + U_2$	$U = U_1 = U_2$

	Последовательное соединение	Параллельное соединение
Полное сопротивление	$R = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
Два резистора	$R = R_1 + R_2$	$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
N одинаковых резисторов	$R = nR_0$	$R = \frac{R_0}{n}$
Примеры	Ёлочная гирлянда	Многожильный провод

Измерительные приборы

Название прибора	Амперметр	Вольтметр
Назначение	измеряет силу тока	измеряет напряжение
Правила включения	включается в цепь последовательно, соблюдая полярность	включается в цепь параллельно, соблюдая полярность
Схема включения		

4.2.5. Работа и мощность электрического тока.

Закон Джоуля — Ленца

Работа электрического тока на участке цепи равна произведению переносимого заряда q и напряжения U на этом участке:

$$A = q \cdot U,$$

с учётом закона Ома:

$$A = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2 t}{R},$$

где A (Дж) — работа электрического тока,

t (с) — время прохождения тока,

I (А) — сила тока,

U (В) — напряжение,

R (Ом) — сопротивление проводника.

Закон Джоуля — Ленца: при прохождении электрического тока на проводнике выделяется количество теплоты, прямо пропорциональное квадрату силы тока, сопротивлению и времени прохождения тока.

$$Q = I^2 Rt,$$

где Q (Дж) — количество теплоты.

Мощность электрического тока — это работа, совершаемая током за единицу времени:

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R},$$

где P (Вт) — мощность электрического тока.

При вычислении электрической энергии и количества теплоты пользуются формулами для расчёта работы, т.е.

$$A = W = Q = P \cdot t,$$

где W (Дж) — электрическая энергия.

4.2.6. Коэффициент полезного действия

КПД электрического нагревателя η (%):

$$\eta = \frac{Q}{W} \cdot 100\%,$$

где Q (Дж) — количество теплоты, затраченное на нагревание вещества: $Q = cm(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})$;

W (Дж) — электрическая энергия (работа электрического тока; количество теплоты, выделяемое при прохождении тока).

КПД плавильной печи:

$$\eta = \frac{cm\Delta t + \lambda m}{Pt} \cdot 100\%,$$

где c (Дж/(кг · °С)) — удельная теплоёмкость вещества,

m (кг) — масса вещества,

Δt (°C) — изменение температуры,

λ (Дж/кг) — удельная теплота плавления вещества,

P (Вт) — мощность электрического тока,

t (с) — время прохождения тока.

КПД нагревателя с учётом кипения:

$$\eta = \frac{cm\Delta t + Lm}{Pt}$$

или

$$\eta = \frac{cm\Delta t + rm}{Pt},$$

где L (Дж/кг) или r (Дж/кг) — удельная теплота парообразования.

КПД подъёмного крана, насоса:

$$\eta = \frac{mgh}{W} \cdot 100\%,$$

где m (кг) — масса груза,

h (м) — высота,

$g \approx 10 \text{ Н/кг} = 10 \text{ м/с}^2$,

W (Дж) — электрическая энергия;

КПД электродвигателя:

$$\eta = \frac{F_m \cdot s}{W} \cdot 100\%$$

или

$$\eta = \frac{F_m \cdot v}{P} \cdot 100\%,$$

где F_m (Н) — сила тяги,

s (м) — перемещение,

v (м/с) — скорость равномерного прямолинейного движения,

P (Вт) — мощность электрического тока.

4.2.7. Обобщающая таблица по теме «Электрические явления»

Конденсатор	
Емкость плоского конденсатора	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$
При параллельном соединении конденсаторов	$C_{\text{пар}} = C_1 + C_2$

Конденсатор	
При последовательном соединении конденсаторов	$\frac{1}{C_{\text{посл}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$
Заряд и напряжение	$C = \frac{q}{U}$
Энергия конденсатора	$W_3 = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$
Постоянный ток	
Определение силы тока	$I = \frac{q}{t}$
Сопротивление	$R = \frac{\rho l}{S}$
Напряжение	$U = \frac{A_{\text{эл}}}{q}$
Закон Ома	
Для участка цепи	$I = \frac{U}{R}$
С учётом формулы для расчёта сопротивления	$I = \frac{US}{\rho l}$
Последовательное соединение проводников	
Сила тока	$I = I_1 = I_2$
Напряжение	$U = U_1 + U_2$

Последовательное соединение проводников	
Сопротивление	$R = R_1 + R_2$
Одинаковые сопротивления	$R = nR_0$
Параллельное соединение проводников	
Сила тока	$I = I_1 + I_2$
Напряжение	$U = U_1 = U_2$
Сопротивление	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
Одинаковые сопротивления	$R = \frac{R_0}{n}$
Мощность, работа, количество теплоты	
Мощность	$P = IU = \frac{U^2}{R} = I^2R$
Работа, электрическая энергия, количество теплоты	$A = W = Q = Pt = IUt = \frac{U^2}{R}t = I^2Rt$
Закон Джоуля — Ленца	$Q = I^2Rt$
КПД	
КПД электронагревателя	$\eta = \frac{cm\Delta t}{Pt} \cdot 100\%$
КПД плавильной печи	$\eta = \frac{cm\Delta t + \lambda m}{Pt} \cdot 100\%$

КПД	
КПД нагревателя с учётом кипения	$\eta = \frac{cm\Delta t + rm}{Pt} \cdot 100\%$ <p style="text-align: center;">или</p> $\eta = \frac{cm\Delta t + Lm}{Pt} \cdot 100\%$
КПД подъёмного крана, насоса	$\eta = \frac{mgh}{W} \cdot 100\%$
КПД электродвигателя	$\eta = \frac{F_m \cdot s}{W} \cdot 100\%$
КПД электродвигателя при равномерном прямолинейном движении	$\eta = \frac{F_m \cdot v}{P} \cdot 100\%$

5. МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

5.1. Магнитное поле

Постоянные магниты притягивают к себе металлические предметы. Наиболее заметно взаимодействие с телами, содержащими кобальт, железо и никель. Эти вещества называют *ферромагнетиками*. Кроме этих веществ к ферромагнетикам относятся несколько редкоземельных металлов (Gd, Tb, Dy, Ho, Er).

У магнита есть два полюса. Один условно назвали *северным* (N), а другой *южным* (S).

Разноимённые полюса притягиваются, а одноимённые отталкиваются.

Невозможно отделить один полюс от другого. Если распилить постоянный магнит на две части, то получится два маленьких магнита.

Магнитные свойства можно усилить с помощью железной арматуры.

При нагревании магнитные свойства исчезают.

Северный конец магнитной стрелки компаса показывает на географический северный полюс, возле которого находится южный магнитный полюс Земли (рис. 5.1).

Географические и магнитные полюса не совпадают территориально.

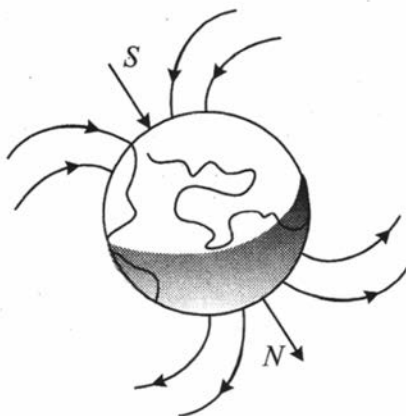


Рис. 5.1

5.1.1. Вектор магнитной индукции

Вектор магнитной индукции \vec{B} (Тл) — силовая характеристика магнитного поля.

Модуль вектора магнитной индукции — физическая величина, равная отношению максимальной силы, действующей со стороны магнитного поля на отрезок проводника с током, к произведению силы тока и длины проводника:

$$B = \frac{F_{Amax}}{I \cdot l}$$

Способы определения направления вектора магнитной индукции

1. С помощью постоянных магнитов:

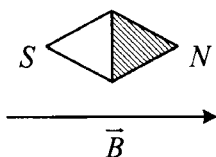


Рис. 5.2

- направление вектора магнитной индукции \vec{B} совпадает с направлением на север магнитной стрелки (рис. 5.2);

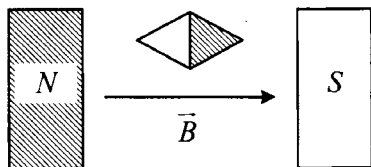


Рис. 5.3

- в пространстве между полюсами постоянного магнита вектор магнитной индукции \vec{B} выходит из северного полюса (рис. 5.3).

2. При определении направления вектора магнитной индукции с помощью витка с током следует применять **правило буравчика**:

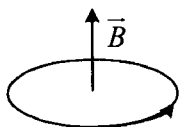


Рис. 5.4

- если по витку ток идёт против часовой стрелки, то вектор магнитной индукции \vec{B} направлен вверх (рис. 5.4);

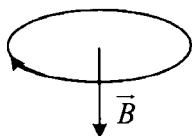


Рис. 5.5

- если ток идёт по часовой стрелке, то вектор магнитной индукции \vec{B} направлен вниз (рис. 5.5).

Обозначения направлений векторов

Вверх ↑	Вниз ↓	Вправо →	Влево ←
На нас перпендикулярно плоскости чертежа 		От нас перпендикулярно плоскости чертежа 	

Линии магнитной индукции — линии, касательные к которым в любой точке пространства совпадают с направлением вектора магнитной индукции. Чем гуще линии магнитной индукции, тем сильнее поле.

5.1.2. Силовые линии магнитного поля

Магнитное поле создано прямолинейным током

- Линии магнитной индукции представляют собой concentric окружности, лежащие в плоскости, перпендикулярной проводнику. Центр окружностей совпадает с осью проводника (рис. 5.6).
- Если ток идёт вверх, то силовые линии направлены против часовой стрелки, если вниз, то по часовой стрелке.

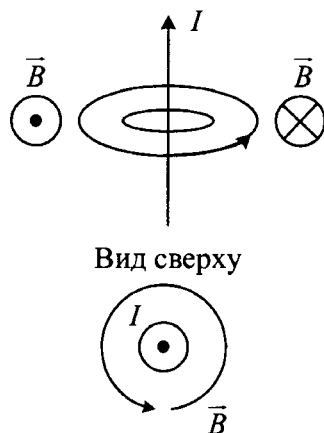


Рис. 5.6

Магнитное поле кругового тока

- Линии магнитной индукции представляют собой окружности, опоясывающие круговой ток (рис. 5.7).
- Вектор магнитной индукции в центре витка направлен вверх, если ток идёт против часовой стрелки, и вниз, если по часовой стрелке.

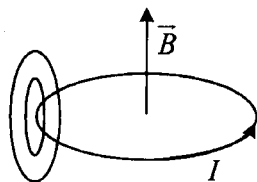


Рис. 5.7

5.1.3. Сила Ампера

Сила Ампера F_A (Н) — сила, которая действует на проводник с током в магнитном поле:

$$F_A = BIl \sin \alpha,$$

где B (Тл) — модуль вектора магнитной индукции,

I (А) — сила тока,

l (м) — длина проводника,

α ($^\circ$) — угол между условным направлением тока и вектором магнитной индукции.

Сила Ампера не действует на проводник, если он располагается параллельно силовым линиям магнитного поля, так как $\sin \alpha = 0$.

Значения синусов некоторых углов

Угол	0°	30°	45°	60°	90°	180°
Значение синуса	0	0,5	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0

Направление силы Ампера определяется по **правилу левой руки**:

- 1) четыре пальца располагают по *условному* направлению тока,
- 2) вектор магнитной индукции входит в ладонь,
- 3) большой палец указывает направление силы Ампера.

Взаимодействие параллельных токов

Если по двум параллельным проводникам ток идёт в одном направлении, то проводники притягиваются, а если в противоположных, то отталкиваются (рис. 5.8).

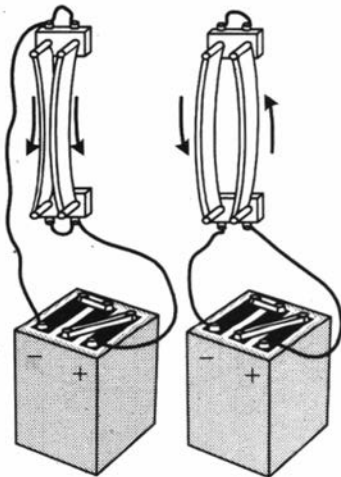


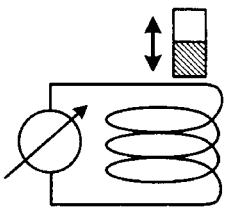
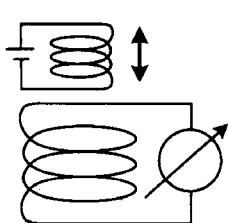
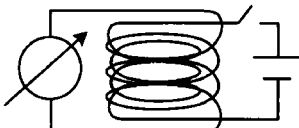
Рис. 5.8

5.2. Электромагнитная индукция

5.2.1. Открытие электромагнитной индукции

Х. Эрстед в 1820 году обнаружил магнитное поле вокруг проводника с током, и учёные решили получить электрический ток с помощью магнитного поля. Впервые это удалось М. Фарадею. Полученный ток назвали «индукционный», то есть возникающий под действием магнитного поля.

Опыты М. Фарадея (1831 г.)

	Схема	Результат
1.	 Схема опыта Фарадея: катушка с гальванометром и постоянный магнит. Катушка соединена с гальванометром. Постоянный магнит находится над катушкой, и стрелка на нем указывает на возможность его движения вверх и вниз.	Индукционный ток возникает при относительном движении постоянного магнита. Причём его направление зависит от направления движения и полярности магнита
2.	 Схема опыта Фарадея: катушка с гальванометром и электромагнит. Электромагнит (катушка с батареей) находится над катушкой с гальванометром, и стрелка указывает на возможность его движения вверх и вниз.	Индукционный ток возникает при относительном движении электромагнита. Причём его направление зависит от направления движения и полярности электромагнита
3.	 Схема опыта Фарадея: катушка с гальванометром и катушка с батареей. Катушка с гальванометром находится на одном полюсе электромагнита, катушка с батареей — на другом.	Индукционный ток возникает только при замыкании и размыкании цепи электромагнита. Направление тока и в этих случаях различно

Направление индукционного тока определяется по **правилу Ленца**: в замкнутом проводящем контуре возникает индукционный ток такого направления, что созданное им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, в результате которого этот ток возник. Другими словами, индукционное магнитное поле препятствует изменению внешнего магнитного поля.

5.2.2. Передача электроэнергии на большие расстояния. Трансформатор

Для уменьшения тепловых потерь при передаче энергии от электростанции к потребителю используют трансформатор, повышающий напряжение (возле электростанций) и понижающий напряжение (около потребителя).

Трансформатор — устройство, преобразующее силу переменного тока и его напряжение.

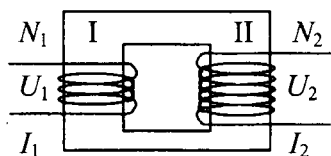


Рис. 5.9

Устройство трансформатора (рис. 5.9).

Первичная катушка I подключается в сеть, содержит N_1 витков.

Ко вторичной катушке II подключают нагрузку. Во вторичной катушке N_2 витков.

Стальной сердечник изготовлен из наборных пластин.

Закон холостого хода трансформатора (цепь вторичной катушки разомкнута):

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2},$$

где U_1 (В) — напряжение, поданное на первичную катушку,

U_2 (В) — напряжение на вторичной катушке.

Закон рабочего хода трансформатора:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1},$$

где I_1 (А) — сила тока в первичной катушке,

I_2 (А) — сила тока во вторичной катушке.

Коэффициент трансформации:

$$k = \frac{U_1}{U_2}.$$

Повышающий трансформатор:

$$k < 1.$$

Понижающий трансформатор:

$$k > 1.$$

КПД трансформатора:

$$\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100\%,$$

где η (%) — коэффициент полезного действия трансформатора.

5.3. Электромагнитные колебания

Электромагнитные колебания — это процессы в электрических цепях, в которых периодически изменяются заряд, сила тока и напряжение. Колебательная система, в которой возникают электромагнитные колебания, называется **электрическим контуром**.

Электрический контур содержит конденсатор и катушку индуктивности.

Период T (с):

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Частота ν (Гц):

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где L (Гн) — индуктивность катушки,

C (Ф) — электроёмкость конденсатора.

При **последовательном** соединении катушек индуктивности:

$$L_{\text{посл.}} = L_1 + L_2.$$

При **параллельном** соединении катушек индуктивности:

$$\frac{1}{L_{\text{пар.}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}.$$

При **последовательном** соединении конденсаторов:

$$\frac{1}{C_{\text{посл.}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

При **параллельном** соединении конденсаторов:

$$C_{\text{пар.}} = C_1 + C_2.$$

Электроёмкость конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}.$$

5.4. Электромагнитные волны

Электромагнитные волны — процесс распространения переменных магнитных и электрических полей.

