

ПОЛНЫЙ ШКОЛЬНЫЙ КУРС

в таблицах

и схемах

ФИЗИКА

ВСЕ ТЕМЫ

**ПОДГОТОВКА
К УРОКАМ
И ЕГЭ**

ТЕОРИЯ В ТАБЛИЦАХ И СХЕМАХ

ТРЕНИРОВОЧНЫЕ ЗАДАНИЯ

ОТВЕТЫ КО ВСЕМ ЗАДАНИЯМ



ПОЛНЫЙ ШКОЛЬНЫЙ КУРС

в таблицах

и схемах

О. П. Бальва

ФИЗИКА



Москва
2020

УДК 373:53
ББК 22.3я721
Б21

Бальва, Ольга Павловна.
Б21 Физика / О. П. Бальва. — Москва : Эксмо, 2020. — 176 с. — (Полный школьный курс в таблицах и схемах).

ISBN 978-5-04-110761-1

Пособие содержит теоретические сведения в схемах и таблицах по всем темам, проверяемым на ЕГЭ по физике. После каждого раздела приводятся тренировочные задания разных типов с ответами. Наглядное и доступное изложение материала позволит быстро найти нужную информацию, устранить пробелы в знаниях и в кратчайшие сроки повторить большой объём информации.

Издание окажет помощь старшеклассникам при подготовке к ЕГЭ по физике, урокам и различным формам текущего и промежуточного контроля.

УДК 373:53
ББК 22.3я721

ISBN 978-5-04-110761-1

© Бальва О.П., 2020
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

1. МЕХАНИКА	8
1.1. КИНЕМАТИКА	8
1.1.1. Механическое движение. Относительность механического движения. Система отсчёта	8
1.1.2. Материальная точка	9
1.1.3. Скорость материальной точки. Сложение скоростей	10
1.1.4. Ускорение материальной точки	11
1.1.5. Равномерное прямолинейное движение	11
1.1.6. Равноускоренное прямолинейное движение	13
1.1.7. Свободное падение. Ускорение свободного падения	14
1.1.8. Равномерное движение точки по окружности	16
1.1.9. Твёрдое тело. Поступательное и вращательное движение твёрдого тела	17
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 1.1</i>	18
1.2. ДИНАМИКА	20
1.2.1. Инерциальные системы отсчёта. Первый закон Ньютона. Принцип относительности Галилея	20
1.2.2. Масса вещества. Плотность вещества	21
1.2.3. Сила. Принцип суперпозиции сил	21
1.2.4. Второй закон Ньютона	23
1.2.5. Третий закон Ньютона для материальных точек	23
1.2.6. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести. Зависимость силы от высоты h над поверхностью планеты радиусом R_0	23
1.2.7. Движение небесных тел и их искусственных спутников. Первая космическая скорость	25
1.2.8. Сила упругости. Закон Гука	25
1.2.9. Сила трения	27
1.2.10. Давление	27
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 1.2</i>	28
1.3. СТАТИКА	30
1.3.1. Момент силы относительно оси вращения	30
1.3.2. Условия равновесия твёрдого тела в ИСО	30
1.3.3. Закон Паскаля	31
1.3.4. Давление в жидкости, покоящейся в ИСО	31
1.3.5. Закон Архимеда. Условия плавания тел	32
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 1.3</i>	34
1.4. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ	36
1.4.1. Импульс материальной точки	36
1.4.2. Импульс системы тел	36
1.4.3. Закон изменения и сохранения импульса	36
1.4.4. Работа силы	36

1.4.5. Мощность силы	38
1.4.6. Кинетическая энергия. Закон изменения кинетической энергии	39
1.4.7. Потенциальная энергия.....	39
1.4.8. Закон изменения и сохранения механической энергии.....	40
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 1.4</i>	41
1.5. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	43
1.5.1. Гармонические колебания	43
1.5.2. Период и частота колебаний.....	44
1.5.3. Вынужденные колебания. Резонанс. Резонансная кривая.....	45
1.5.4. Механические волны	45
1.5.5. Звук. Скорость звука	46
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 1.5</i>	47
2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА	50
2.1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА	50
2.1.1. Модели строения газов, жидкостей и твёрдых тел	51
2.1.2. Тепловое движение атомов и молекул вещества	52
2.1.3. Взаимодействие частиц вещества.....	52
2.1.4. Диффузия. Броуновское движение.....	53
2.1.5. Модель идеального газа в МКТ.....	54
2.1.6. Основное уравнение МКТ.....	54
2.1.7. Абсолютная температура	54
2.1.8. Температура как мера кинетической энергии.....	55
2.1.9. Уравнение $p = nkT$	55
2.1.10. Уравнение состояния идеального газа.....	56
2.1.11. Закон Дальтона для давления смеси разреженных газов	56
2.1.12. Изопроцессы в газах.....	57
2.1.13. Насыщенные и ненасыщенные пары.....	58
2.1.14. Влажность воздуха. Относительная влажность	59
2.1.15. Изменение агрегатных состояний вещества. Кипение жидкости	59
2.1.16. Изменение агрегатных состояний вещества: плавление и кристаллизация.....	59
2.1.17. Преобразование энергии в фазовых переходах	60
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 2.1</i>	63
2.2. ТЕРМОДИНАМИКА	65
2.2.1. Тепловое равновесие и температура.....	65
2.2.2. Внутренняя энергия.....	67
2.2.3. Теплопередача как способ изменения внутренней энергии без совершения работы. Конвекция, теплопроводность, излучение.....	67
2.2.4. Количество теплоты. Удельная теплоёмкость вещества.....	68
2.2.5. Удельная теплота парообразования. Удельная теплота плавления. Удельная теплота сгорания топлива	68