Источник электромагнитных волн: ускоренно движущаяся заряженная частица.

Возникновение электромагнитных волн: ускоренно движущийся заряд создаёт переменный ток, вокруг которого возникает переменное магнитное поле. Оно порождает переменное электрическое поле, которое приводит к возникновению переменного магнитного поля и т.д.

Электромагнитные волны относятся к *поперечным* волнам

$$\vec{v} \perp \vec{B} \perp \vec{E} \text{ (рис. 5.10).}$$

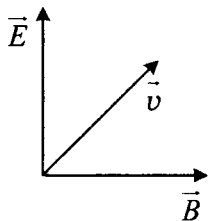


Рис. 5.10

Длина электромагнитной волны в вакууме:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu},$$

где λ (м) — длина волны,

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света,

T (с) — период колебаний,

ν (Гц) — частота колебаний.

Электромагнитные волны, в отличие от механических, распространяются в вакууме. Скорость их движения в вакууме совпадает со скоростью света.

При переходе электромагнитных волн из газообразной среды в жидкую их скорость и длина волны уменьшаются.

Шкала электромагнитных волн

Диапазоны волн располагаются в определённой последовательности. Если рассматривать шкалу снизу вверх, то происходит увеличение частоты волны и уменьшение длины волны (рис. 5.11).

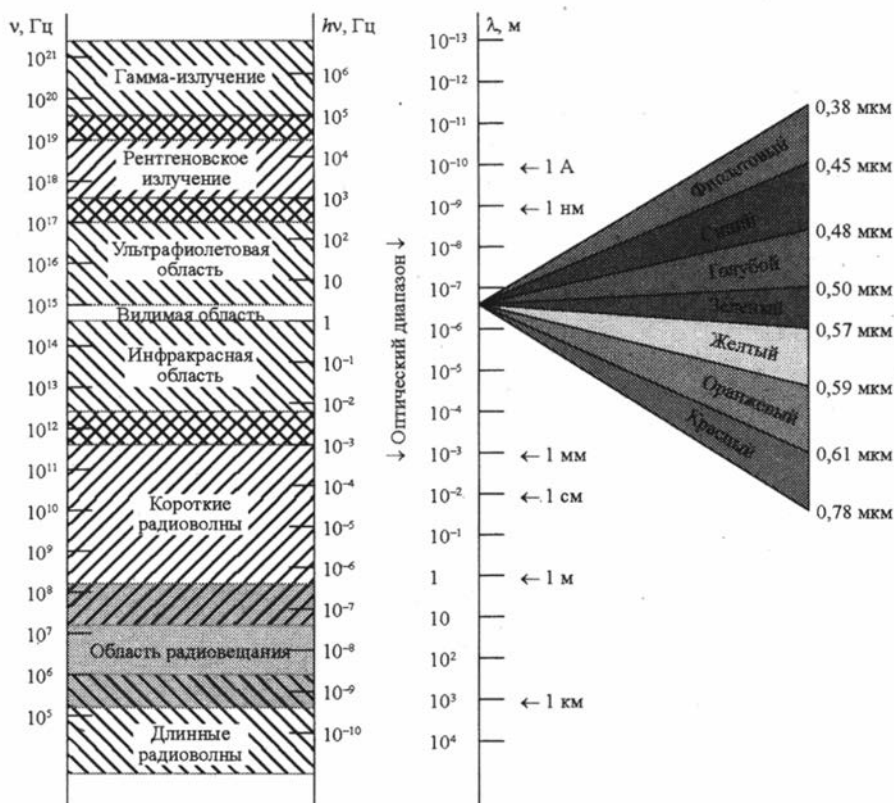


Рис. 5.11

Тип волны	Примеры
Радиоволны	Радиосвязь, телевидение, сотовая связь
Инфракрасное излучение	Сушка лакокрасочных покрытий, овощей и фруктов, нагревательные приборы, приборы ночного видения
Видимый свет $380 \text{ нм} < \lambda < 780 \text{ нм}$	90% информации об окружающем мире человек получает благодаря этому излучению, необходим для фотосинтеза
Ультрафиолетовое излучение	Вызывает пигментацию кожи, выработку витамина D, обладает бактерицидным действием

Тип волны	Примеры
Рентгеновское излучение	В медицине — изучение внутренних органов
Гамма-излучение	Выделяется при радиоактивном распаде и при ядерном взрыве

5.4.1. Обобщающая таблица по теме «Магнитные явления»

Магнитное поле тока	
Сила Ампера	$F_A = BIl \sin \alpha$
Трансформатор	
Закон холостого хода трансформатора (цепь вторичной катушки разомкнута)	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$
Закон рабочего хода трансформатора	$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$
Коэффициент трансформации	$k = \frac{U_1}{U_2}$
Повышающий трансформатор	$k < 1$
Понижающий трансформатор	$k > 1$
КПД трансформатора	$\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100\%$

Электромагнитные колебания	
Период	$T = 2\pi\sqrt{LC}$
Частота	$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
Электромагнитные волны	
Длина электромагнитной волны	$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu}$

6. СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Корпускулярно-волновой дуализм. Для объяснения световых явлений учёные (во главе с И. Ньютоном) предположили, что свет — это поток частиц (корпускул). Другие учёные (Гук, Гюйгенс) использовали представление о том, что свет — это волна. Современная наука считает, что свет имеет двойственную природу. Впервые эту идею выдвинул Луи де Бройль.

6.1. Геометрическая оптика

6.1.1. Прямолинейное распространение света

Луч света — линия, вдоль которой распространяется энергия от источников света.

Закон прямолинейного распространения света выполняется в однородной прозрачной среде: *свет в однородной прозрачной среде распространяется прямолинейно.*

Закон прямолинейного распространения света объясняет образование тени и полутени, солнечное и лунное затмения.

Образование тени (рис. 6.1, а) и полутени (рис. 6.1, б):

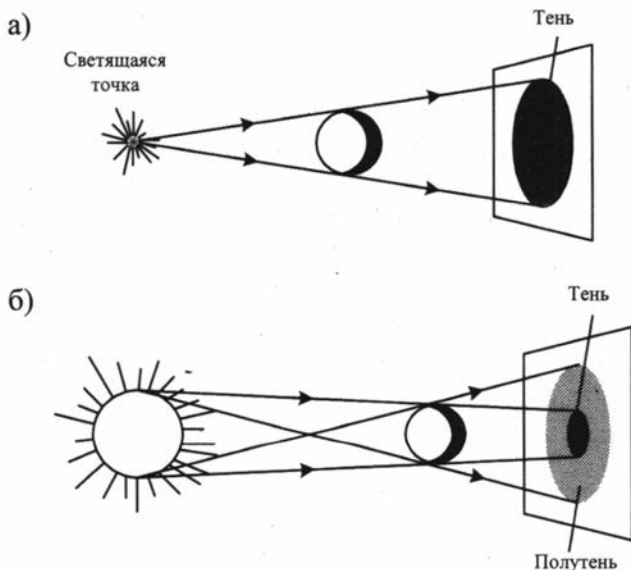


Рис. 6.1

Солнечное затмение (рис. 6.2):

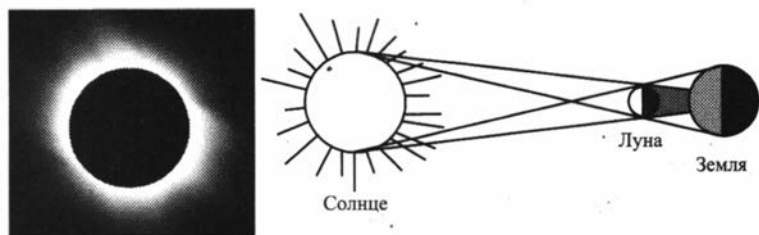


Рис. 6.2

Лунное затмение (рис. 6.3):

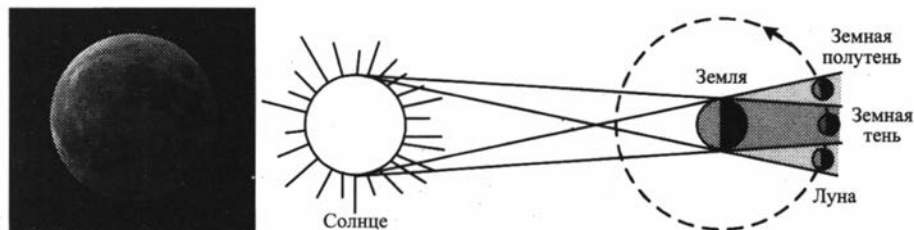


Рис. 6.3

6.1.2. Закон отражения света

Закон отражения (рис. 6.4): падающий луч AO , отражённый луч OB и перпендикуляр OC к границе раздела двух сред, проведённый в точку падения луча, лежат в одной плоскости. Угол падения α равен углу отражения β : $\alpha = \beta$.

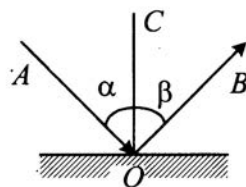


Рис. 6.4

Закон отражения объясняет получение изображения в зеркале, устройство перископа.

Изображение в зеркале (рис. 6.5):

мнимое, прямое, равное по размеру, удалённое от зеркала на такое же расстояние, что и предмет.

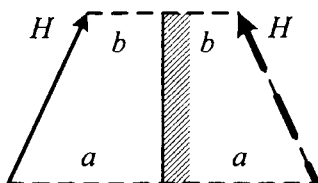


Рис. 6.5

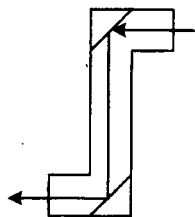


Рис. 6.6

Перископ — прибор, позволяющий проводить наблюдения из подводных лодок, бункеров и других укрытий (рис. 6.6). Перископ содержит два зеркала, расположенных под углом 45° .

6.1.3. Закон преломления света

Закон преломления выполняется, если на пути светового луча встречается граница двух прозрачных сред (рис. 6.7): *падающий луч* AO , *преломлённый луч* OB и *перпендикуляр к границе двух сред* OC лежат в одной плоскости. *Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух сред:*

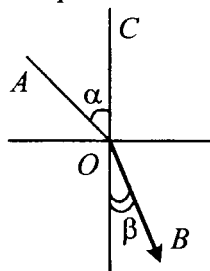


Рис. 6.7

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

и

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2},$$

где α — угол падения,
 β — угол преломления,
 n_1, v_1, λ_1 — абсолютный показатель преломления,

скорость света и длина волны в первой среде,
 n_2, v_2, λ_2 — абсолютный показатель преломления, скорость света и длина волны во второй среде,
 n_{21} — относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Для вакуума:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с и } n = 1.$$

При переходе из одной среды в другую частота и период колебаний не изменяются.

Абсолютный показатель преломления — табличная величина (Таблица № 34 Приложения). Его определили экспериментально, изучая преломление света при переходе из вакуума в данную среду. Чем больше абсолютный показатель среды, тем более плотной она считается.

Частные случаи закона преломления

- Если луч переходит из оптически менее плотной среды в оптически более плотную ($n_1 < n_2$), то он отклоняется к перпендикуляру (рис. 6.8) и $\alpha > \beta$.

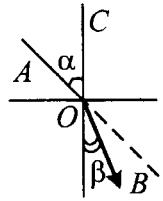


Рис. 6.8

- Если луч переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную ($n_1 > n_2$), то он отклоняется от перпендикуляра (рис. 6.9) и $\alpha < \beta$.

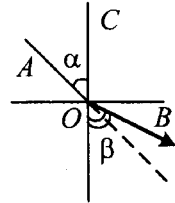


Рис. 6.9

- **Полное отражение** бывает только при переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, т.е. когда $n_1 > n_2$. В этом случае преломлённый луч отклоняется от перпендикуляра и приближается к границе раздела двух сред (рис. 6.10).

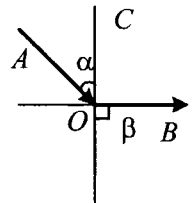


Рис. 6.10

Наступает такой момент, когда угол преломления становится равным 90° . Угол падения, при котором угол преломления равен 90° , называют **предельным**:

$$\frac{\sin \alpha_{\text{пред}}}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin \alpha_{\text{пред}} = \frac{n_2}{n_1}.$$

6.1.4. Линзы

Линзы — прозрачные, обычно стеклянные, тела, ограниченные двумя сферическими поверхностями.

Виды линз

Двояковыпуклые линзы (рис. 6.11) — лупа, объектив фотоаппарата, хрусталик глаза. Собирают лучи, если находятся в оптически менее плотной среде.

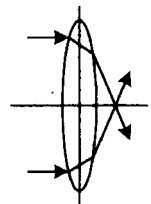
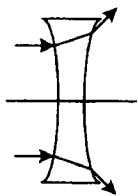


Рис. 6.11



Двоковогнутые линзы (рис. 6.12) — рассеивают лучи, если находятся в оптически менее плотной среде.

Рис. 6.12



Выпукло-вогнутые линзы (рис. 6.13) — могут быть и рассеивающими, и собирающими (пример: линзы в очках).

Рис. 6.13

Условные обозначения тонких линз:

Собирающая линза	Рассеивающая линза

Основные точки и линии собирающей линзы (рис. 6.14)

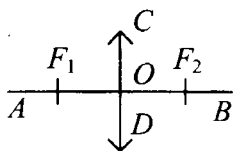


Рис. 6.14

AB — главная оптическая ось,
 CD — положение линзы,
 O — оптический центр линзы,
 F_1, F_2 — фокусы линзы.

Ход лучей в собирающей линзе

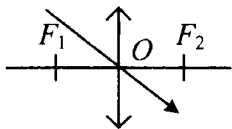


Рис. 6.15

- Лучи, проходящие через оптический центр линзы, не преломляются (рис. 6.15).

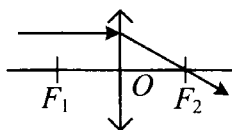


Рис. 6.16

- Лучи, параллельные главной оптической оси, после преломления в собирающей линзе проходят через фокус (рис. 6.16).

- Лучи, проходящие через фокус, после преломления в собирающей линзе пойдут параллельно главной оптической оси (рис. 6.17).

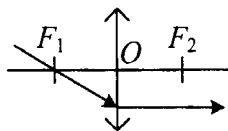


Рис. 6.17

Изображение светящейся точки в собирающей линзе: для построения изображения необходимо провести два луча, идущие от светящейся точки. Если лучи пересекутся, то в месте их пересечения располагается *действительное* изображение точки. Если лучи не пересекаются, то необходимо найти точку пересечения их продолжений. В этом месте располагается *мнимое* изображение точки.

Изображение предметов в собирающей линзе: для построения изображения предмета AB необходимо построить изображения светящихся точек A' и B' . Отрезок $A'B'$ и будет изображением предмета.

Изображение, даваемое собирающей линзой

$d < F$	увеличенное	прямое	мнимое
$F < d < 2F$	увеличенное	перевернутое	действительное
$d = F$	равное предмету	перевернутое	действительное
$d > 2F$	уменьшенное	перевернутое	действительное

Основные точки и линии рассеивающей линзы (рис. 6.18):

AB — главная оптическая ось,
 CD — положение линзы,
 O — оптический центр линзы,
 F_1, F_2 — фокусы линзы.

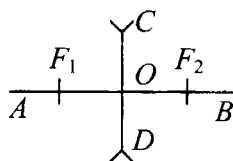


Рис. 6.18

Ход лучей в рассеивающей линзе

- Лучи, проходящие через оптический центр линзы, не преломляются (рис. 6.19).

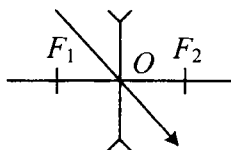


Рис. 6.19

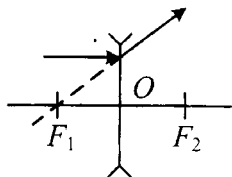


Рис. 6.20

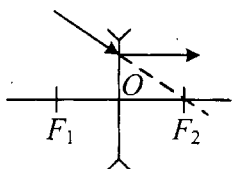


Рис. 6.21

- Лучи, параллельные главной оптической оси, после преломления в рассеивающей линзе выходят из фокуса (рис. 6.20).
- Лучи, идущие в фокус, после преломления в рассеивающей линзе пойдут параллельно главной оптической оси (рис. 6.21).

Изображение, даваемое рассеивающей линзой

$d < F$	уменьшенное	прямое	мнимое
$F < d < 2F$			
$d = F$			
$d > 2F$			

Если оптическая система состоит из двух линз, то сначала строят изображение в первой линзе. Именно оно становится предметом для построения изображения во второй линзе.

6.1.5. Оптическая сила

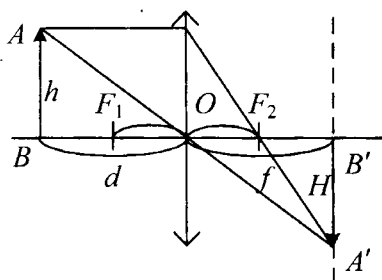


Рис. 6.22

Оптическая сила D (дптр):

$$D = \pm \frac{1}{F},$$

где F (м) — фокусное расстояние линзы,

«+» — если линза собирающая,

«-» — если линза рассеивающая.

Действительное изображение в собирающей линзе (рис. 6.22):

AB — предмет,

$A'B'$ — его изображение,

d (м) — расстояние от линзы до предмета,

f (м) — расстояние от линзы до изображения (до экрана),
 F (м) — фокусное расстояние линзы.

6.1.6. Формула тонкой линзы

Формула тонкой линзы:

$$\pm \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}.$$

Знаки в формуле тонкой линзы

$+F$ собирающая линза	$+d$ действительный источник	$+f$ действительное изображение
$-F$ рассеивающая линза	$-d$ мнимый источник	$-f$ мнимое изображение

Линейное увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d},$$

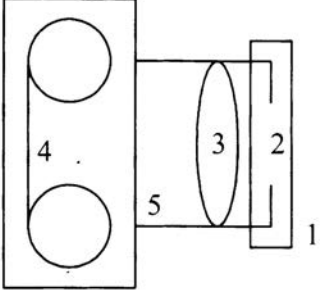
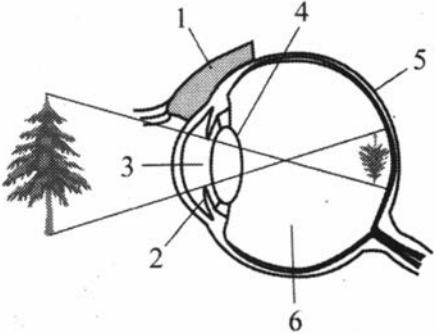
где h — высота предмета, H — высота изображения.

Частные случаи формулы тонкой линзы

Характеристики изображения	Формула тонкой линзы	Расстояние от предмета до изображения
собирающая линза, действительное изображение $d > F$	$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$	$f + d$
собирающая линза, мнимое изображение, если $d < F$	$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$	$f - d$
рассеивающая линза, мнимое изображение	$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$	$d - f$

6.1.7. Глаз

Оптическая система глаза подобна оптической системе простого фотоаппарата.

Фотоаппарат	Глаз
	
1. Крышка	1. Веко
2. Диафрагма	2. Радужная оболочка 3. Зрачок
3. Собирающая линза (объектив)	4. Хрусталик
4. Светочувствительная плёнка	5. Глазное дно с нервными окончаниями: колбочками (цветовое восприятие) и палочками
5. Воздух	6. Стекловидное тело

Общее

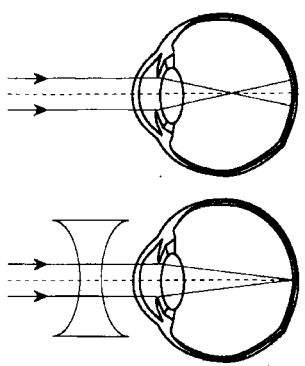
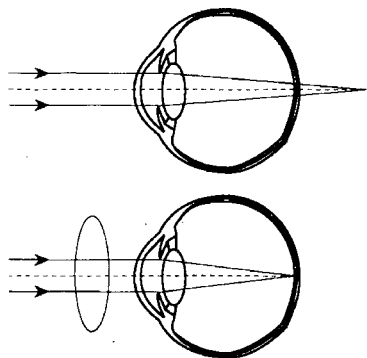
На глазном дне, так же как на плёнке, получается перевёрнутое, уменьшенное, действительное изображение предмета.

Отличия

Чтобы получить чёткое изображение предмета на плёнке, перемещают объектив.

Глазные мышцы *изменяют форму хрусталика*. Если необходимо рассмотреть мелкие близкие предметы, то хрусталик становится выпуклым. Для наблюдения за далёкими телами форма хрусталика становится более плоской. Способность глаза менять форму хрусталика называется *аккомодацией*.

Дефекты зрения и их коррекция

<p><i>Близорукость (миопия).</i> Люди, страдающие близорукостью, плохо видят вдаль; обладают выпуклым хрусталиком; изображение формируется до сетчатки; им следует носить очки с рассеивающими линзами.</p>	
<p><i>Дальнозоркость (гиперметропия).</i> Обычно с возрастом многие люди становятся дальнозоркими. При этом недостатке зрения они плохо видят мелкие, близкие предметы. Форма хрусталика — плоская. Изображение формируется за сетчаткой. Необходимо носить очки с собирающими линзами.</p>	
<p><i>Дальтонизм.</i> Люди с этим дефектом путают или не различают цвета.</p>	

6.1.8. Свет и цвет

Свет — электромагнитная волна.

Белый свет — сложный свет. И. Ньютон впервые разложил белый свет на составляющие его пучки разного цвета. Для этого он пропустил узкий пучок света через треугольную стеклянную призму (рис. 6.23). Радужную полоску, полученную на экране, назвали **спектром**. Ньютон увидел в нём семь цветов. Последовательность цветов легко запомнить, используя *фразу-подсказку*: «Каждый охотник желает знать, где сидит фазан» (красный — оранжевый — жёлтый — зелёный — голубой — синий — фиолетовый).

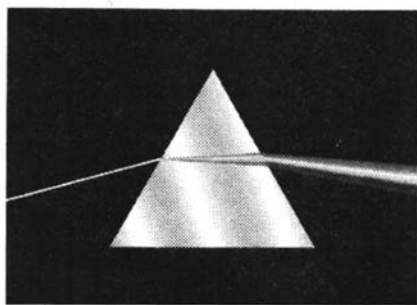


Рис. 6.23

Дисперсия — явление разложения белого света в спектр. Белый свет состоит из электромагнитных волн разной частоты. Попадая в призму, эти волны по-разному преломляются (больше всего преломляются волны, соответствующие фиолетовому цвету, меньше — красному) и изменяют свою скорость (быстрее всего движутся «красные волны», медленнее «фиолетовые»). Пример дисперсии — радуга.

Радуга — это разложение белого света на каплях дождя.

Условия наблюдения радуги:

- Радуга появляется на небе после дождя.
- Наблюдатель находится вне зоны дождя.
- Солнце не выше 43° над горизонтом.

Светофильтры — прозрачные тела, которые пропускают определённые длины волн, а остальные поглощают.

После прохождения через светофильтр белый свет становится **монокроматическим**, то есть содержит длину волны, соответствующую одному цвету.

Цвет тел определяется тем, какие длины волн тело отражает. Например, красные тела отражают длины волн, соответствующие красному цвету, а остальные поглощают. Предмет чёрного цвета всё поглощает, а предмет белого цвета отражает все длины волн.

Цвет тел также зависит от цвета падающего света. Лучше всего это наблюдать, освещая белые предметы через разные светофильтры.

6.1.9. Обобщающая таблица по теме «Оптика»

Законы геометрической оптики	
Закон отражения	$\alpha = \beta$
Закон преломления	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ <p>при этом $v = \text{const}$, $T = \text{const}$.</p>

Линзы	
Оптическая сила линзы	$D = \pm \frac{1}{F}$
Формула тонкой линзы	$\pm \frac{1}{F} = \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}$
Увеличение линзы	$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$

7. КВАНТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

7.1. Строение атома и атомного ядра

7.1.1. Строение атома

Экспериментальные факты:

- атом в целом электрически нейтрален;
- частица с наименьшим, отрицательным зарядом (электрон) находится внутри атома;
- масса атома в 1000 раз больше массы электрона.

Модель Дж. Дж. Томсона — «пудинг с изюмом».

По мнению Дж. Дж. Томсона, весь атом заполнен положительным зарядом, а в него, как изюминки, вкраплены электроны.

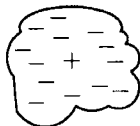


Рис. 7.1

Э. Резерфорд решил проверить модель Дж. Дж. Томсона. Он изучал рассеяние α -частиц (положительных частиц, образующихся при радиоактивном распаде, их масса сравнима с массой атома).

Опыт Э. Резерфорда

Установка Э. Резерфорда (рис. 7.2):

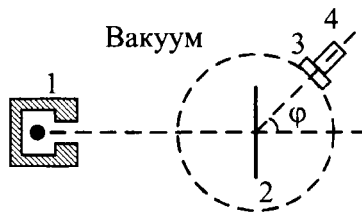


Рис. 7.2

- 1 — радиоактивное вещество, испускающее α -частицы,
- 2 — золотая фольга,
- 3 — светочувствительный экран,
- 4 — микроскоп.

Результат опыта:

большинство α -частиц не меняли своего направления, а одна из 2000 отклонялась на угол больше 90° , из чего Резерфорд сделал вывод, что атом пуст и только в центре — массивное ядро.

Планетарная модель атома Э. Резерфорда

В центре атома находится компактное, массивное, положительно заряженное ядро, вокруг которого на сравнительно большом расстоянии движутся электроны (рис. 7.3).

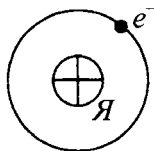


Рис. 7.3

Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов.

Протон:

заряд $q_p = |q_e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл,

масса $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг.

Нейтрон:

$q_n = 0$,

$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг.

Обозначение химического элемента:



где Z — **зарядовое число** — это количество протонов в ядре; количество электронов в нейтральном атоме; порядковый номер химического элемента в таблице химических элементов Д.И. Менделеева;

A — **массовое число** — это сумма протонов и нейтронов в ядре;

$N = A - Z$ — число нейтронов.

Схемы атомов

${}^1_1\text{H}$	${}^4_2\text{He}$	${}^7_3\text{Li}$

7.1.2. Ядерные силы

Между протонами и нейтронами действуют силы не электрической природы. Эти силы называют ядерными. Причём для ядерного взаимодействия неважно наличие электрического заряда у протона.

Нуклоны — частицы, входящие в состав ядра (с точки зрения ядерного взаимодействия). Число нуклонов равно сумме протонов и нейтронов (A).

Масса атомного ядра $m_{\text{я}}$ измеряется в атомных единицах массы (а.е.м.): $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Точные опыты показали, что масса ядра меньше суммы масс составляющих его частиц (Таблица 36 Приложения).

$$m_{\text{я}} < Zm_p + Nm_n$$

Дефект массы Δm (а.е.м.):

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}$$

Энергия связи E (Дж) или E (эВ) — энергия, которую необходимо затратить, чтобы разделить ядро на отдельные нуклоны, или энергия, которая выделяется при формировании ядра:



$$E = \Delta mc^2,$$

где $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ — скорость света.

Ионы — заряженные частицы. Положительный ион — атом, потерявший один или несколько электронов; отрицательный ион — атом, захвативший один или несколько лишних электронов.

Изотопы — атомы, содержащие в ядре одинаковое число протонов, но разное число нейтронов. Число электронов у изотопов одинаково, поэтому они обладают одинаковыми химическими свойствами, а физическими свойствами изотопы могут отличаться.

Изотопы водорода

Водород ${}^1_1\text{H}$	Дейтерий ${}^2_1\text{H}$	Тритий ${}^3_1\text{H}$
 $N = 0$	 $N = 1$	 $N = 2$

7.1.3. Радиоактивность

С историей открытия радиоактивности можно ознакомиться в разделе 9.

Радиоактивность — способность некоторых ядер к самопроизвольному превращению в другие ядра. Обычно этот процесс сопровождается испусканием различных частиц.

Названия и обозначения некоторых частиц

Название	Символ
α -частица — ядро атома гелия	$\alpha \equiv {}_2^4\text{He}$
дейтрон — дейтерий — ядро тяжёлого водорода	$d \equiv D \equiv {}_1^2\text{H}$
нейтрон	${}_0^1n$
протон — ядро атома водорода	${}_1^1p \equiv {}_1^1\text{H}$
позитрон	${}_{+1}^0e$
тритий — ядро сверхтяжёлого водорода	$t \equiv T \equiv {}_1^3\text{H}$
электрон	${}_{-1}^0e$

Естественная радиоактивность открыта А. Беккерелем. Ядерное взаимодействие короткодействующее. Ядра тяжёлых элементов имеют сравнительно большие размеры, поэтому между отдельными участками может возникнуть электрическое отталкивание, и ядро разрушается.

Период полураспада — время, за которое исходное число ядер в среднем уменьшается вдвое (Таблица 37 Приложения).

Виды радиоактивных излучений

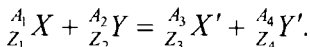
Если излучение, идущее от радиоактивного вещества, поместить в электрическое (или магнитное) поле, то оно распадается на три потока:

Заряд	Положительный	Нейтральный	Отрицательный
Название	α -лучи	γ -лучи	β -лучи
Состав излучения	Ядра атома гелия ${}_2^4\text{He}$	Коротковолновое электромагнитное излучение	Поток электронов ${}_{-1}^0e$

Заряд	Положительный	Нейтральный	Отрицательный
Что происходит с ядрами	Из ядра вылетает ${}^4_2\text{He}$	Ядро из возбуждённого состояния переходит в основное	В ядре происходит распад нейтрона ${}^1_0n = {}^0_{-1}e + {}^1_1p$
Превращения в ядрах	α -распад ${}^A_ZX = {}^4_2\text{He} + {}^{A-4}_{Z-2}Y$	γ -распад ${}^A_ZX = {}^A_ZX$	β -распад ${}^A_ZX = {}^0_{-1}e + {}^A_{Z+1}Y$
Защита от излучения	Лист бумаги толщиной 0,1 мм	Слой свинца	Алюминиевая пластина толщиной 3,5 см

7.1.4. Ядерные реакции

Ядерные реакции — это изменения в ядрах, которые происходят под действием других ядер или элементарных частиц:



Примеры ядерных реакций

<i>Ядерные реакции деления тяжёлых ядер (например, урана под действием нейтронов)</i>	<i>Термоядерные реакции слияния (синтеза) лёгких ядер при очень высокой температуре</i>
---	---

Законы сохранения:

$$\sum Z = \sum Z'; \quad \sum A = \sum A'; \quad \sum N = \sum N'.$$

Учите: в ядерных реакциях закон сохранения заряда выполняется полностью, а закон сохранения массы «нарушается». Изменение массы связано с выделением или поглощением энергии. В ядерных реакциях энергия выделяется, если $m_1 + m_2 > m'_1 + m'_2$, а поглощается — если $m_1 + m_2 < m'_1 + m'_2$ (Таблицы 38, 39 Приложения).

Энергия, выделяемая или поглощаемая в ядерных реакциях:

$$E = |(m_1 + m_2) - (m'_1 + m'_2)| \cdot c^2,$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света.