2.2.6. Работа в термодинамике	69
2.2.7. Первый закон термодинамики. Адиабата	69
2.2.8. Второй закон термодинамики, необратимость	69
2.2.9. Принципы действия тепловых машин. КПД	70
2.2.10. Максимальное значение КПД. Цикл Карно	71
2.2.11. Уравнение теплового баланса	74
Примеры заданий ЕГЭ по теме 2.2	75
3. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА	77
3.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ	77
3.1.1. Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда	77
3.1.2. Закон Кулона	79
3.1.3. Электрическое поле и заряды	79
3.1.4. Напряжённость электрического поля. Поле точечного заряда, однородное поле. Картины линий этих полей	80
3.1.5. Потенциальность электростатического поля	82
3.1.6. Принцип суперпозиции электрических полей	83
3.1.7. Проводники в электростатическом поле	83
3.1.8. Диэлектрики в электростатическом поле	84
3.1.9. Электроёмкость. Конденсатор	86
3.1.10. Соединение конденсаторов	87
3.1.11. Энергия заряженного конденсатора	88
Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.1	88
3.2. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	91
3.2.1. Сила тока. Постоянный ток	91
3.2.2. Условия существования электрического тока. Напряжение и ЭДС	91
3.2.3. Закон Ома для участка цепи	92
3.2.4. Электрическое сопротивление	92
3.2.5. Источники постоянного тока	92
3.2.6. Закон Ома для полной (замкнутой) цепи	93
3.2.7. Параллельное и последовательное соединение проводников	93
3.2.8. Работа электрического поля. Закон Джоуля — Ленца	94
3.2.9. Мощность электрического тока	94
3.2.10. Носители электрических зарядов в различных средах	95
Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.2	99
3.3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ	101
3.3.1. Механическое взаимодействие магнитов	101
3.3.2. Опыт Эрстеда. Магнитное поле	102
3.3.3. Сила Ампера, её направление и величина	104
3.3.4. Сила Лоренца	106
Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.3	107

3.4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ	109
3.4.1. Поток вектора магнитной индукции	109
3.4.2. Явление электромагнитной индукции	109
3.4.3. Закон электромагнитной индукции Фарадея	109
3.4.4. ЭДС индукции в движущихся проводниках	110
3.4.5. Правило Ленца	110
3.4.6. Индуктивность. Самоиндукция. ЭДС самоиндукции	111
3.4.7. Энергия магнитного поля катушки с током	111
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.4</i>	111
3.5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	114
3.5.1. Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания	114
3.5.2. Закон сохранения энергии в колебательном контуре	116
3.5.3. Вынужденные электромагнитные колебания. Резонанс	116
3.5.4. Переменный ток. Производство, передача и потребление электрической энергии	117
3.5.5. Электромагнитные волны	120
3.5.6. Шкала электромагнитных волн. Применение электромагнитных волн	121
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.5</i>	123
3.6. ОПТИКА	126
3.6.1. Прямолинейное распространение света в однородной среде. Луч света	126
3.6.2. Законы отражения света	127
3.6.3. Построение изображений в плоском зеркале	128
3.6.4. Закон преломления света	128
3.6.5. Полное внутреннее отражение	129
3.6.6. Собирающие и рассеивающие линзы	130
3.6.7. Формула тонкой линзы	132
3.6.8. Построение изображений в линзах	133
3.6.9. Фотоаппарат как оптический прибор. Глаз как оптическая система	135
3.6.10. Интерференция света	135
3.6.11. Дифракция света	137
3.6.12. Дисперсия света	138
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.6</i>	138
4. ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ	141
4.1. ПОСТУЛАТЫ СТО И ЕЁ СЛЕДСТВИЯ	141
4.2. ЭНЕРГИЯ И ИМПУЛЬС СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ	142
4.3. СВЯЗЬ МАССЫ И ЭНЕРГИИ СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ	142
<i>Примеры заданий ЕГЭ по темам 4.1–4.3</i>	143

5. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА	145
5.1. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ	145
5.1.1. Гипотеза М. Планка о квантах	145
5.1.2. Фотоны. Энергия фотона. Импульс фотона	145
5.1.3. Фотоэффект. Опыты А. Г. Столетова. Законы фотоэффекта	145
5.1.4. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта	146
5.1.5. Волновые свойства частиц. Волны де Бройля	147
5.1.6. Давление света	147
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 5.1</i>	<i>148</i>
5.2. ФИЗИКА АТОМА	150
5.2.1. Планетарная модель атома	150
5.2.2. Постулаты Бора. Излучение и поглощение фотонов при переходе атома с одного уровня энергии на другой	150
5.2.3. Оптические спектры	151
5.2.4. Лазер	153
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 5.2</i>	<i>154</i>
5.3. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА	156
5.3.1. Нуклонная модель ядра Гейзенберга — Иваненко	156
5.3.2. Энергия связи нуклонов в ядре. Ядерные силы	157
5.3.3. Дефект массы ядра	157
5.3.4. Радиоактивность	158
5.3.5. Закон радиоактивного распада	158
5.3.6. Ядерные реакции. Деление и синтез ядер	160
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 5.3</i>	<i>161</i>
ОТВЕТЫ К ПРИМЕРАМ ЗАДАНИЙ ЕГЭ	163
СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	169
Таблица 1. Основные единицы Международной системы (СИ)	169
Таблица 2. Дополнительные единицы СИ	169
Таблица 3. Производные единицы СИ	170
Таблица 4. Внесистемные единицы, допускаемые к применению в специальных областях	173
Таблица 5. Основные физические постоянные	174



1. МЕХАНИКА

Механика — наука о механическом движении материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между ними.

Классическая механика изучает движение со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света.

Релятивистская механика изучает движение тел при больших скоростях, сравнимых со скоростью света.

Статика — это учение о равновесии тел под действием сил (греч. слово *statos* означает «стоящий»).

Кинематика — это учение о геометрических свойствах движения тел.

Динамика — это учение о движении тел под действием сил.

1.1. КИНЕМАТИКА

Кинематика — раздел механики, в котором изучается движение тел без рассмотрения причин движения.

1.1.1. Механическое движение. Относительность механического движения. Система отсчёта

Механическое движение — изменение положения тела с течением времени.

Виды механического движения

Поступательное движение	Вращательное движение	Колебательное движение
-------------------------	-----------------------	------------------------

Система отсчёта и относительность движения

Для описания механического движения с помощью математических формул вводится понятие **системы отсчёта**.

Система отсчёта — совокупность **системы координат** для определения положения тела в пространстве и **часов** для определения времени.