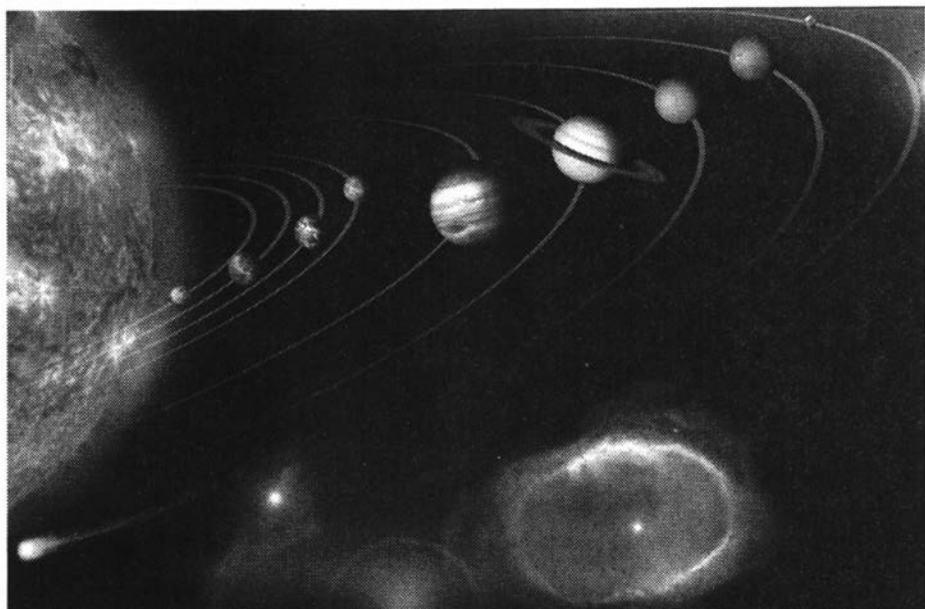
7.1.5. Обобщающая таблица по теме «Квантовая физика»

Строение атома	
Обозначение ядра: ${}^A_Z X$	A — массовое число (сумма протонов и нейтронов, число нуклонов): $A = Z + N$ Z — зарядовое число (число протонов в ядре и электронов в атоме); N — число нейтронов.
Дефект массы	$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}$
Энергия связи	$E = \Delta mc^2$
Ионы	«+» ион, если число электронов меньше Z «-» ион, если число электронов больше Z
Частицы	
Протон	${}^1_1 p \equiv {}^1_1 \text{H}$
Нейтрон	${}^1_0 n$
Электрон	${}^0_{-1} e$
Позитрон	${}^0_{+1} e$
α -частица	${}^4_2 \text{He}$

Радиоактивные распады	
α-распад	${}^A_Z X = {}^4_2 \text{He} + {}^{A-4}_{Z-2} Y$
β- распад	${}^A_Z X = {}^0_{-1} e + {}^A_{Z+1} Y$
γ-распад	${}^A_Z X = {}^A_Z X$
Ядерные реакции	
Выделяемая или поглощаемая энергия	$E = (m_1 + m_2) - (m'_1 + m'_2) \cdot c^2$

8. ЭЛЕМЕНТЫ АСТРОНОМИИ

8.1. Солнечная система



8.1.1. Солнце

Солнце — центральное, самое массивное тело Солнечной системы. Его масса в 333 000 раз превышает массу Земли. Диаметр Солнца в 109 раз больше диаметра Земли, то есть примерно равен 1 400 000 км. Как и все звёзды, Солнце — раскалённый газовый шар. Солнце является основным источником энергии. В основном оно состоит из водорода с примесью гелия. На долю тяжёлых металлов приходится 1—2% вещества. Вещество на Солнце ионизовано, то есть атомы потеряли свои внешние электроны. Смесь положительных ионов и электронов представляет собой плазму. Изучению с помощью спектрального анализа доступны только верхние слои Солнца. Выводы о внутреннем строении учёные делают на основе законов физики. Считается, что в недрах Солнца протекают термоядерные реакции, то есть происходит слияние атомов водорода с образованием гелия. При этом выделяется колоссальная энергия. Через 5 млрд лет весь водород сгорит, и внутренняя часть нашей звезды начнёт сжиматься, а внешняя, остывая, будет расширяться в пространстве. Эта стадия в эволю-

ции звёзд называется *красным гигантом*. Когда оболочка рассеется, Солнце превратится в *белого карлика*.

8.1.2. Планеты земной группы

Четыре ближайшие к Солнцу планеты: Меркурий, Венера, Земля и Марс хорошо освещены Солнцем, имеют достаточно высокую температуру, малые размеры и массу, их средняя плотность превышает плотность воды. Планеты земной группы относительно медленно вращаются вокруг своей оси и быстро обращаются вокруг Солнца. У Меркурия и Венеры нет спутников, у Земли есть спутник Луна, у Марса — Фобос и Деймос.

Меркурий назван в честь бога торговли. Небольшая планета, по размерам и рельефу сравнима с Луной. На ней нет атмосферы, наблюдаются резкие перепады температуры (в тени $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на солнечной стороне $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$). Один меркурианский год длится 88 земных суток, а полный оборот вокруг оси планета делает за 58,7 наших суток.

Венера названа в честь богини красоты. Планета по размеру и массе сравнима с Землёй. Имеет плотную атмосферу, в которой содержится 97% углекислого газа. На Венере наблюдается «парниковый эффект», поэтому поверхность сильно прогрета до $470\text{—}480\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Земля. Самая красивая планета. Она очень удачно расположена по отношению к Солнцу. У нас есть атмосфера и вода, находящаяся в жидком состоянии. Благодаря этому нет резких перепадов температуры. Только на Земле есть такой богатый животный и растительный мир. Вокруг Земли обращается Луна.

Марс назван в честь бога войны. Планета вдвое меньше Земли, имеет разреженную атмосферу, в основном состоящую из углекислого газа. На Марсе происходит смена времён года. Но даже днём на экваторе примерно $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вокруг Марса обращаются два спутника — Фобос («страх») и Деймос («ужас»).

8.1.3. Пояс астероидов (малые планеты)

Холодные тела, подобные планетам. Из-за малых размеров видны в телескоп в виде точек (как звёзды). Диаметры астероидов от 1 км до 1000 км. Некоторые малые планеты имеют вытянутые орбиты. Иногда подходят к Земле на близкие расстояния. В настоящее время известно более 3000 астероидов.

8.1.4. Планеты-гиганты

К планетам-гигантам относятся 4 газовые планеты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Планеты-гиганты удалены от Солнца, плохо освещены, имеют низкую температуру. У них большие размеры и масса. Планеты-гиганты относительно медленно обращаются вокруг Солнца и быстро вращаются вокруг оси. У них много спутников, есть кольца.

Юпитер назван в честь главного бога римской мифологии. Юпитер — самая крупная планета Солнечной системы. Он в 11 раз больше Земли по диаметру и в 318 раз больше по массе. На один круг вокруг Солнца Юпитер тратит 12 земных лет, а период вращения вокруг оси составляет всего 10 часов. Красное пятно на Юпитере представляет собой гигантский атмосферный вихрь. У этой планеты есть магнитное поле и связанные с ним пояса радиации. Вокруг Юпитера обращается больше 60 спутников. 4 спутника впервые обнаружил Г. Галилей.

Сатурн назван в честь бога времени. Сатурн — вторая по размерам планета. Имеет больше 20 спутников и ярко выраженное кольцо, которое расположено в экваториальной области планеты. Внешний радиус кольца составляет примерно 140 000 км, а толщина превышает 1—2 км. Кольцо состоит из громадного числа небольших частиц, обращающихся вокруг планеты по различным орбитам, лежащим в одной плоскости.

Уран. Планета была обнаружена с помощью телескопа английским астрономом В. Гершелем. Уран в 4 раза больше Земли по диаметру. На полный оборот вокруг Солнца планета затрачивает 84 года. Ось вращения планеты лежит в плоскости её орбиты. Уран — единственная планета, которая обращается вокруг Солнца «лёжа на боку».

Нептун назван в честь бога морей. Планета была обнаружена «на кончике пера», то есть предварительно была определена её орбита и предсказано положение планеты. Нептун примерно в 2 раза больше Земли по диаметру и в 17 раз по массе. Один оборот вокруг Солнца длится 165 земных лет.

8.1.5. Второй пояс астероидов

За последней планетой Солнечной системы — Нептуном — располагается второй пояс астероидов. Наиболее изученным небесным телом, входящим в него, является Плутон.

Плутон, известный ранее как девятая планета, был открыт в 1930 году. По размерам Плутон меньше Луны, практически лишён атмосферы. Средняя температура на поверхности -223°C . Год на Плуtone длится 284 земных года. С 2008 г. астрономы считают Плутон карликовой планетой. Карликовые планеты, или плутоноиды, значительно удалены от Солнца, плохо освещены и мало изучены.

8.1.6. Луна

Луна — естественный спутник Земли. Она представляет собой холодное шаровидное тело с твёрдой поверхностью. Диаметр Луны примерно в 4 раза меньше диаметра Земли, а её масса меньше земной в 81 раз. Ускорение свободного падения на Луне $1,63\text{ м/с}^2$.

На Луне нет атмосферы, которая спасла бы её от значительных перепадов температуры и вторжения космических частиц. Ночью температура лунной поверхности понижается до $-160 \div -170^{\circ}\text{C}$. За длительный лунный день поверхность спутника прогревается до $+130^{\circ}\text{C}$.

Луна лишена воды, хотя низменности её поверхности Г. Галилей назвал «морями», а горные хребты — «материками».

Луна участвует в двух движениях: вокруг Земли и вокруг своей оси. Периоды этих движений почти совпадают, в результате чего Луна обращена к Земле только одной стороной. Обратную сторону Луны впервые удалось сфотографировать в 1959 году советскому космическому аппарату «Луна-3». 21 июля 1969 г. на поверхность Луны ступили американские астронавты Нил Армстронг и Эдвин Олдрин. В период с 1970 г. по 1976 г. советские учёные изучали Луну с помощью автоматических станций, которые бурили лунный грунт и доставляли его образцы на Землю. Химический состав лунных пород оказался значительно беднее земных и имел сходство с базальтовыми породами.

Луна своим тяготением влияет на водную поверхность Земли, вызывая приливы и отливы океана.

8.1.7. Кометы

Кометы имеют вид небольшого туманного пятна, которое называется *головой* кометы. Иногда видно сравнительно яркое *ядро*, похожее на звезду. В действительности ядро — это огромная глыба смёрзших-

ся газов, внутри которой находятся твёрдые частицы. Кометы можно наблюдать только в то время, когда они движутся около Солнца. Холодное ядро кометы прогревается и из него выделяется газ и пыль, образуется газовая оболочка — голова кометы. Из неё выходит *хвост* кометы, который обычно направлен от Солнца. Самая известная — комета Галлея — прилетает к Земле с периодичностью в 75 лет.

8.1.8. Метеорные тела

Неисчислимое количество мелких тел, движущихся в межпланетном пространстве. Их размеры различны — от мельчайших пылинок до достаточно крупных тел (несколько десятков метров в поперечнике). Земная атмосфера защищает планету от вторжения большинства метеорных тел. Если скорость тела более 30 км/с, то оно быстро раскаляется в атмосфере и начинает светиться. Болид — летящий по небу огненный шар. Упавшее метеорное тело называют *метеоритом*. Метеориты бывают железные (91% Fe), железно-каменные (55% Fe) и каменные (16% Fe).

8.2. Звёзды

Звёзды — это раскалённые плазменные шары, сравнимые по размерам и массе с Солнцем. В недрах большинства звёзд идут термоядерные реакции, поэтому звёзды являются источниками энергии.

Условия равновесия звезды

Большинство звёзд на протяжении больших промежутков времени не меняют свою светимость. Такие звёзды называются *стационарными*. К ним, в частности, относится наше Солнце. Солнце — это гигантский термоядерный реактор, созданный природой. Огромная сила тяготения удерживает высокотемпературную плазму. О такой силе физикам, занимающимся получением управляемой термоядерной реакции в земных условиях, приходится только мечтать. Рассмотрим, каким образом осуществляется саморегуляция Солнца. Предположим, по каким-либо причинам уменьшился объём Солнца, тогда в его недрах повышается давление и температура, ускоряются термоядерные реакции, возрастает внутреннее давление плазмы и объём восстанавливается. Если размер Солнца увеличится, то замедляются термоядерные реакции и гравитационное сжатие уменьшит объём до первоначальных размеров. Таким образом, равновесие обычных звёзд обеспечивается равенством сил тяготения и сил внутреннего давления плазмы.

Спектральный класс и температура

В 1886 году были получены спектры большинства звёзд, и сходные между собой спектры сгруппировали в 7 классов. Каждому присвоили букву латинского алфавита.

О — В — А — F — G — К — М

Чтобы запомнить последовательность обозначения спектральных классов, следует повторить мнемоническую фразу: «Один бритый англичанин финики жевал как морковку».

Спектры большинства звёзд представляют собой спектры поглощения: на фоне непрерывного спектра видны тёмные линии. Проанализировав их, астрономы пришли к выводу, что химический состав звёзд примерно одинаков, различия связаны с температурой. У звёзд класса А — О присутствуют интенсивные линии водорода. Значит,

это горячие звёзды (30 000—10 000 °С). У звёзд класса G — M характерными линиями являются полосы оксидов металлов. Такая особенность говорит о том, что это холодные звёзды (6000—3000 °С). Горячие звёзды кажутся голубовато-белыми, а холодные имеют красноватый оттенок.

Эволюция звёзд

Все звёзды рождаются из газопылевого облака. Масса облака сравнима с массой Солнца, а его размеры — с размерами всей Солнечной системы. Под действием силы всемирного тяготения облако начинает сжиматься. В центральной части повышается давление и температура. Эта стадия в эволюции звёзд называется *протозвезда*. Обнаружить такое облако можно по идущему от него инфракрасному излучению.

Когда температура в недрах протозвезды повышается до нескольких миллионов градусов, в них начинаются термоядерные реакции. Происходит превращение водорода в гелий. При этом выделяется огромная энергия, препятствующая дальнейшему сжатию. Наступает равновесие между силой всемирного тяготения и силой газового давления. Образуется *звезда главной последовательности*. Иногда стадию горения водорода также называют «первой молодостью звезды». Она самая продолжительная. Причём, чем больше масса топлива, тем быстрее сгорает водород и наступает новая стадия.

Протекание следующей стадии зависит от первоначальной массы звезды.

Например, у таких звёзд, как наше Солнце, после сгорания водорода происходит сжатие гелиевого ядра. Оболочка звезды расширяется, охлаждается и изменяется её цвет. Звезда превращается в *красный гигант*. Затем оболочка рассеивается, остаётся ядро звезды — или *белый карлик*.

Если звёзды имеют массу в 2—3 раза больше массы Солнца, то сильное гравитационное поле «старееющей» звезды сжимает выгоревшее вещество до такой степени, что электроны атомных оболочек оказываются внутри атомных ядер. Протоны захватывают электроны и превращаются в нейтроны. Образуется *нейтронная звезда* с плотностью ядерного вещества, равной примерно $2 \cdot 10^{17}$ кг/м³.

Если у нейтронной звезды есть магнитное поле, то она является источником радиоизлучения высокой частоты. Такие звёзды называ-

ют *пульсарами*. Пульсары представляют собой быстро вращающиеся нейтронные звезды. Источником радиоизлучения служат два пятна (магнитные полюса), которыми звезда периодически поворачивается к Земле.

Если масса выгоревшего вещества превышает 2—3 солнечных массы, то после прекращения ядерных реакций происходит необратимое гравитационное сжатие, или гравитационный коллапс. В итоге возникает удивительный объект, размер которого составляет несколько километров. Его называют *чёрной дырой*. Сильное гравитационное поле сверхплотной чёрной дыры поглощает всё окружающее вещество. Даже свет не может из неё вырваться.

Переменные и нестационарные звёзды

Переменными называют звёзды, изменяющие свою яркость вследствие процессов, происходящих в их недрах. Их можно подразделить на два класса: *пульсирующие*, у которых изменение яркости связано с периодическими изменениями размеров, и *эруптивные* (взрывные), яркость которых изменяется за счёт сбрасывания вещества в результате катастрофы.

К первому классу относятся звёзды типа δ Цефея (*цефеиды*). Обычно это крупные звёзды, у которых происходит периодическое изменение размеров. Звезда как бы дышит. Причём во время «вздоха» яркость звезды падает, а при «выдохе» растёт. У цефеид обнаружена ещё одна закономерность: более массивные звёзды пульсируют медленнее.

К *эруптивным* звездам относятся новые или сверхновые звёзды.

Яркость *новых* звёзд внезапно увеличивается примерно в миллион раз, а затем медленно возвращается к первоначальному значению. Было установлено, что большинство новых звёзд входит в состав тесных двойных систем, где вещество перетекает с большей звезды (обычно это красный гигант) на белого карлика. По мере накопления вещества на белом карлике давление и температура в образовавшейся оболочке увеличиваются, и при достижении критического значения происходит термоядерный взрыв, сбрасывающий эту оболочку с белого карлика. В результате происходит увеличение яркости звезды, а система возвращается в первоначальное состояние. Новая звезда может вспыхивать несколько раз. Новая звезда — это «ожадный» белый карлик.

При вспышке *сверхновой* светимость возрастает в миллиарды раз, её можно наблюдать даже днём. Постепенно светимость уменьшает-

ся, и на месте сверхновой остаётся газовая туманность. Явление сверхновой является конечной стадией эволюции массивных звёзд. Сверхновая — это смерть гиганта, после которого остаётся нейтронный пульсар.

Стоит отметить, что ударная волна, сопровождающая взрыв сверхновой, может вызвать сжатие газопылевого облака, а разлетающееся вещество послужит строительным материалом для новой звезды. Таким образом, смерть одной звезды может привести к зарождению другой.

8.2.1. Состав и структура Галактики Млечный Путь

При наблюдении звёздного неба в сельской местности в тёмные безлунные ночи хорошо видна широкая светящаяся полоска — Млечный Путь. В 1609 году Г. Галилей с помощью телескопа установил, что Млечный Путь состоит из колоссального количества очень слабых звёзд. Тёмные области Млечного Пути — это межзвёздные газопылевые облака. Они поглощают свет далёких звёзд.