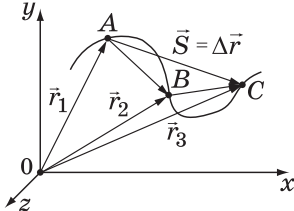
Декартовы системы координат

Одномерная система координат	Двумерная система координат	Трёхмерная система координат
 <p>Точка O — начало отсчёта. Ось Ox — ось абсцисс. На осях отмечается отрезок единичной длины</p>	 <p>Ось Oy — ось ординат</p>	 <p>Ось Oz — ось аппликат</p>

Окончание таблицы

Система отсчёта, связанная с неподвижным наблюдателем, называется лабораторной системой отсчёта .		
Система отсчёта может быть связана с движущимся наблюдателем.	Движение в различных системах отсчёта выглядит неодинаково. Поэтому говорят, что движение относительно .	Пример. Пассажир, сидящий в летящем самолёте, неподвижен относительно самолёта, но он движется относительно поверхности Земли.
Часы в разных системах отсчёта идут одинаково. Поэтому говорят, что время абсолютно . На самом деле это не так. Время у движущихся относительно друг друга наблюдателей течёт по-разному. Это становится заметным при больших скоростях движения.		
Систему отсчёта можно выбрать произвольно. При кинематических исследованиях все системы отсчёта равноправны. В задачах динамики также можно использовать любые произвольно движущиеся системы отсчёта, но удобнее всего <i>инерциальные системы отсчёта</i> , так как в них характеристики движения имеют более простой вид.		

1.1.2. Материальная точка

Материальная точка — тело, размерами и формой которого в условиях данной задачи можно пренебречь.	Землю <i>можно</i> считать материальной точкой, если необходимо вычислить период обращения Земли вокруг Солнца. Землю <i>нельзя</i> считать материальной точкой, если необходимо вычислить расстояние от Москвы до Владивостока.
Путь l — длина траектории, т. е. линии, которую описывает материальная точка в пространстве.	<p>Кривая ABC — траектория.</p>  <p>$\vec{S} = \Delta \vec{r} = \vec{r}_3 - \vec{r}_1 = \overline{AC}$ — перемещение. Оно равно сумме перемещений: $\vec{S} = \overline{AB} + \overline{BC}$</p>
Траектория — линия, которую описывает в пространстве материальная точка.	
Перемещение \vec{S} — вектор, соединяющий начальное и конечное положения материальной точки в пространстве.	
Поступательное движение — движение, при котором скорости всех точек тела одинаковы по величине и направлению. В этом случае движение тела можно рассматривать как движение одной точки. Поступательное движение — это один из видов механического движения.	

1.1.3. Скорость материальной точки. Сложение скоростей

Скоростью \vec{v} точки называется предел отношения перемещения $\Delta\vec{r}$ к промежутку времени Δt , в течение которого это перемещение произошло, при стремлении Δt к нулю (т. е. производной $\Delta\vec{r}$ по t):

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \vec{r}'_t.$$

Составляющие вектора скорости по осям X , Y , Z определяются аналогично:

$$\vec{v}_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = x'; \quad v_y = y'; \quad v_z = z'.$$

Определённое таким образом понятие скорости называют также **мгновенной скоростью**.

Средняя скорость точки вводится для характеристики неравномерного движения (т.е. движения с переменной скоростью) и определяется двояко.

1. Средняя скорость точки $v_{\text{ср}}$ равна отношению всего пройденного телом пути Δs ко всему времени движения Δt :

$$v_{\text{ср}} = \frac{\Delta l}{\Delta t}.$$

При таком определении средняя скорость — скаляр, т. к. пройденный путь (расстояние) и время — величины скалярные. Такой способ определения даёт представление о *средней скорости движения на участке траектории (средней путевой скорости)*.

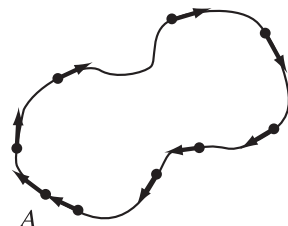
2. Средняя скорость точки равна отношению перемещения точки к промежутку времени, в течение которого это перемещение произошло:

$$v_{\text{ср}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}.$$

Средняя скорость перемещения — величина *векторная*.

Для неравномерного криволинейного движения такое определение средней скорости не всегда позволяет определить даже приблизительно реальные скорости на пути движения точки. Например, если точка двигалась по замкнутой траектории в течение некоторого времени, то перемещение её равно нулю (но скорость явно отличалась от нуля). В этом случае лучше пользоваться первым определением средней скорости.

В любом случае следует различать эти два определения средней скорости и знать, о какой из них идёт речь.



Закон сложения скоростей устанавливает связь между значениями скорости материальной точки относительно различных систем отсчёта, движущихся друг относительно друга. В нерелятивистской (классической) физике, когда рассматриваемые скорости малы по сравнению со скоростью света, справедлив закон сложения скоростей Галилея, который выражается формулой:

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v},$$

где \vec{v}_2 и \vec{v}_1 — скорости тела (точки) относительно двух инерциальных систем отсчёта — неподвижной системы отсчёта K_2 и системы отсчёта K_1 , движущейся со скоростью \vec{v} относительно K_2 .

1.1.4. Ускорение материальной точки

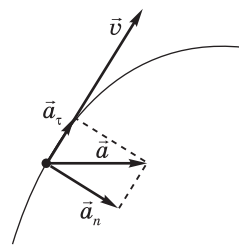
Ускорение (или **мгновенное ускорение**) — векторная физическая величина, равная пределу отношения изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло, при стремлении Δt к нулю, (т. е. производной \vec{v} по t):

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{v}'_t.$$

Составляющие \vec{a} (a_x, a_y, a_z) равны соответственно:

$$a_x = v'_x; \quad a_y = v'_y; \quad a_z = v'_z.$$

Ускорение, как и изменение скорости, направлено в сторону вогнутости траектории и может быть разложено на две составляющие — *тангенциальную* a_τ — по касательной к траектории движения — и *нормальную* a_n — перпендикулярно траектории.



1.1.5. Равномерное прямолинейное движение

Прямолинейное движение

Основное свойство прямолинейного движения:
траектория движения — прямая линия

Простейшие виды прямолинейного движения

Равномерное
прямолинейное
движение

Неравномерное
прямолинейное
движение

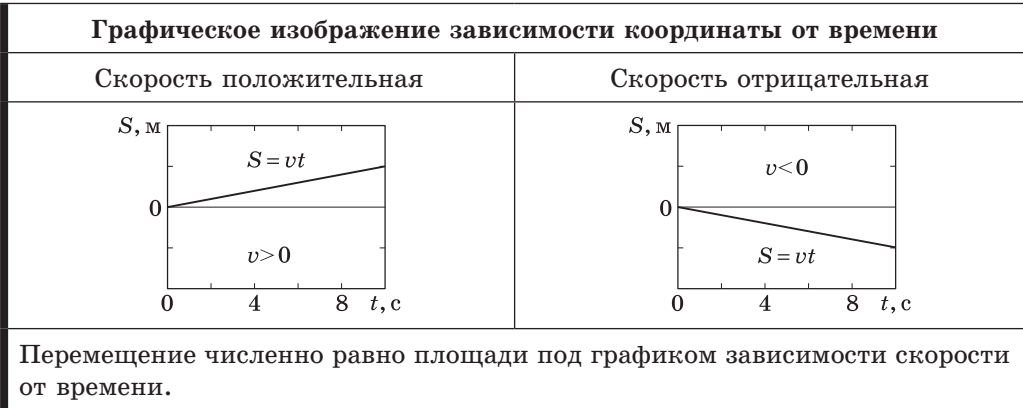
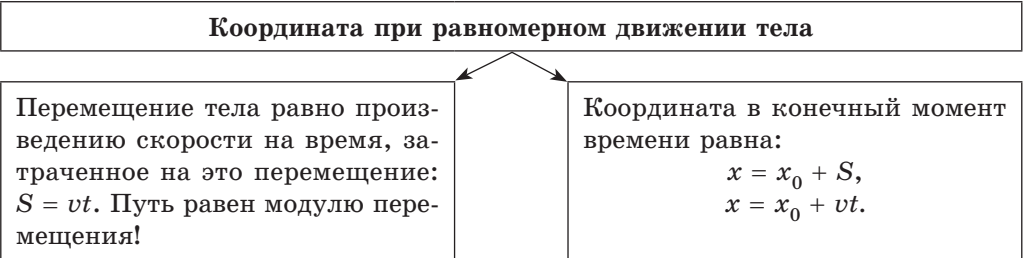
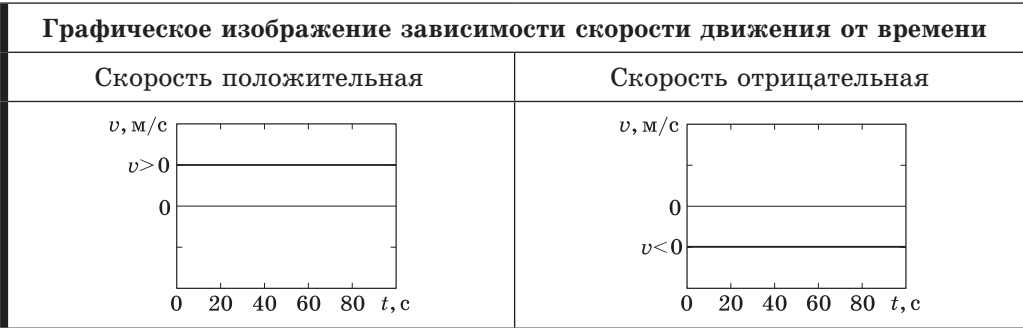
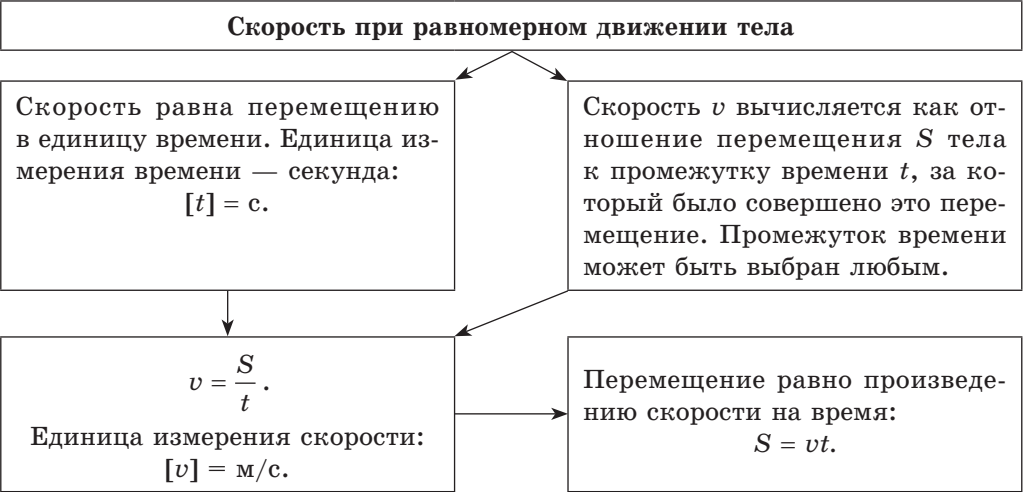
Равноускоренное
(равнозамедленное)
прямолинейное
движение

Перемещение при прямолинейном движении тела

Перемещение равно разности координат: $S = x - x_0$.
Здесь x_0 — координата в начальный момент времени, x — координата в конечный момент времени. Ось Ox направлена вдоль направления движения.

Единица измерения координаты и перемещения — это единица измерения длины (*метр*):
 $[x] = [S] = \text{м}.$

Равномерное прямолинейное движение — прямолинейное движение, при котором тело за равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.