Млечный Путь тянется полосой по обоим небесным полушариям, замыкаясь в звёздное кольцо, наклонённое к небесному экватору под углом около 63° . Трудями многих астрономов установлено, что звёзды обоих небесных полушарий образуют огромную звёздную систему, названную Галактикой (от греч. «галактикос» — молочный). Большинство звёзд сосредоточено в Млечном Пути. Наша Солнечная система входит в состав Галактики.

В Галактике насчитывается порядка триллиона звёзд. В них сосредоточено 98% всей массы Галактики. Самые многочисленные звёзды — это карлики с массами примерно в 10 раз меньше массы Солнца. Кроме одиночных звёзд, встречаются много двойных и кратных звезд. Особое место в Галактике занимают группы звёзд, которые возникли одновременно, связаны силами тяготения и движутся в пространстве как единое целое. Их называют *звёздными скоплениями*. Выделяют *рассеянные* звёздные скопления, куда входят звёзды более ранних спектральных классов (следовательно, молодые и горячие), и *шаровые* скопления, большинство звёзд в которых относятся к поздним спектральным классам (следовательно, это звёзды холодные, а значит, находящиеся на последних стадиях эволюции). Также в Галактике выделяют *O—B ассоциации*, в которых наблюдаются процессы звёз-

дообразования, то есть звёзды в них находятся на самом раннем этапе эволюции («младенцы»).

2% массы Галактики сосредоточено в различных *туманностях*.

Если бы удалось посмотреть на Галактику сбоку, то мы бы увидели линзообразный объект. Можно выделить экваториальную плоскость и полюса Галактики (северный и южный). Млечный Путь расположен в экваториальной области. Здесь же находятся рассеянные звёздные скопления и О—В ассоциации. В центральном сгущении звёзд Галактики — шаровые скопления. По мере удаления от экватора количество звёзд значительно сокращается.



Если бы мы могли посмотреть на галактический диск сверху, то обнаружили бы огромные *спиральные ветви*, в основном содержащие наиболее горячие и яркие звёзды, а также массивные газовые облака, в которых идёт процесс зарождения новых звёзд. Солнечная система также расположена в спиральных «рукавах».



Все звёзды Галактики обращаются вокруг её центра. Солнце и ближайšie к нему звёзды движутся со скоростью 250 км/с, совершая полный оборот примерно за 200 млн лет.

Диаметр Галактики 30 кпк (примерно 100 000 световых лет), центральная область имеет толщину 20 кпк. Солнце удалено от центра примерно на 10 кпк. Масса Галактики составляет $2 \cdot 10^{11}$ масс Солнца.

8.2.2. Основные типы галактик

Первые сведения о существовании небесных объектов за пределами нашей Галактики были получены американским астрономом Г. Кертисом и Дж. Ричи в 1917 году. Они обнаружили в нескольких спиральных туманностях вспышки новых звёзд и сделали вывод, что это не газовые туманности, а далёкие от нас галактики. Галактики — это звёздные системы. В 1925 году американский астроном Хаббл по фотографиям разделил галактики на 5 классов. В основе классификации лежал их внешний вид.

- эллиптические (E)
- линзообразные (So)
- обычные спиральные (S)
- пересечённые спиральные (SB)
- неправильные (Ir)

В зависимости от сплюснутости эллипса или раскрытости рукавов галактики подразделяются на подклассы.

Для изучения галактик применяют спектральный анализ. Эллиптические галактики медленно вращаются, в них мало газа и пыли, мало горячих «молодых» звёзд. Процесс образования звёзд практически не идёт.

Линзообразные галактики вращаются быстрее.

В центре спиральных галактик обычно находятся звёзды поздних спектральных классов. Процесс рождения новых звёзд идёт в спиральных рукавах.

Некоторые галактики имеют необычные свойства. Существуют такие (*активные*), где происходят выбросы вещества. Иногда 2—3 галактики находятся на небольшом расстоянии друг от друга и взаимодействуют друг с другом, обмениваясь веществом. Астрономы на-

зывают такие галактики *мышками*, так как вытекающее вещество похоже на мышинные хвосты. Есть также галактики с сильным радиоизлучением.

В начале 60-х годов были получены фотографии объектов, мощное излучение которых имело не звёздную природу. Их назвали *кварами* (звёздноподобные). Удивительным было то, что их светимость в 10^{12} — 10^{14} раз превышала светимость Солнца; они имеют относительно малые размеры, большую плотность; являются источниками всех видов электромагнитного излучения. Учёные считают, что квазары — это ядра далёких галактик, внутри которых происходят бурные процессы, сопровождающиеся выделением колоссальной энергии.

8.2.3. Вселенная

Под *Вселенной* понимают весь материальный мир с астрономической точки зрения. Та часть Вселенной, которая доступна для изучения в наше время, называется *Метагалактикой*. Для построения модели Вселенной учёные используют современные знания из области физики, химии, математики, философии.

• Наблюдения указывают на то, что Вселенная *расширяется*, то есть галактики удаляются друг от друга. Доказательством этого факта служит эффект Доплера (красное смещение спектральных полос). Скорость расширения падает. В дальнейшем возможно несколько путей развития Вселенной, которые зависят от средней плотности материи:

- а) дальнейшее расширение, если плотность меньше 10^{-26} кг/м³;
- б) расширение сменится сжатием, если средняя плотность будет больше критической;
- в) при плотности вещества во Вселенной, равной критической, пространство имеет нулевую кривизну, размеры Вселенной увеличиваются, т.е. происходит её расширение, но скорость расширения постепенно уменьшается со временем.

В последнее время учёные серьёзно рассматривают второй путь развития, так как появилась информация о существовании скрытой массы, которая должна повлиять на увеличение средней плотности материи.

В то же время согласно данным космического аппарата WMAP, полученным с 2001 по 2010 год, плотность вещества во Вселенной приближённо равна критической.

- Вселенная *изменяется*:

а) считается, что на ранних стадиях вещество во Вселенной было очень простым: протоны, нейтроны, водород и гелий. Все «тяжёлые» элементы возникли в результате термоядерных реакций, идущих в недрах звёзд;

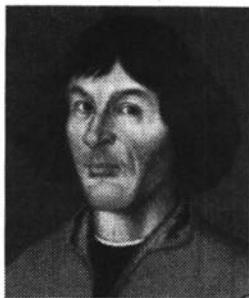
б) звёзды возникают из газопылевых облаков. Их количество постепенно уменьшается. Следовательно, в дальнейшем меньше будет образовываться новых звёзд.

Всё пространство Вселенной пронизано *реликтовым* излучением. Это электромагнитное излучение было открыто в 1965 году. Считается, что оно возникло на ранних стадиях развития Вселенной и несёт информацию о моменте её зарождения.

Структуры Вселенной и процессы, происходящие в ней, интенсивно изучаются. За последнее десятилетие представления о них существенно изменились и, по-видимому, далее будут уточняться.

9. СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

9.1. История открытия закона всемирного тяготения



Николай Коперник (1473—1543). После смерти учёного был опубликован его труд «О вращении небесных тел». На смену геоцентрической системе мира Птолемея пришла гелиоцентрическая система Коперника. Земля из центра Вселенной превратилась в рядовую планету Солнечной системы.



Джордано Бруно (1548—1600) — религиозный философ, сторонник взглядов Коперника. Бруно утверждал, что Вселенная бесконечна и существует вечно, что в ней находится бесчисленное количество миров, каждый из которых по своему строению напоминает Солнечную систему. Взгляды Д. Бруно были далеки от христианства. Его признали еретиком. Он был сожжён 17 февраля 1600 года.

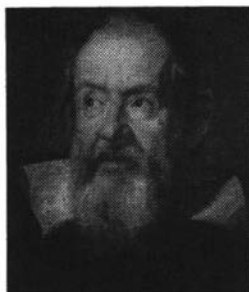


Тихо Браге (1546—1601) — датский астроном, астролог и алхимик эпохи Возрождения. Первым в Европе начал проводить систематические и высокоточные астрономические наблюдения, составил многочисленные каталоги.



Иоганн Кеплер (1571—1630) немецкий математик, астроном, механик, оптик и астролог. На основе каталогов Тихо Браге Кеплер открыл три закона движения планет Солнечной системы.

Галилео Галилей (1564—1642), итальянский учёный, родился в городе Пизе, известном своей знаменитой наклонной башней. Изучал законы падения тел, движение тел по наклонной плоскости. В 1609 году он сконструировал трубу-телескоп, которая позволила ему проводить астрономические наблюдения. Галилей открыл тёмные пятна на Солнце; «моря» на Луне. Он увидел фазы Венеры, открыл четыре спутника Юпитера и определил звёздную природу Млечного Пути.



В 1610 году Галилей переехал во Флоренцию, где опубликовал свои открытия в области астрономии. В 1616 году церковь официально осудила учение Коперника; его книга «О вращении небесных сфер» была официально запрещена. Однако Галилей, убеждённый в научной достоверности системы Коперника, упорно работает над её обоснованием. В 1632 году вышла книга Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой», в которой Галилей поддерживает учение Коперника. Церковь сразу обратила на неё внимание. Папа Римский отдал приказ начать процесс против её автора. В 1633 году больного 70-летнего учёного доставили в Рим. Ценой угроз удалось вырвать у Галилея формальное отречение от своих взглядов на систему мира.

Галилей умер в 1642 году. Инквизиторы не допустили похоронить его там, где он завещал; долгое время не разрешали также поставить на его могиле памятник.

Исаак Ньютон (1643—1727) — великий английский учёный. Основоположник классической механики. Ньютон успешно работал над вопросами тяготения, оптики и математики. Ф. Энгельс писал: «Ньютон своим законом тяготения создал научную астрономию, разложением света — научную оптику, теоремой о биноме и теорией бесконечных рядов — научную математику и познанием природы — научную механику». Свои исследования по механике Ньютон изложил в книге «Математические начала натуральной философии», вышедшей в 1687 году. В 1704 году была издана «Оптика». В 1705 году королева Анна возвела его в рыцарское достоинство.



И. Ньютон умер 21 марта 1727 года. На памятнике учёному высечены слова: «Здесь покоится сэр Исаак Ньютон, дворянин, прилеж-

ный мудрый и верный истолкователь природы, который почти божественным разумом первый доказал с факелом математики движение планет, пути комет и приливов океанов. Пусть смертные радуются, что существовало такое украшение рода человеческого».

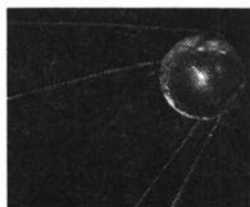
9.2. Из истории космонавтики



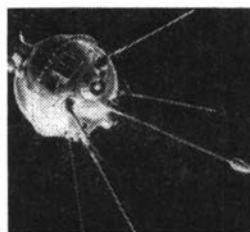
Константин Эдуардович Циолковский (1857—1935) — учёный и изобретатель в области аэродинамики, ракетодинамики, теории самолёта и дирижабля; основоположник современной космонавтики. Разработал систему многоступенчатых ракет, ввёл в науку понятие «невесомость»; в качестве топлива предложил использовать жидкий водород, а в качестве окислителя — жидкий кислород. Многие гениальные идеи Циолковского до сих пор вызывают интерес у современных учёных.



Сергей Павлович Королёв (1906—1966) — советский учёный, конструктор и организатор производства ракетно-космической техники и ракетного оружия СССР, основоположник практической космонавтики. Благодаря его идеям был осуществлён запуск первого искусственного спутника Земли и полёт первого космонавта Юрия Гагарина.



4 октября 1957 года был запущен первый советский искусственный спутник Земли. Это был шар массой 83,6 кг. Все радиостанции мира передавали сигналы, идущие с борта первого искусственного спутника. 92 дня летал он вокруг нашей планеты.



1959 год — год изучения Луны. Автоматическая станция «Луна-1» впервые облетела Луну, вышла из сферы действия земного тяготения и стала первой искусственной планетой. «Луна-2» достигла поверхности спутника; «Луна-3» сфотографировала обратную сторону Луны.

12 апреля 1961 года **Юрий Алексеевич Гагарин (1934—1968)** — первым из землян совершил космический полёт на корабле «Восток». Космический корабль совершил один оборот вокруг Земли. Продолжительность полёта составила 108 минут. За этот подвиг Ю. А. Гагарину было присвоено звание Героя Советского Союза.



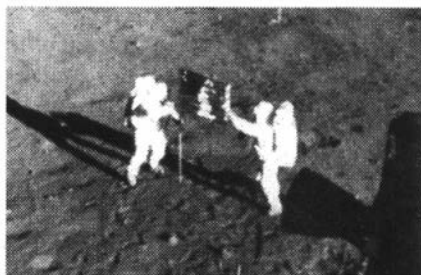
В июне 1963 года состоялся полёт первой в мире женщины-космонавта **Валентины Владимировны Терешковой**.



В 1965 году состоялся выход **Алексея Архиповича Леонова** в открытый космос.



21 июля 1969 года американские астронавты **Нил Армстронг и Эдвин Олдрин** ступили на поверхность Луны.



В 1974 году на поверхность Марса опустился спускаемый аппарат станции «Марс-6»; через два года мягкую посадку на поверхность Марса произвели два американских аппарата «Викинг».





В 1975 году осуществлён советско-американский эксперимент «Союз-Аполлон» со стыковкой космических кораблей двух стран на орбите.

9.3. Открытия в области статики и гидростатики



Архимед (287—212 гг. до н.э.) родился в Сиракузах на о. Сицилия. Отец Архимеда, астроном и математик Фидий, был одним из приближённых царя Сиракуз Гиерона. Фидий дал сыну хорошее образование. Архимед был первым представителем математической физики, стремящийся воплотить законы механики (закон рычага, учение о центре тяжести, о плавании тел и др.) в действующие конструкции машин. Поэтому Архимеда

по праву считают не только математиком и механиком, но и одним из крупнейших инженеров и конструкторов своего времени. Машина для поливки полей «Улитка», водоподъёмный винт (винт Архимеда), разнообразные военные машины (для метания копий и дротиков, для поднятия и потопления кораблей) увековечили славу Архимеда.

Кроме всего перечисленного Архимед занимался оптикой, он хорошо знал фокусирующие свойства вогнутых зеркал, свойства изображений в плоских и вогнутых зеркалах, проводил опыты по преломлению света. Сохранилась легенда о том, что в борьбе с римским флотом Архимед использовал вогнутые зеркала, поджигая корабли солнечными лучами.

Сухопутная армия была поражена градом метательных снарядов и камней. Что касается флота — то вдруг с высоты стен опускались на суда брёвна и топили суда, то железные когти и клювы захватывали суда, поднимали их в воздух носом вверх, кормою вниз и потом погружали в воду, а то суда приводились во вращение и, кружась, падали на подводные камни и утёсы у подножия стен.

«Что же, придётся нам прекратить войну против геометра», — невесело шутил Марцелл, отводя флот и сухопутное войско от стен Сиракуз и перейдя к длительной осаде. И когда предательство открыло

римлянам ворота в город, Архимед, как гласит предание, занятый какими-то вычислениями, погиб от меча римского legionера.

Эванджелиста Торричелли (1608—1647) — итальянский учёный, ученик Галилео. Создал первый ртутный барометр, впервые измерил атмосферное давление, разработал ряд вопросов по физике и математике.



Блез Паскаль (1623—1662) — родился во Франции. Открыл и исследовал ряд важных свойств жидкостей и газов. Опытами подтвердил существование атмосферного давления. С помощью ртутного барометра измерил атмосферное давление около подножия горы Пью-де-Дом и на её вершине. Разница в уровнях составила 8 см. Создал в 1646 году водяной барометр.



9.4. Первые воздухоплаватели

В 1783 году маленький французский городок Анноне прогремел на весь мир. Там был запущен первый воздушный шар! Придумали его **братья Монгольфье**. В назначенный день на площади собралась неслетная толпа народу. Все хотели посмотреть на невиданную диковинку.

На середине площади висел на столбах огромный полотняный шар — 16 м в ширину. Снаружи он был оклеен бумагой. Внизу шара было сделано большое отверстие, а под отверстием висела жаровня. Братья Монгольфье положили в жаровню горячие угли. Они нагрели воздух в шаре, он расширился, часть его вышла, шар сделался легче. Братья перерезали канат, которым шар был привязан к столбу. Шар рванулся, дрогнул и поднялся вверх. Скоро он скрылся в облаках.

Братья Монгольфье захотели узнать, можно ли летать на таком шаре людям. Но охотников отправиться в воздушное путешествие не находилось. Монгольфье привязали большую плетёную корзину и посадили в неё овцу, петуха и утку. Это были первые воздухоплаватели. Вернулись они на землю благополучно.