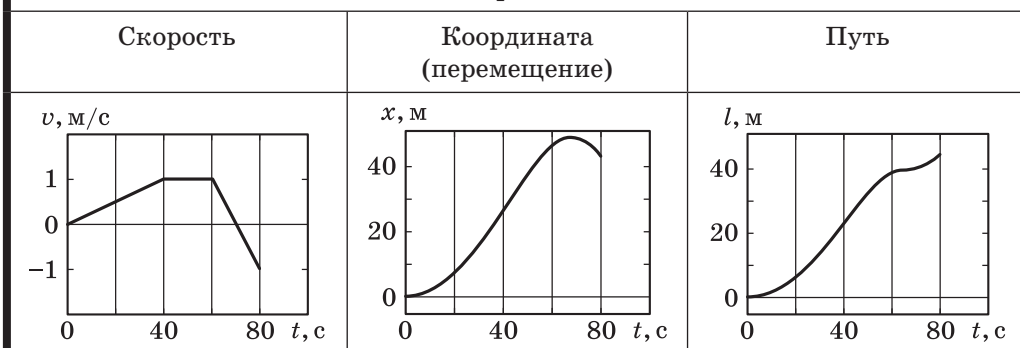
Неравномерное прямолинейное движение — прямолинейное движение, при котором скорость тела меняется со временем.

Скорость при неравномерном движении тела

Мгновенная скорость (скорость в данный момент времени) v равна отношению *малого* перемещения $S = x_2 - x_1 = \Delta x$ тела к *малому* промежутку времени $t_2 - t_1 = \Delta t$, за который было совершено это перемещение. При этом величина промежутка времени Δt стремится к нулю:

$$v_{\text{МГНОВ}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

Графическое изображение зависимости скорости и координаты от времени



Средняя величина (модуль) скорости: отношение пройденного пути к времени, затраченному на этот путь.

1.1.6. Равноускоренное прямолинейное движение

Равноускоренное прямолинейное движение — прямолинейное движение, при котором скорость тела линейно зависит от времени.

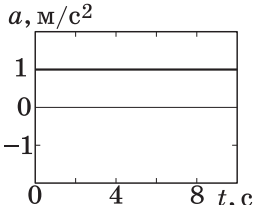
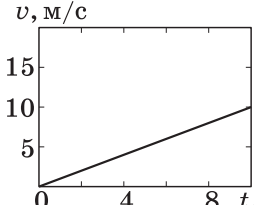
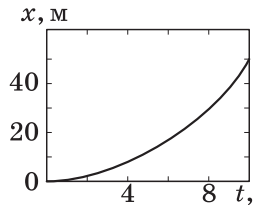
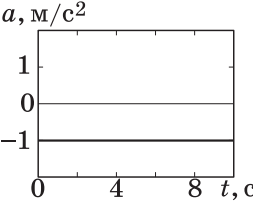
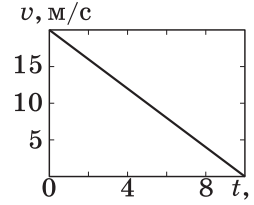
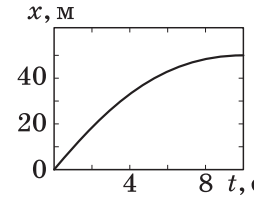
Равноускоренное прямолинейное движение

Скорость линейно зависит от времени: $v = at + v_0$.
 v_0 — начальная скорость тела.

При равноускоренном движении скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину.

Ускорение тела — изменение скорости в единицу времени. Ускорение a вычисляется как отношение изменения скорости тела к промежутку времени, за который это изменение произошло: $a = \frac{v - v_0}{t - t_0}$.

Единица измерения ускорения $[a] = \text{м/с}^2$.

Графическое изображение зависимости ускорения, скорости и координаты от времени		
Равноускоренное движение		
Ускорение	Скорость	Координата
$a = \text{const} > 0$	$v = v_0 + at$	$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$
		
Равнозамедленное движение		
Ускорение	Скорость	Координата
$a = \text{const} < 0$	$v = v_0 - a t$	$x = x_0 + v_0 t - \frac{ a t^2}{2}$
		

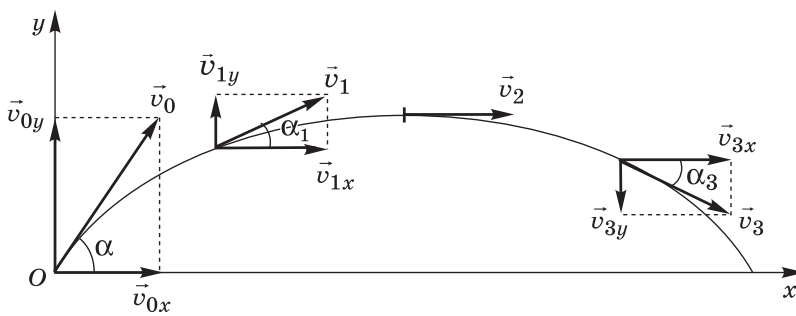
1.1.7. Свободное падение. Ускорение свободного падения

<p>Свободным падением называется движение тела, обусловленное притяжением Земли, при отсутствии начальной скорости и сопротивления среды.</p>
<p>Вблизи поверхности Земли все тела, если на них действует только сила притяжения Земли, движутся с одинаковым ускорением, направленным по вертикали вниз. Это ускорение называется ускорением свободного падения, оно обозначается буквой <i>g</i> и равно: $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.</p>

Окончание таблицы

Высота, с которой падает тело	Скорость тела
$h = \frac{gt^2}{2}$	$v = \sqrt{2gh}$

Движение тела, брошенного вертикально вверх	
Высота подъёма тела	Скорость тела
$h = h_0 + v_0t - \frac{gt^2}{2}$	$v = v_0 - gt$
Здесь h_0 — начальная высота, v_0 — начальная скорость	

Движение тела, брошенного под углом к горизонту	
Тело одновременно участвует в двух движениях	
По горизонтали (вдоль оси Ox)	По вертикали (вдоль оси Oy)
Движение — равномерное	Движение — равноускоренное
Скорость $v_x = v_{0x};$ $v_x = v_0 \cos \alpha$	Скорость $v_h = v_{0h} - gt;$ $v_{0h} = v_0 \sin \alpha$
Координата $x = x_0 + v_{0x}t;$ $x = x_0 + v_0 \cos \alpha \cdot t$	Координата $y = h = h_0 + v_{0h}t - \frac{gt^2}{2};$ $h = h_0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$
Траектория движения — парабола	
	
В вершине параболы вертикальная составляющая скорости v_{2h} равна нулю. В точке падения скорость тела равна по абсолютной величине скорости тела в точке бросания, а направление её составляет тот же угол, что и в точке бросания (взятый с обратным знаком). Это следует из симметрии параболы и имеет место в отсутствие сопротивления воздуха.	

1.1.8. Равномерное движение точки по окружности

Основные параметры:

R — радиус окружности;

L — длина окружности;

Δl — путь, пройденный из положения A в положение B за время Δt ;

T — период вращения (время одного оборота);

v — линейная скорость;

$\Delta\varphi$ — угловое перемещение, т. е. угол поворота радиуса за малое время Δt ;

ω — угловая скорость (угол поворота в единицу времени);

ν — частота вращения (количество оборотов в единицу времени).



$$T = \frac{1}{\nu};$$
$$[T] = \text{с};$$
$$[\nu] = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}$$

Радиян — единица измерения угла. Определяется как отношение длины соответствующей дуги окружности к радиусу этой окружности:

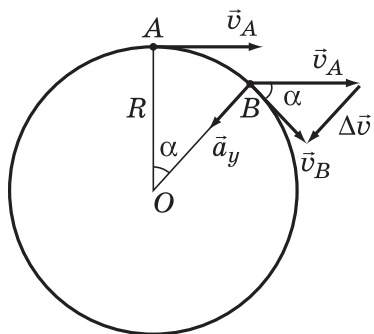
$$\Delta\varphi = \frac{\Delta l}{R} \text{ рад.}$$

Связь с градусами: $360^\circ = 2\pi \text{ рад.}$

Линейная скорость	Угловая скорость
$v = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{L}{T} = \frac{2\pi R}{T} = \omega \cdot R = \text{const}$	$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu = \frac{v}{R} = \text{const}$
$[v] = \text{м/с}$	$[\omega] = \text{рад/с}$

Центростремительное ускорение

При равномерном вращении модуль скорости с течением времени не изменяется, однако направление скорости зависит от времени. Поскольку скорость точки изменяется по направлению, то тело имеет ускорение, которое называется центростремительным ускорением:



$$\vec{a}_{\text{мгнов}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v}_B - \vec{v}_A}{\Delta t}$$

Окончание таблицы

Величина этого ускорения равна $ \vec{a}_ц = \frac{v^2}{R}$, а направлено ускорение к центру окружности перпендикулярно к вектору скорости. Поэтому такое ускорение называется центростремительным ускорением .		
Линейная скорость	Угловая скорость	Центростремительное ускорение
$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R \cdot \nu$	$\omega = 2\pi \nu = \frac{2\pi}{T}$	$a_ц = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2 R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$

1.1.9. Твёрдое тело. Поступательное и вращательное движение твёрдого тела

Поступательное движение	Вращательное движение	
движение, при котором любая прямая, жёстко связанная с движущимся телом, остаётся параллельной своему первоначальному положению	движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на оси вращения	
		

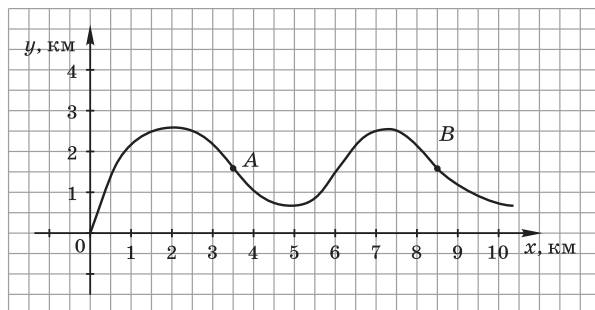
Связь между линейной v и угловой ω скоростями и центростремительным ускорением a определяется соотношениями:
$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu;$ $v = \omega R;$ $a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$

Закон равномерного вращательного движения
При ненулевом значении угла поворота φ_0 в начальный момент времени ($t=0$) закон вращательного движения описывается уравнением: $\varphi = \varphi_0 + \omega t.$

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 1.1. КИНЕМАТИКА

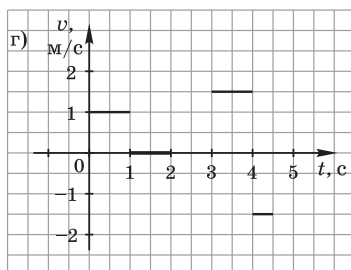
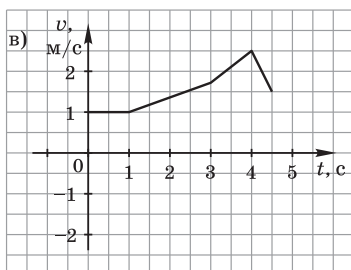
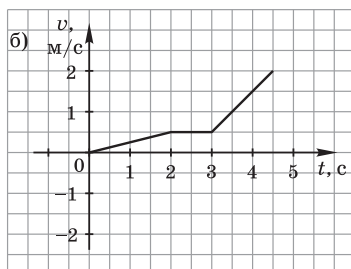
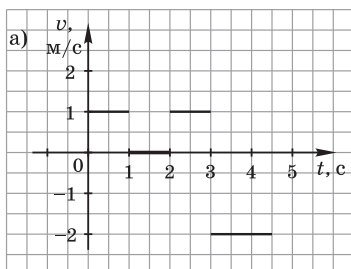
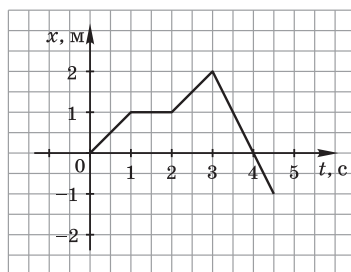
Ответами к заданиям 1–7 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** На рисунке изображена траектория движения автомобиля. Определите модуль вектора перемещения из точки A в точку B .



Ответ: _____ км.

- 2** На рисунке приведён график движения тела $x(t)$. Под ним приведены четыре графика зависимости его скорости от времени $v(t)$. Какой из них соответствует графику движения тела $x(t)$?



Ответ: _____ .