9.5. Открытия в области тепловых явлений



Ломоносов Михаил Васильевич (1711—1765) — первый русский учёный — естествоиспытатель мирового значения. Химик, физик, астроном, приборостроитель, географ, металлург, геолог, основоположник науки о стекле, поэт, утвердил основания современного русского литературного языка, художник, историк, поборник развития отечественного просвещения, науки и экономики. Разработал проект Московского университета, впоследствии названного в его честь.

В середине XVIII века на природу теплоты существовало два взгляда. Согласно одному теплота рассматривалась как некая «тонкая невесомая материя», присутствие которой в теле обуславливает его нагретость; чем больше этой «материи» содержится в теле, тем выше его температура. Согласно второй точке зрения причина теплоты состоит в невидимом движении мельчайших частиц — атомов, из которых состоят тела. М.В. Ломоносов был сторонником второй точки зрения. В его работе «Размышления и причины теплоты» есть следующие слова: «Очень хорошо известно, что теплота возбуждается движением: от взаимного трения руки согреваются, дерево загорается пламенем; при ударе кремня об огниво появляются искры; железо накаливается от проковывания частыми и сильными ударами, а если их прекратить, то теплота уменьшается и произведённый огонь в конце концов гаснет...» И далее: «И хотя в горячих телах большей частью на вид не заметно какого-либо движения, таковое всё-таки очень часто обнаруживается по производным действиям. Так, железо, нагретое почти до накаливания, кажется на глаз находящимся в покое; однако одни тела, придвинутые к нему, оно плавит, другие — превращает в пар; т. е., приводя частицы их в движение, оно тем самым показывает, что в нём имеется движение какой-то материи...»

Открытие броуновского движения

В 1827 году почтенный хранитель ботанического отделения Британского музея **Роберт Броун** оторвал глаз от окуляра микроскопа и то ли с досадой, то ли с удовлетворением констатировал: «Опять то же!» В ярко освещённом поле зрения прибора взад и вперед сновали

тёмные точки. Те, что покрупнее, двигались медленнее, не спеша меняли своё направление. Более мелкие — скакали беспорядочно, случайно, бросаясь из стороны в сторону.

Учёный ботаник задумался: «Почему?» Всего час назад собрал он последний раз пыльцу со своих цветов, размещал в воде и капнул капельку на предметное стеклышко микроскопа. Но час — 60 минут, 3600 секунд — время вполне достаточное, чтобы частицы успокоились. А они по-прежнему мечутся, как угорелые. «Почему? А вдруг... Вдруг они живые?.. Это же будет величайшее открытие».

Но как убедиться в этом? Даже в лучший микроскоп не разглядеть подробностей строения частичек цветочной пыльцы. И тут его озаряет идея. Простая, как всё гениальное.

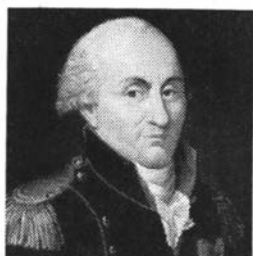
...Зажав в кулаке комочки глины, заторопился обратно. Всю дорогу повторял он про себя условия эксперимента. «Глина — мертва. Мертва! В этом не усомнится никто! Значит, её частички, размещённые в воде, тоже будут мёртвыми частичками. И если они останутся под микроскопом...» Как он взволнован. Как торопится он в кабинет... Руки Броуна дрожат от нетерпенья, пока пальцы подкручивают микрометрический винт. Вот показались сначала тени частиц... Есть!

«В ярко освещённом поле зрения прибора взад и вперед сновали тёмные точки. Те, что покрупнее, двигались медленнее, не спеша меняли своё направление. Более мелкие — скакали беспорядочно, случайно, бросаясь из стороны в сторону». Всё повторилось точно так же, как и в прошлый раз. Частицы мёртвой глины не уступали в резкости цветочной пыльце. И снова тот же вопрос: «Почему? Почему они движутся?»

9.6. Из истории открытия электричества и магнетизма

Луиджи Гальвани (1737—1798) — итальянский врач, анатом, физиолог и физик, один из основателей электрофизиологии и учения об электричестве. Первым исследовал электрические явления при мышечном сокращении («животное электричество»). Обнаружил возникновение разности потенциалов при контакте разных видов металла и электролита.





Шарль Огюстен Кулон (1763—1806) — французский физик, военный инженер. Изобрёл прибор для установления основных законов электрического и магнитного взаимодействий. Изучал различные виды трения и сформулировал законы трения скольжения и трения качения.



Андре Мари Ампер (1775—1836) — французский физик и математик. Он создал первую теорию, которая выражала связь электрических и магнитных явлений. Амперу принадлежит гипотеза о природе магнетизма, он ввёл в физику понятие «электрический ток», изобрёл первый электромагнит.

В 1820 году Андре Мари Ампер выдвинул гипотезу о существовании круговых токов внутри постоянных магнитов.

В 1825 году А. Ампер изобрёл первый электромагнит (на железный стержень намотал медную проволоку и пропустил электрический ток).



Алессандро Вольта (1745—1827) — итальянский физик, один из основателей учения об электрическом токе, создал первый гальванический элемент.



Георг Ом (1787—1854) — немецкий физик. Он открыл теоретически и подтвердил на опыте закон, выражающий связь между силой тока в цепи, напряжением и сопротивлением.

Джеймс Пресскот Джоуль (1818—1889) — английский учёный. Экспериментально обосновал на опытах закон сохранения энергии. Установил закон теплового действия электрического тока. Вычислил скорость движения молекул газа и установил её зависимость от температуры.



Эмилий Христианович Ленц (1804—1865) — русский учёный. Один из основоположников электротехники. С его именем связано открытие закона, определяющего тепловые действия тока, и закона, определяющего направление индукционного тока.



В 1820 году **Ханс Кристиан Эрстед (1777—1851)** обнаружил отклонение магнитной стрелки в пространстве вокруг проводника с током.



В 1834 году **Борис Семёнович Якоби (1801—1874)** изобрёл первый электродвигатель.





Майкл Фарадей (1791—1867) — английский физик, химик, основоположник учения об электромагнитном поле. Он родился в семье лондонского кузнеца Джеймса Фарадея. Образование его включало в себя начальные навыки чтения, письма и арифметики. С 12 лет работал в книжной лавке сначала разносчиком книг, а затем переплётчиком. Жадно читал, стремясь восполнить пробелы своего недостаточного образования.

Посещал лекции химика сэра Гэмфри Дэви. В марте 1813 года становится лаборантом Дэви в Королевском институте Великобритании...

С 1815 по 1820 год Фарадей занимается в основном исследованиями по химии. В августе 1820 года он знакомится с работой Эрстеда и ставит перед собой цель: «Превратить магнетизм в электричество». Это удалось сделать только через 10 лет упорного труда.

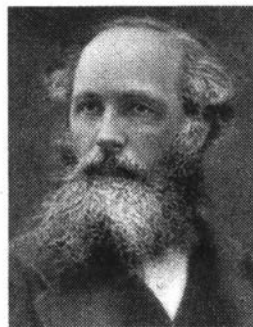
29 августа 1831 года Майкл Фарадей открыл закон электромагнитной индукции.

Вот как он вспоминал о своём открытии: «Я взял цилиндрический магнитный брусок и ввёл один его конец в просвет спирали из медной проволоки, соединённой с гальванометром. Потом я быстрым движением втолкнул магнит внутрь спирали на всю его длину, и стрелка гальванометра испытала толчок. Затем я так же быстро вытащил магнит из спирали, и стрелка опять качнулась, но в противоположную сторону. Эти качания стрелки повторялись всякий раз, как магнит вталкивался или выталкивался. Это значит, что электрическая волна возникает только при движении магнита, а не в силу свойств, присущих ему в покое».

Открытие М. Фарадеем явления электромагнитной индукции позволило получать электрический ток в промышленных масштабах, на электростанциях. Благодаря этому произошли существенные изменения не только в производстве, но и в жизни обычных людей.

В 1852 году М. Фарадей вводит понятие магнитного поля. Это особый вид материи, через который передается магнитное взаимодействие.

Максвелл Джеймс Клерк (1831—1879) — английский учёный. Создал теорию электромагнитного поля. Он теоретически доказал, что всякое изменение со временем магнитного поля приводит к возникновению переменного электрического поля, а всякое изменение со временем электрического поля порождает переменное магнитное поле. В 1864—1865 годах появляется его работа «Динамическая теория поля», в которой были опубликованы знаменитые уравнения Максвелла. Анализируя уравнения, Максвелл пришёл к выводу, что должны существовать электромагнитные волны, причём скорость их распространения должна быть равна скорости света. Отсюда был сделан совершенно новый вывод: свет является разновидностью электромагнитных волн.



Генрих Рудольф Герц (1857—1894) — немецкий учёный. Экспериментально получил электромагнитные волны, изучил их свойства и скорость распространения. Подтвердил предположение Максвелла о том, что свет является электромагнитной волной. В 1889 году, выступая на съезде немецких естествоиспытателей, Герц говорил: «Все эти опыты очень просты в принципе, тем не менее, они влекут за собой важнейшие следствия. Они рушат всякую теорию, которая считает, что электрические силы перепрыгивают пространство мгновенно. Они означают блестящую победу теории Максвелла. Насколько маловероятным казалось ранее её воззрение на сущность света, настолько трудно теперь не разделять это воззрение».



9.7. Открытие атома и атомного ядра

Джозеф Джон Томсон (1856—1940) — английский учёный. Томсон — профессор Кембриджского университета и одновременно руководитель Кавендишской лаборатории.

В 1897 году открыл электрон. Томсон дал объяснение непрерывного спектра рентгеновского излучения, установил природу положительных ионов, предложил первую модель строения атома. Одним из учеников Дж. Дж. Томсона был Э. Резерфорд.



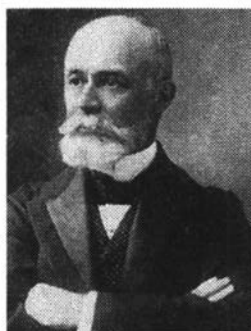


Эрнест Резерфорд (1871—1937) — английский физик, один из создателей учения о радиоактивности и строении атома. В 1899 году открыл альфа-лучи, бета-лучи и установил их природу. В 1903 году совместно с Фредериком Содди создал теорию радиоактивности. В 1911 году предложил планетарную модель атома. В 1919 году осуществил первую искусственную ядерную реакцию. В 1921 году предсказал существование нейтрона.



Джеймс Чедвик (1891—1974) — английский физик, получивший известность благодаря открытию нейтрона в 1932 году и фотоядерной реакции; член Лондонского королевского общества, лауреат Нобелевской премии по физике за 1935 год. Ученик Э. Резерфорда.

9.8. Открытие радиоактивности



Антуан Анри Беккерель (1852—1908) — французский физик, лауреат Нобелевской премии по физике и один из первооткрывателей естественной радиоактивности. В 1896 году Беккерель обнаружил, что соли урана самопроизвольно, без каких-либо внешних влияний создают излучение. Это открытие побудило Беккереля к исследованию спонтанного испускания ядерного излучения.



Мария Склодовская-Кюри (1867—1934) — физик и химик. Родилась в Польше, в семье учителя, работала во Франции. Мария Склодовская-Кюри совместно с мужем Пьером Кюри открыла новые радиоактивные элементы — полоний и радий — и исследовала их свойства. После трагической гибели мужа в 1906 году Мария возглавила его кафедру. Она первая женщина — профессор Парижского университета.

Фредерик Жолио-Кюри (1900—1958) и Ирен Кюри (1897—1956) — французские учёные, в 1934 году открыли искусственную радиоактивность. Доказали, что под действием α -частиц, протонов, нейтронов и других частиц радиоактивные изотопы могут быть получены у всех без исключения элементов.



ПРИЛОЖЕНИЕ

Справочные таблицы

1. Физические постоянные

Гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Ускорение свободного падения	$g = 10 \text{ м/с}^2$
Модуль заряда электрона (элементарный электрический заряд)	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ а.е.м.}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,007 \text{ а.е.м.}$
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,008 \text{ а.е.м.}$
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$
Нормальное атмосферное давление	$p_{\text{атм}} = 101325 \text{ Па}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
1 атомная единица массы эквивалентна	931,5 МэВ
1 электрон-вольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
число π	$\pi = 3,14$

2. Латинский алфавит

<i>A, a</i> — а	<i>H, h</i> — ха, аш	<i>O, o</i> — о	<i>V, v</i> — ве
<i>B, b</i> — бе	<i>I, i</i> — и	<i>P, p</i> — пе	<i>W, w</i> — дубль-ве
<i>C, c</i> — це	<i>J, j</i> — йот, жи	<i>Q, q</i> — ку	<i>X, x</i> — икс
<i>D, d</i> — де	<i>K, k</i> — ка	<i>R, r</i> — эр	<i>Y, y</i> — игрек
<i>E, e</i> — е	<i>L, l</i> — эль	<i>S, s</i> — эс	<i>Z, z</i> — зет (зета)
<i>F, f</i> — эф	<i>M, m</i> — эм	<i>T, t</i> — те	
<i>G, g</i> — ге, же	<i>N, n</i> — эн	<i>U, u</i> — у	

3. Латинский алфавит и обозначение физических величин

Буква	Физическая величина и единицы измерения в СИ
<i>A</i>	механическая работа (Дж)
<i>a</i>	ускорение (м/с^2)
<i>B</i>	вектор магнитной индукции (Тл)
<i>b</i>	
<i>C</i>	ёмкость конденсатора (Ф)
<i>c</i>	удельная теплоёмкость вещества ($\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$)
<i>D</i>	оптическая сила линзы (дптр)
<i>d</i>	плечо силы (м)
<i>E</i>	механическая энергия (Дж)
<i>e</i>	заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
<i>F</i>	сила (Н), фокусное расстояние (м)
<i>f</i>	
<i>G</i>	гравитационная постоянная $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$

Буква	Физическая величина и единицы измерения в СИ
g	ускорение свободного падения $g = \text{м/с}^2$
H	
h	высота (м)
I	сила тока (А)
i	сила переменного тока (А)
J	
j	плотность тока (А/м^2)
K	
k	жёсткость пружины (Н/м)
L	индуктивность катушки (Гн), удельная теплота парообразования (Дж/кг)
l	путь (м), плечо силы (м)
M	момент силы (Н · м)
m	масса (кг)
N	сила реакции опоры (Н), мощность (Вт), число нейтронов в ядре
n	концентрация
O	начало координат
o	
P	вес (Н), мощность (Вт)
p	давление (Па)
Q	количество теплоты (Дж)
q	удельная теплота сгорания топлива (Дж/кг), заряд (Кл)
R	сопротивление (Ом)
r	удельная теплота парообразования (Дж/кг)

Буква	Физическая величина и единицы измерения в СИ
S	площадь (м^2)
s	перемещение (м)
T	период (с)
t	время (с), температура ($^{\circ}\text{C}$)
U	внутренняя энергия (Дж), напряжение (В)
u	напряжение переменного тока (В)
V	объём (м^3)
v	скорость (м/с)
W	электрическая и магнитная энергии (Дж)
w	
X	
x	координата (м)
Y	
y	координата (м)
Z	зарядовое число
z	

4. Греческий алфавит

А, α — альфа	Ι, ι — йота	Ρ, ρ — ро
Β, β — бета	Κ, κ — каппа	Σ, σ — сигма
Γ, γ — гамма	Λ, λ — лямбда	Τ, τ — тау
Δ, δ — дельта	Μ, μ — мю	Υ, υ — ипсилон
Ε, ϵ — эпсилон	Ν, ν — ню	Φ, ϕ — фи
Ζ, ζ — дзета	Ξ, ξ — кси	Χ, χ — хи
Η, η — эта	Ο, ο — омикрон	Ψ, ψ — пси
Θ, θ — тета	Π, π — пи	Ω, ω — омега

5. Греческий алфавит и обозначение физических величин

Буква	Физическая величина и единицы измерения в СИ
Α	
α	угол (°), вид радиоактивного излучения
Β	
β	угол (°), вид радиоактивного излучения
Γ	увеличение линзы
γ	угол (°), вид радиоактивного излучения
Δ	изменение величины — разность между конечным и начальным значениями
δ	
Ε	
ε	диэлектрическая проницаемость среды
Ζ	
ζ	
Ν	
ν	частота (Гц), количество вещества (моль)
Ξ	
ξ	
Ο	
ο	
Π	
π	$\pi = 3,14$

Буква	Физическая величина и единицы измерения в СИ
P	
ρ	плотность вещества (кг/м ³)
Σ	знак суммы
σ	поверхностное натяжение
H	
η	коэффициент полезного действия (%)
Θ	
θ	угол (°)
I	
i	
K	
k	
L	
λ	удельная теплота плавления (Дж/кг), длина волны (м)
M	молярная масса (кг/моль)
μ	магнитная проницаемость среды
T	
τ	время (с), температура (°C)
Y	
v	
Φ	магнитный поток
φ	угол (°), относительная влажность воздуха (%)
X	
χ	

Буква	Физическая величина и единицы измерения в СИ
Ψ	
ψ	
Ω	
ω	угловая скорость (рад/с)

6. Десятичные приставки

Наименование	Обозначение	Множитель
экса	Э	10^{18}
пета	П	10^{15}
тера	Т	10^{12}
гига	Г	10^9
мега	М	10^6
кило	к	10^3
гекто	г	10^2
дека	да	10^1
деци	д	10^{-1}
санти	с	10^{-2}
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}
фемто	ф	10^{-15}
атто	а	10^{-18}

7. Математические преобразования десятичных приставок

Приставки	Обозначение	Математические действия	
		Умножить на	Разделить на
Мега	М	1 000 000 или 10^6	
Кило	к	1000 или 10^3	
Деци	д	0,1 или 10^{-1}	10
Санتي	с	0,01 или 10^{-2}	100
Мили	м	0,001 или 10^{-3}	1000
Микро	мк	0,000001 или 10^{-6}	1 000 000

8. Единицы длины

Название	Современные единицы длины
1 вершок	4,445 см
1 аршин = 16 вершков	0,7112 м
1 сажень = 3 аршина	2,1336 м
1 верста = 500 саженей	1066,8 м
1 дюйм	2,54 см
1 фут = 12 дюймов	30,48 м
1 ярд = 3 фута = 36 дюймов	91,44 см
1 морская миля	1853 м
1 сухопутная миля	1609 м

9. Самый, самый ...