- 3** Первую половину своего пути автомобиль двигался со скоростью $v_1 = 18$ км/с, а вторую половину пути — со скоростью $v_2 = 40$ км/ч. Какова его средняя скорость $v_{\text{ср}}$ на всём пути?

Ответ: _____ м/с.

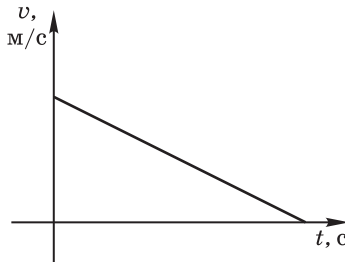
- 4** Точка движется по окружности радиуса $R = 5$ м со скоростью 3 м/с. Определите центростремительное ускорение точки.

Ответ: _____ м/с².

- 5** Чему равна угловая скорость минутной стрелки часов?

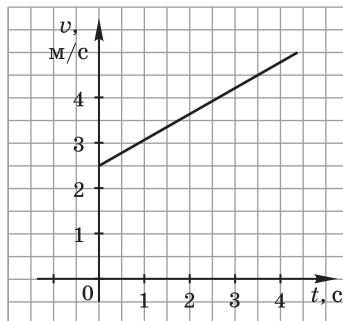
Ответ: _____ мрад/с.

- 6** Какой из видов движения изображён на графике зависимости скорости от времени (*равномерное, равноускоренное или равнозамедленное*)? Ответ запишите словами.



Ответ: _____ .

- 7** Пользуясь графиком зависимости скорости от времени определите путь, пройденный телом за первые 3,5 секунды.



Ответ: _____ м.

1.2. ДИНАМИКА

Динамика — раздел механики, в котором изучается движение тел под действием сил.

1.2.1. Инерциальные системы отсчёта. Первый закон Ньютона.
Принцип относительности Галилея

<p>Инерциальная система отсчёта (ИСО) — система отсчёта, относительно которой тело, <i>на которое не действуют другие тела и внешние силы</i>, движется равномерно и прямолинейно или находится в покое.</p>	<p>I закон Ньютона</p> <p>В инерциальных системах отсчёта тела, покоящиеся или движущиеся равномерно и прямолинейно, не изменяют своего состояния, если на них не действуют силы.</p> $\sum \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \vec{v} = \text{const.}$
<p>Единица измерения силы — Ньютон: $[F] = \text{Н} = \text{кг} \cdot (\text{м}/\text{с}^2)$.</p>	

Принцип относительности Галилея
(пространство и время в классической механике)

В неподвижной системе отсчёта и в системе отсчёта, которая движется с постоянной скоростью, все физические явления протекают одинаково. Другими словами, в инерциальных системах отсчёта законы физики одинаковы. В этом состоит **принцип относительности Галилея**. Из этого принципа, в частности, следует, что с помощью физического эксперимента в заданной системе отсчёта невозможно определить, движется или покоится эта инерциальная система. Принцип относительности Галилея непосредственно связан со свойствами пространства и времени в классической механике. Время является **абсолютной** физической величиной и во всех системах отсчёта течёт одинаково. Следовательно, всем наблюдателям, движущимся с любыми скоростями (или даже с ускорениями), можно пользоваться одними часами. Пространственные координаты являются относительными величинами и зависят от системы отсчёта.

Преобразования Галилея заключаются в преобразовании координат $\vec{r}(x, y, z)$ и времени t движущейся материальной точки при переходе от одной инерциальной системы отсчёта (ИСО) к другой:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v} t, \quad t = t'.$$

Для координаты x это означает:

$$x = x' + v_x t, \quad t = t',$$

где v — относительная скорость (постоянная) движения двух ИСО, \vec{r} и \vec{r}' — радиус-векторы, а x и x' — координаты точки в этих двух ИСО.

$$\vec{r} = \vec{r}' + \Delta \vec{r}_{O'O}, \quad \vec{r} = \vec{r}' + \vec{v} t,$$

Закон сложения скоростей:

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

где u и u' — скорости точки относительно систем K и K' соответственно.

1.2.2. Масса вещества. Плотность вещества

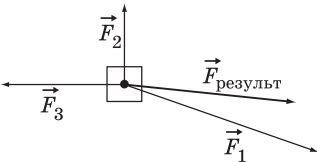
Инерционные свойства тел	
Инерция — явление сохранения скорости равномерного прямолинейного движения тела (или его состояния покоя), если на тело не действуют силы.	Инертность тела — свойство тела сохранять скорость равномерного прямолинейного движения (или оставаться в покое), если на это тело не действуют силы.
Масса — величина, являющаяся мерой инертности тела (инертная масса).	

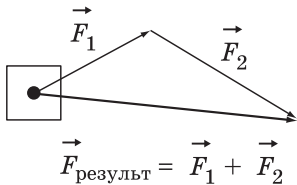
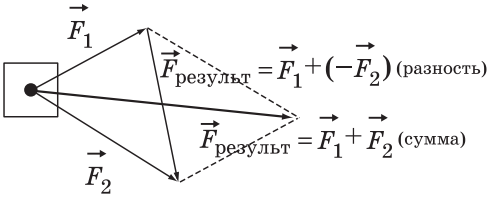
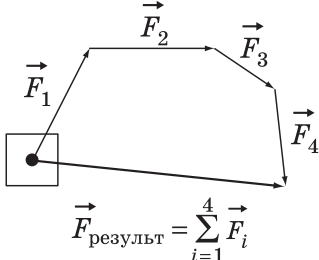

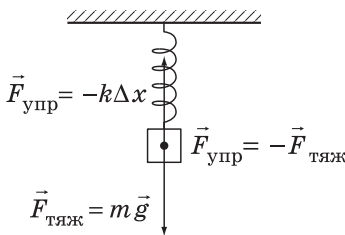
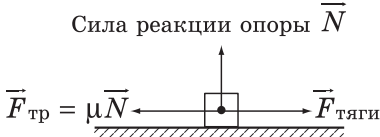
Гравитационная масса		
Масса определяет также гравитационное притяжение между телами (гравитационная масса). В современной физике гравитационная и инертная массы тела считаются одинаковыми.		
Масса в классической механике		
Масса тела не зависит от скорости движения этого тела.	Масса тела остаётся неизменной при любых процессах (<i>закон сохранения массы</i>).	Масса тела равна массе всех частиц, из которых состоит тело.
Единица измерения массы — килограмм: $[m] = \text{кг}$.		