Наибольшая глубина океана (Марианская впадина, Тихий океан)	11 035 м
Высочайшая горная вершина в России (Эльбрус)	5642 м

Высочайшая горная вершина в Европе (Монблан)	4807 м
Высочайшая горная вершина в мире (Джомолунгма)	8848 м
Высочайший небоскрёб в Объединенных Арабских Эмиратах, в Дубае «Бурдж Дубай»	828 м
Самый высокий мужчина — американец Роберт Першинг Чодлоу (1922—1944)	2,72 м
Самая высокая женщина — китайка Яо Дефен (1972—2012)	2,33 м
Самая крупная лягушка, голиаф	80 см
Самая длинная змея, анаконда	11 м 43 см

10. Скорости движения в природе и технике

Название	Скорость
Улитка	0,014 м/с
Черепаша	0,05 м/с
Муха	5 м/с
Человек	10 м/с
Голубь	20 м/с
Гепард	30 м/с
Автомобиль	50 м/с
Сокол	100 м/с
Самолёт	250 м/с
Молекула газа	500 м/с
Пуля	700 м/с
Луна	1000 м/с
Земля	30 000 м/с

Электроны в электронно-лучевой трубке	100 000 000 м/с
Свет	300 000 000 м/с

11. Самый, самый...

Название	Масса
Вета (самое большое насекомое)	80 г
Белуга (самая крупная пресноводная рыба)	1400 кг
Голиаф (самая крупная лягушка)	3 кг 300 г
Дрофа (самая тяжёлая летающая птица)	20 кг

12. Плотность твёрдых тел

Вещество	ρ , кг/м ³
Алмаз	3500
Алюминий	2700
Бамбук	400
Бакаут («железное дерево»)	1100—1400
Берёза (сухая)	700
Бетон	2300
Вольфрам	19 300
Германий	5320
Гранит	2600
Графит	2100
Дуб	800
Ель	450—600

Вещество	ρ , кг/м ³
Железо, сталь	7800
Золото	19 300
Иридий	22 400
Калий	862
Капрон	1100
Кирпич	1600
Константан	8900
Корунд	4000
Кремний	2328
Латунь	8500
Лёд	900
Манганин	8500
Медь	8900
Молибден	10 200
Мрамор	2700
Натрий	986
Нашатырь	1500
Никелин	8800
Никель	8900
Нихром	8300
Олово	7300
Оргстекло	1200
Осмий	22 600
Парафин	900

Вещество	ρ , кг/м ³
Песок (сухой)	1500
Платина	21 500
Поваренная соль	2100
Полиэтилен	920
Полоний	9280
Пробка	240—250
Пробковая кора	150
Сахар-рафинад	1600
Свинец	11 300
Серебро	10 500
Слюда	2800
Сосна (сухая)	400
Стекло	2500
Сульфат меди	2200
Сульфид цинка	4040
Ситан	4500
Уголь каменный	1400
Уран	18 700
Фарфор	2300
Цинк	7100
Хром	7190
Чугун	7000
Янтарь	1100
Эбонит	1200

13. Плотность жидкостей (при 20 °С)

Вещество	ρ , кг/м ³
Ацетон	800
Бензин	710
Бензол	880
Вода (при 0 °С)	1000
Вода (при 100 °С)	958
Вода морская	1030
Вода тяжёлая	1105,6
Воздух (жидкий при -194 °С)	860
Глицерин	1260
Дизельное топливо	1000
Касторовое масло	900
Керосин	800
Кровь	1050
Мазут	890—1000
Масло машинное	900
Масло растительное	930
Молоко цельное	1030
Молоко сгущённое	1280
Мёд	1245
Нефть	800
Олово (жидкое при 400 °С)	6800
Растворитель	1590
Ртуть	13 600
Рыбий жир	645

Вещество	ρ , кг/м ³
Серная кислота	1800
Скипидар	860
Сливки (60% жирности)	926
Спирт	800
Эфир	710

14. Плотность газов (при 20 °С и нормальном атмосферном давлении)

Вещество	ρ , кг/м ³	Вещество	ρ , кг/м ³
Азот	1,25	Метан	0,72
Ацетилен	1,18	Неон	0,9
Воздух	1,29	Природный газ	0,8
Водород	0,09	Пропан	2
Водяной пар (при 100 °С)	0,60	Спирт (пары)	2,04
Гелий	0,18	Угарный газ	1,25
Кислород	1,43	Углекислый газ	1,98
Ксенон	5,85	Хлор	3,21

15. Космические скорости для Земли

Название	Значение, км/с
Первая космическая скорость — это скорость тела, которое обращается вокруг Земли по круговой орбите	7,9
Вторая космическая скорость — это скорость тела, которое сможет преодолеть силы притяжения Земли и удалиться от неё на бесконечно далёкое расстояние. Эту скорость называют параболической.	11,2
Третья космическая скорость позволяет преодолеть притяжение Земли, Солнца и покинуть Солнечную систему.	16,7

16. Некоторые астрономические величины

Среднее расстояние между центрами Земли и Солнца	$1,49 \cdot 10^{11}$ м
Среднее расстояние между центрами Земли и Луны	$3,84 \cdot 10^8$ м
Период вращения Земли вокруг своей оси	24 ч = 86400 с
Период обращения Земли вокруг Солнца	≈ 365 дней 6 часов $\approx 3 \cdot 10^7$ с
Период обращения Луны вокруг Земли	27,3 суток

17. Характеристики некоторых тел Солнечной системы

Название	Масса, кг	Радиус, м
Солнце	$1,98 \cdot 10^{30}$	$6,95 \cdot 10^8$
Меркурий	$3,26 \cdot 10^{23}$	$2,42 \cdot 10^6$
Венера	$4,88 \cdot 10^{24}$	$6,1 \cdot 10^6$
Земля	$5,98 \cdot 10^{24}$	$6,37 \cdot 10^6$
Марс	$6,43 \cdot 10^{23}$	$3,38 \cdot 10^6$
Юпитер	$1,90 \cdot 10^{27}$	$7,13 \cdot 10^7$
Сатурн	$5,69 \cdot 10^{26}$	$6,04 \cdot 10^7$
Уран	$8,69 \cdot 10^{25}$	$2,38 \cdot 10^7$
Нептун	$1,04 \cdot 10^{26}$	$2,22 \cdot 10^7$
Луна	$7,33 \cdot 10^{22}$	$1,74 \cdot 10^6$

18. Скорость распространения звука

Вещество	Температура, °С	Скорость звука, м/с
В газах		
Азот	0	334
Азот	300	487
Водяной пар	0	401

Вещество	Температура, °С	Скорость звука, м/с
В газах		
Водяной пар	100	405
Водород	0	1284
Воздух	0	332
Воздух	0	332
Воздух	10	337
Воздух	20	343
Воздух	30	349
Гелий	0	965
Кислород	0	316
Спирт (пары)	0	230
Углекислый газ	0	230
Углекислый газ	100	300
Хлор	0	206
Эфир (пары)	0	179
В жидкостях		
Азот жидкий	-199	962
Бензин	17	1170
Вода	0	1403
Вода	20	1483
Вода	30	1510
Вода (v_{\max})	74	1555
Вода	100	1543

Вещество	Температура, °С	Скорость звука, м/с
В жидкостях		
Вода морская	20	1490
Вода тяжёлая	20	1400
Водород жидкий	-256	1187
Гелий жидкий	0	965
Глицерин	20	1923
Керосин	20	2330
Кислород жидкий	-182,9	912
Ртуть	20	1450
Спирт	20	1180
Эфир	25	985
В твёрдых телах		
Алмаз	20	18350
Алюминий	20	6260
Бетон	20	4250—5250
Графит	20	1470
Дуб	20	4115
Железо	20	5850
Золото	20	3200
Каменная соль	20	4400
Кирпич	20	3600
Латунь	20	4280—4700
Лёд	-4	3980

Вещество	Температура, °С	Скорость звука, м/с
В твёрдых телах		
Медь	20	4700
Олово	20	3320
Оргстекло	20	2550
Платина	20	3960
Пробка	20	430—530
Свинец	20	2160
Серебро	20	3600
Сосна	20	5030
Сталь	20	5000
Стеарин	20	1380
Стекло оптическое	20	4450—5220
Цинк	20	4170
Чугун	20	3850
Шифер	20	4510
Эбонит	20	2400

19. Самый, самый ...

Максимальная температура воздуха зафиксирована 10 июля 1913 года на ранчо Гринленд в долине Смерти (штат Калифорния, США)	+56,7 °С
Минимальная температура воздуха была зафиксирована на антарктической станции «Восток» 21 июля 1983 года	-89,2 °С

20. Удельная теплоёмкость вещества

Вещество	$c, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$	Вещество	$c, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
Алюминий	920	Медь	380
Бетон	920	Никель	460
Вода	4200	Олово	230
Воздух	1000	Песок	880
Графит	750	Платина	140
Дерево (дуб)	2400	Ртуть	140
Дерево	2700	Свинец	140
Железо	460	Серебро	250
Золото	130	Спирт	2500
Керосин	2100	Сталь	500
Кирпич	880	Стекло	840
Латунь	380	Цинк	400
Лёд	2100	Чугун	540
Масло подсол- нечное	1700	Эфир	2350

21. Удельная теплота сгорания топлива

Вещество	$q, \text{ Дж}/\text{кг}$
Антрацит	$30 \cdot 10^6$
Бензин	$46 \cdot 10^6$
Берёзовые дрова	$13 \cdot 10^6$
Бурый уголь	$17 \cdot 10^6$
Водород	$120 \cdot 10^6$
Дизельное топливо	$42,7 \cdot 10^6$
Древесный уголь	$34 \cdot 10^6$

Вещество	q , Дж/кг
Каменный уголь	$27 \cdot 10^6$
Керосин	$46 \cdot 10^6$
Кокс	$29 \cdot 10^6$
Мазут	$40 \cdot 10^6$
Нефть	$44 \cdot 10^6$
Порох	$3,8 \cdot 10^6$
Природный газ	$44 \cdot 10^6$
Ракетное топливо (жидкое)	$9,2 \cdot 10^6$
Ракетное топливо (твёрдое)	от $4,2 \cdot 10^6$ до $10,5 \cdot 10^6$
Сосновые дрова	$13 \cdot 10^6$
Спирт	$27 \cdot 10^6$
Торф	$14 \cdot 10^6$
Тротил	$15 \cdot 10^6$

22. Удельная теплота сгорания некоторых пищевых продуктов

Вещество	q , Дж/кг
Виноград	$2,4 \cdot 10^6$
Говядина	$7,52 \cdot 10^6$
Земляника	$1,73 \cdot 10^6$
Картофель	$3,77 \cdot 10^6$
Кефир	$2,7 \cdot 10^6$
Малина	$1,92 \cdot 10^6$
Масло сливочное	$32,7 \cdot 10^6$
Молоко	$2,8 \cdot 10^6$

Вещество	q , Дж/кг
Морковь	$1,72 \cdot 10^6$
Мороженное сливочное	$7,5 \cdot 10^6$
Мясо куриное	$5,38 \cdot 10^6$
Огурцы свежие	$5,7 \cdot 10^5$
Окунь, щука	$3,52 \cdot 10^6$
Сахар	$17,15 \cdot 10^6$
Сметана	$14,8 \cdot 10^6$
Смородина черная	$2,47 \cdot 10^6$
Хлеб пшеничный	$8,93 \cdot 10^6$
Хлеб ржаной	$8,62 \cdot 10^6$
Яблоки	$2,01 \cdot 10^6$
Яйца	$6,9 \cdot 10^6$

**23. Температура плавления и кристаллизации
(при давлении 760 мм рт. ст. или 101,3 кПа)**

Вещество	t , °C
Азот	-210
Алмаз	3500
Алюминий	660
Аммиак	-77,7
Ацетон	-94,9
Бензин	ниже -60
Вода	0
Вода тяжёлая	3,82

Вещество	$t, ^\circ\text{C}$
Водород	-259
Воздух	-213
Вольфрам	3380
Глицерин	18
Йод	114
Железо	1539
Золото	1063
Керосин	ниже -50
Кислород	-218
Лёд	0
Медь	1083
Молоко цельное	-0,6
Нафталин	80
Нефть	-60
Никель	1455
Олово	232
Осмий	3030
Парафин	54
Платина	1774
Ртуть	-39
Свинец	327
Сера	113
Серебро	960
Скипидар	-10

Вещество	$t, ^\circ\text{C}$
Соль поваренная	770
Спирт	-114
Сталь	1400
Стеарин	71,6
Фреон	-155
Хлор	-101
Чугун белый	1200
Чугун серый	1150
Цинк	420
Эфир	-116

24. Удельная теплота плавления

Вещество	$\lambda, \text{Дж/кг}$
Алюминий	$3,9 \cdot 10^5$
Водород	$5,9 \cdot 10^4$
Вольфрам	$1,84 \cdot 10^5$
Глицерин	$2,01 \cdot 10^5$
Железо	$2,7 \cdot 10^5$
Золото	$6,7 \cdot 10^4$
Кислород	$1,4 \cdot 10^4$
Кремний	$1,64 \cdot 10^5$
Лёд, вода	$3,4 \cdot 10^5$
Магний	$3,7 \cdot 10^5$
Медь	$2,1 \cdot 10^5$

Вещество	λ , Дж/кг
Натрий	$1,13 \cdot 10^5$
Нафталин	$1,5 \cdot 10^5$
Никель	$3 \cdot 10^5$
Олово	$5,9 \cdot 10^4$
Платина	$1,13 \cdot 10^5$
Ртуть	$1,2 \cdot 10^4$
Свинец	$2,5 \cdot 10^4$
Сера	$5,5 \cdot 10^4$
Серебро	$8,7 \cdot 10^4$
Спирт (этиловый)	$1 \cdot 10^5$
Сталь	$8,4 \cdot 10^4$
Тантал	$1,74 \cdot 10^5$
Цинк	$1,12 \cdot 10^5$
Чугун белый	$1,4 \cdot 10^5$
Чугун серый	$1 \cdot 10^5$

25. Температура кипения воды при различных значениях давления ниже атмосферного

Давление, Па	Давление, мм рт. ст	t , °С	Примечание
600	4,6	0	
1200	9,2	10	
2300	17,5	20	
4200	31,8	30	
7400	55,3	40	
12 300	92,5	50	

Давление, Па	Давление, мм рт. ст	t , °C	Примечание
31 100	234	70	Такое примерно давление атмосферы на вершине самой высокой горы в мире — Эверест (Гималаи, 8847 м)
38 500	289	75	Такое примерно давление атмосферы на горной вершине пик Коммунизма — высочайшей вершине Памира (7495 м)
53 700	403	83	Такое примерно давление атмосферы на вершине горы Казбек (5043 м)
70 100	526	90	
84 500	634	95	Высота 500 м
90 700	680	96,9	Высота 400 м
93 300	700	97,7	Высота 300 м
94 700	710	98,1	
96 000	720	98,5	
97 300	730	98,9	Высота 200 м
98 700	740	99,3	
100 000	750	99,6	
101 325	760	100,0	

26. Температура кипения воды при различных значениях давления выше нормального атмосферного

Давление, Па	Давление, мм рт. ст	t , °C
147 100	1104	111
196 100	1471	120
245 200	1840	127

Давление, Па	Давление, мм рт. ст	$t, ^\circ\text{C}$
294 200	2207	133
392 300	2943	143
490 300	3679	151
588 400	4415	158
686 500	5151	164
784 500	5886	170
882 600	6622	175
980 700	7358	179
1 961 000	14 713	211
2 452 000	18 397	223
4 903 000	36 787	263
9 807 000	73 582	310

**27. Температура кипения
(при давлении 760 мм рт. ст. или 101,3 кПа)**

Вещество	$t, ^\circ\text{C}$
Азот	-196
Алюминий	2467
Аммиак	-33
Ацетон	56
Бензол	80
Вода	100
Водород жидкий	-253
Воздух жидкий	-193
Гелий жидкий	-269
Глицерин	290
Железо	3200

Вещество	$t, ^\circ\text{C}$
Золото	2947
Кислород жидкий	-183
Криптон	-153
Медь	2300
Метан	-162
Нафталин	218
Никель	2800
Олово	2300
Ртуть	357
Свинец	1600
Сера	445
Спирт	78
Толуол	111
Фосфор	280
Фреон	-25
Цинк	906
Эфир	35

**28. Удельная теплота парообразования
(при давлении 760 мм рт. ст. или 101,3 кПа)**

Вещество	L или l , Дж/кг	Вещество	L или l , Дж/кг
Азот	$1,98 \cdot 10^5$	Криптон	$1,08 \cdot 10^5$
Аммиак	$1,37 \cdot 10^6$	Метан	$5,1 \cdot 10^5$
Ацетон	$5,25 \cdot 10^5$	Ртуть	$3,0 \cdot 10^5$
Вода	$2,3 \cdot 10^6$	Спирт	$9,0 \cdot 10^5$
Водород	$4,54 \cdot 10^5$	Фосфор	$4 \cdot 10^5$
Гелий	$2,06 \cdot 10^4$	Фреон	$1,62 \cdot 10^5$
Кислород	$2,13 \cdot 10^5$	Эфир	$4,0 \cdot 10^5$

**29. Давление насыщенного водяного пара
и его плотность при различных
значениях температуры**

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, 10^{-3} \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, 10^{-3} \text{кг/м}^3$
-5	0,401	3,24	18	2,066	15,4
-4	0,437	3,15	19	2,199	16,3
-3	0,476	3,81	20	2,333	17,3
-2	0,517	4,13	21	2,493	18,3
-1	0,563	4,47	22	2,639	19,4
0	0,613	4,80	23	2,813	20,6
1	0,653	5,20	24	2,986	21,8
2	0,706	5,60	25	3,173	23,0
3	0,760	6,00	26	3,359	24,4
4	0,813	6,40	27	3,559	25,8
5	0,880	6,80	28	3,786	27,2
6	0,933	7,30	29	3,999	28,7
7	1,000	7,80	30	4,239	30,3
8	1,066	8,30	40	7,371	51,2
9	1,146	8,80	50	12,33	83,0
10	1,226	9,40	60	19,92	130,0
11	1,306	10,0	70	31,0	198
12	1,399	10,7	80	47,33	293
13	1,492	11,4	90	70,10	424
14	1,599	12,1	100	101,3	598
15	1,706	12,8	120	198,5	1123
16	1,813	13,6	160	618,0	3259
17	1,933	14,5	200	1554	7763

30. Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометра, °С										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
0	100	82	63	45	28	11					
1	100	83	65	48	32	16					
2	100	84	68	51	35	20					
3	100	84	69	54	39	24	10				
4	100	85	70	56	42	28	14				
5	100	86	72	58	45	32	19	6			
6	100	86	73	60	47	35	23	10			
7	100	87	74	61	49	37	26	14			
8	100	87	74	63	51	40	28	18	7		
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11		
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	4	
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8	
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометра, °С											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Относительная влажность, %											
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	
26	100	92	85	78	71	64	58	51	45	40	34	
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37	
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	

31. Диэлектрическая проницаемость некоторых веществ

Вещество	ϵ	Вещество	ϵ
Бензин	2,306	Мрамор	8—9
Вакуум	1	Парафин	2,2
Винипласт	3,5	Парафиниро- ванная бумага	2,0
Вода (при 0 °С)	88	Резина	2—3
Вода	81	Сера	3,6—4,3
Воздух	1,0006	Слюда	6—9
Воск	5,806	Стекло	5—10
Глицерин	39	Текстолит	7
Керосин	2,1	Фарфор	4—7
Лёд (при -18 °С)	3,206	Эбонит	2,7
Масло	2,5	Янтарь	2,8

32. Удельное электрическое сопротивление (при 20 °С)

Вещество	ρ , Ом · мм ² /м	Вещество	ρ , Ом · мм ² /м
Алюминий	0,028	Олово	0,11
Вольфрам	0,055	Осмий	0,095
Графит	13	Платина	0,1
Железо	0,10	Раствор серной кислоты (10%)	25 000
Золото	0,024	Ртуть	0,98
Константан (сплав)	0,5	Серебро	0,016
Латунь	0,071	Свинец	0,21
Манганин (сплав)	0,43	Сталь	0,12
Медь	0,017	Фарфор	10 ¹⁹
Никелин (сплав)	0,40	Фехраль (сплав)	1,3
Никель	0,45	Цинк	0,06
Нихром (сплав)	1,1	Эбонит	10 ²⁰

33. Мощность различных электрических устройств

Название	P , Вт
Лампа карманного фонаря	1
Домашний холодильник	110—116
Осветительные лампы (бытовые)	15—200
Утюг	300—1000
Стиральная машина	350—600
Плитка	600—1250
Пылесос	до 600

Название	Р, Вт
Лампы в звёздах башен Кремля	5000
Двигатель электровоза	650 000
Электровоз	5 200 000
Электродвигатель прокатного стана	6 000 000—9 000 000
Гидрогенератор Братской ГЭС	250 000 000
Турбогенератор	50 000 000— 1200 000 000

34. Показатель преломления некоторых веществ

Вещество	n	Вещество	n
Азот	1,0003	кварц	1,54
Алмаз	2,42	сахар	1,56
Ацетон	1,36	сероуглерод	1,63
Бензол	1,50	скипидар	1,51
Вода	1,33	спирт метиловый	1,33
Воздух	1,0003	спирт этиловый	1,35
Глицерин	1,47	стекло	1,5—1,8
Каменная соль	1,54	флинтглас	1,8

35. Масса покоя частиц

Электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ а.е.м}$
Протона	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00728 \text{ а.е.м}$
Нейтрона	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00866 \text{ а.е.м}$

36. Относительная атомная масса некоторых изотопов

Название	Обозначение	Значение массы, а.е.м
Водород	${}^1_1\text{H}$	1,00783
Дейтерий	${}^2_1\text{H}$	2,01410

Название	Обозначение	Значение массы, а.е.м
Тритий	${}^3_1\text{H}$	3,01605
Гелий	${}^3_2\text{He}$	3,01602
Гелий	${}^4_2\text{He}$	4,00260
Литий	${}^6_3\text{Li}$	6,01513
Литий	${}^7_3\text{Li}$	7,01601
Бериллий	${}^8_4\text{Be}$	8,00531
Бор	${}^{10}_5\text{B}$	10,01294
Бор	${}^{11}_5\text{B}$	11,00931
Углерод	${}^{12}_6\text{C}$	12,00000
Углерод	${}^{13}_6\text{C}$	13,00340
Азот	${}^{14}_7\text{N}$	14,00307
Азот	${}^{15}_7\text{N}$	15,00011
Кислород	${}^{16}_8\text{O}$	15,99491
Кислород	${}^{17}_8\text{O}$	16,99913
Алюминий	${}^{27}_{13}\text{Al}$	26,98146

37. Периоды полураспадов радиоизотопов

Название	Обозначение	T
Натрий	${}^{24}\text{Na}$	14,8 ч
Полоний	${}^{210}\text{Po}$	138,4 сут
Радий	${}^{219}\text{Ra}$	10^{-3} с
Радий	${}^{226}\text{Ra}$	1600 лет

Название	Обозначение	T
Радий	^{230}Ra	1,5 ч
Радон	^{222}Rn	3,82 сут
Торий	^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет
Углерод	^{14}C	5730 лет
Уран	^{235}U	$1,7 \cdot 10^8$ лет

38. Энергия покоя частиц

Электрона	0,5 МэВ
Протона	938,3 МэВ
Нейтрона	939,6 МэВ

39. Энергия покоя ядер












Ядро	Обозначение	Энергия, МэВ
азота	$^{14}_7\text{N}$	13040,3
алюминия	$^{27}_{13}\text{Al}$	25126,6
аргона	$^{38}_{18}\text{Ar}$	35352,8
бериллия	^8_4Be	7454,9
бериллия	^9_4Be	8392,8
бора	$^{10}_5\text{B}$	9324,4
водорода	^1_1H	938,3
гелия	^3_2He	2808,4
гелия	^4_2He	3728,4

Ядро	Обозначение	Энергия, МэВ
дейтерия	${}^2_1\text{H}$	1875,6
кислорода	${}^{15}_8\text{O}$	13971,3
кислорода	${}^{17}_8\text{O}$	15830,6
кремния	${}^{30}_{14}\text{Si}$	27913,4
лития	${}^6_3\text{Li}$	5601,5
лития	${}^7_3\text{Li}$	6533,8
магния	${}^{24}_{12}\text{Mg}$	22335,8
натрия	${}^{23}_{11}\text{Na}$	21409,2
натрия	${}^{24}_{11}\text{Na}$	22341,9
неона	${}^{20}_{10}\text{Ne}$	18617,7
третия	${}^3_1\text{H}$	2809,4
углерода	${}^{12}_6\text{C}$	11174,9
углерода	${}^{13}_6\text{C}$	12109,5
фосфора	${}^{30}_{15}\text{P}$	27917,1

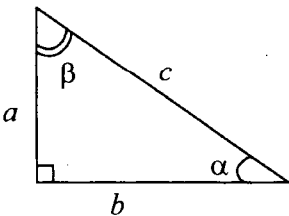
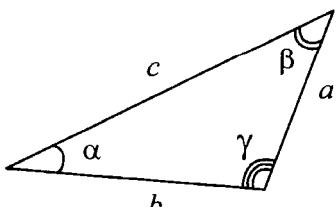
40. Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева

Период	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII						
I	1 Li Литий 6,939	(H)	3 Be Бериллий 9,0122	4 B Бор 10,811	5 C Углерод 12,01115	6 N Азот 14,0067	7 O Кислород 15,9994	8 F Фтор 18,9984	9 Ne Неон 20,179	10 He Гелий 4,0026	Обозначение элемента	Атомный номер		
II	2 Li Литий 6,939	11 Na Натрий 22,9898	12 Mg Магний 24,305	13 Al Алюминий 26,9815	14 Si Кремний 28,086	15 P Фосфор 30,9728	16 S Сера 32,064	17 Cl Хлор 35,453	18 Ar Аргон 39,948	Относительная атомная масса	Li Литий 6,939			
III	3 Na Натрий 22,9898	19 K Калий 39,102	20 Ca Кальций 40,08	21 Sc Скандий 44,956	22 Ti Титан 47,90	23 V Ванадий 50,942	24 Cr Хром 51,996	25 Mn Марганец 54,9380	26 Fe Железо 55,847	27 Co Кобальт 58,9330	28 Ni Никель 58,71			
IV	4 K Калий 39,102	20 Ca Кальций 40,08	30 Zn Цинк 65,37	31 Ga Галлий 69,72	32 Ge Германий 72,59	33 As Мышьяк 74,9216	34 Se Селен 78,96	35 Br Бром 79,904	36 Kr Криптон 83,80					
V	5 Rb Рубидий 85,47	37 Sr Стронций 87,62	38 Y Иттрий 88,905	40 Zr Цирконий 91,22	41 Nb Нобий 92,906	42 Mo Молибден 95,94	43 Tc Технеций [99]	44 Ru Рутений 101,07	45 Rh Родий 102,905	46 Pd Палладий 106,4				
VI	6 Cs Цезий 132,905	55 Ba Барий 137,34	56 La* Лантан 138,91	72 Hf Гафний 178,49	73 Ta Тантал 180,948	74 W Вольфрам 183,85	75 Re Рений 186,2	76 Os Осий 190,2	77 Ir Иридий 192,2	78 Pt Платина 195,09				
VII	7 Fr Франций [223]	87 Ra Радий [226]	88 Ac** Актиний [227]	104 Rf Резерфордий [261]	105 Db Дубний [262]	106 Sg Сибургий [263]	107 Bh Борий [262]	108 Hs Хассий [265]	109 Mt Мейтнерий [266]	110				
VIII	8 Ce Церий 140,12	60 Nd Неодим 144,24	61 Pm Прометий [147]	62 Sm Самарий 150,35	63 Eu Европий 151,96	64 Gd Гадолий 157,25	65 Tb Тербий 158,925	66 Dy Диспрозий 162,50	68 Er Эрбий 167,26	69 Tm Тулий 168,934	70 Yb Иттербий 173,04	71 Lu Лютеций 174,97		
IX	9 Th Торий 232,038	90 Pa Протактиний 231	91 U Уран 238,03	92 Np Нептуний [241]	93 Pu Плутоний [244]	94 Am Америций [243]	95 Cm Кюрий [247]	96 Bk Берклий [247]	97 Cf Калифорний [251]	98 Es Эйнштейний [252]	99 Fm Фермий [257]	100 No Нобелий [259]	101 Md Менделевий [261]	102 Lr Лоренсвий [260]

41. Некоторые математические формулы

Геометрическая фигура	Длина, периметр	Площадь	Объём
	$l = 2(a + b)$	$S = a \cdot b$	 $V = a \cdot b \cdot c$
	$l = 4a$	$S = a^2$	 $V = a^3$
	$l = a + b + c$	$S = \frac{1}{2}ab$	
	$l = 3a$	$S = \frac{1}{2}ah$	
		$S = \frac{a+b}{2}h$	
	$l = 2\pi r$ $l = \pi D$	$S = \pi r^2$ $S = \frac{\pi D^2}{4}$	 $V = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4\pi}{3} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^3$
	$l = \frac{\pi R}{180^\circ} \cdot \alpha^\circ$		 $V = S \cdot h = S \cdot l$

42. Свойства треугольника

Прямоугольный треугольник	Произвольный треугольник
	

Прямоугольный треугольник	Произвольный треугольник
c — гипотенуза прямоугольного треугольника a — катет, лежащий против угла α $a = c \cdot \sin\alpha = b \operatorname{tg}\alpha$ b — катет, прилежащий к углу α $b = c \cdot \cos\alpha = a \operatorname{ctg}\beta$ Теорема Пифагора $c = \sqrt{a^2 + b^2}$	$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$ Теорема косинусов $c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma}$ Теорема синусов $\frac{\sin\alpha}{a} = \frac{\sin\beta}{b} = \frac{\sin\gamma}{c}$

43. Значения тригонометрических функций некоторых углов

угол α	0°	30°	45°	60°	90°	180°
$\sin\alpha$	0	0,5	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0
$\cos\alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	0,5	0	-1
$\operatorname{tg}\alpha$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	-	0

Справочное издание

Громцева Ольга Ильинична

ФИЗИКА

Справочник

7–9 классы

Издательство «**ЭКЗАМЕН**»

Гигиенический сертификат
№ РОСС RU. АЕ51. Н 16466 от 25.03.2013 г.

Главный редактор *Л.Д. Ланно*
Редактор *Г.А. Лонцова*
Технический редактор *Л.В. Павлова*
Корректор *Т.И. Шитикова*
Дизайн обложки *А.А. Козлова*
Компьютерная верстка *М.А. Серова*

107045, Москва, Луков пер., д. 8.
www.examen.biz

Е-mail: по общим вопросам: info@examen.biz;
по вопросам реализации: sale@examen.biz
тел./факс 641-00-30 (многоканальный)

Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, том 2; 953005 — книги, брошюры,
литература учебная

Отпечатано в «Красногорская типография»
143405, Московская область,
г. Красногорск, Коммунальный квартал, 2
www.ktprint.ru

По вопросам реализации обращаться по тел.:
641-00-30 (многоканальный).