Плотность	
Плотность — величина, равная отношению массы однородного тела к его объёму (масса единицы объёма):	$\rho = \frac{m}{V}$
Единица измерения плотности:	$[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

1.2.3. Сила. Принцип суперпозиции сил

Сила — физическая величина, которая является мерой взаимодействия тел и приводит к изменению скорости тел.

Закон сложения сил. Принцип суперпозиции	
Если на тело (материальную точку) действует несколько сил, то их действие можно заменить действием одной, резльтирующей силы.	
Результирующая сила определяется как векторная сумма сил, действующих на тело.	$\vec{F}_{\text{результ}} = \sum_i \vec{F}_i$

Сложение векторов	
Правило треугольника	 $\vec{F}_{\text{результ}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$
Правило параллелограмма	 $\vec{F}_{\text{результ}} = \vec{F}_1 + (-\vec{F}_2) \text{ (разность)}$ $\vec{F}_{\text{результ}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \text{ (сумма)}$
Правило многоугольника	 $\vec{F}_{\text{результ}} = \sum_{i=1}^4 \vec{F}_i$
Примеры сил в механике	
Сила тяжести вблизи поверхности Земли	 <p>Ускорение свободного падения \vec{g}</p> $\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$
Сила натяжения k — коэффициент тяжести	 $\vec{F}_{\text{упр}} = -k\Delta x$ $\vec{F}_{\text{упр}} = -\vec{F}_{\text{тяж}}$ $\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$
Сила трения μ — коэффициент трения	 <p>Сила реакции опоры \vec{N}</p> $\vec{F}_{\text{тр}} = \mu \vec{N}$ $\vec{F}_{\text{тяж}}$

Основные силы в механике		
Сила тяжести	Сила упругости	Сила трения
Является проявлением сил гравитационного взаимодействия между двумя телами.	Является проявлением сил межмолекулярного взаимодействия между молекулами тела.	Является проявлением сил межмолекулярного взаимодействия между молекулами двух соприкасающихся тел.
Гравитационное взаимодействие является дальнодействующим , т. е. тело создаёт поле, а поле воздействует на другие тела.	Молекулы взаимодействуют между собой с помощью электромагнитного поля за счёт квантовых эффектов.	

1.2.4. Второй закон Ньютона

Ускорение тела пропорционально вызывающей его силе и обратно пропорционально массе тела.	$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_i}{m}$
--	--------------------------------------

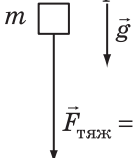
1.2.5. Третий закон Ньютона для материальных точек

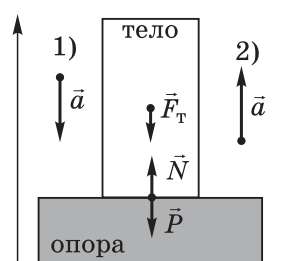
Два тела действуют друг на друга с силами, направленными вдоль одной прямой, равными по модулю и противоположными по направлению.	$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$
Границы применимости законов Ньютона: 1) только для материальных точек или поступательно движущихся тел; 2) только для тел, скорость движения которых много меньше скорости света в вакууме; 3) только относительно инерционных систем отсчёта.	

1.2.6. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести. Зависимость силы от высоты h над поверхностью планеты радиусом R_0

Закон всемирного тяготения (открыт Исааком Ньютоном в 1682 г.)	
<i>Между любыми телами возникает сила гравитационного притяжения, которая определяется массами этих тел.</i>	
Величина силы	Направление силы
Материальные точки притягиваются друг к другу с силой, величина которой прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.	Сила притяжения направлена по прямой, которая соединяет взаимодействующие точки.

$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2},$	где G — гравитационная постоянная, равная $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2.$
Приведённую формулу можно применять для вычисления сил притяжения между любыми сферически симметричными телами (например, шарами). В таких случаях R — расстояние между центрами тел.	
Закон всемирного тяготения был открыт Исааком Ньютоном в результате исследования сложного движения планет по небу. Объяснение такого движения подтвердило <i>гелиоцентрическую модель системы мира</i> , согласно которой планеты вращаются вокруг Солнца, и опровергло существующую в древнем мире и в средние века <i>геоцентрическую</i> модель, согласно которой Солнце и планеты вращаются вокруг Земли.	
Действие силы тяжести на тело сложной формы можно представить как действие этой силы на материальную точку, масса которой равна массе тела. Местонахождение такой точки называется центром тяжести тела. Центр тяжести тела в равновесии должен находиться строго под точкой подвеса или над точкой опоры тела.	

Гравитационное поле планеты Земля	
Вблизи поверхности 	Ускорение свободного падения $ma = F_{\text{притяж}} = G \frac{mM_3}{(R_3 + h)^2} = mg \Rightarrow g = \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}.$ Зависит от высоты h над поверхностью Земли.

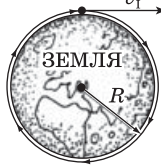
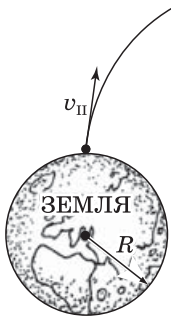
Вес тела. Невесомость. Свободное падение	
Вес тела — сила, с которой тело действует на подвес или опору.	
Вес тела \vec{P} приложен не к телу, а к опоре или подвесу.	
Вес тела не следует путать с его массой. Масса тела является скалярной величиной и измеряется в килограммах, а вес тела — векторная величина и измеряется в ньютонах. Поскольку <i>вес тела пропорционален ускорению свободного падения</i> , которое в силу приплюснутости Земли (у полюсов) различно на различных широтах, то вес тела зависит от географической широты и высоты местности (на полюсах вес будет несколько больше, чем на экваторе).	

Окончание таблицы

<p>Если тело находится на покоещейся опоре, то его вес равен силе тя- жести:</p> $\vec{P} = m\vec{g}.$	<p>Если опора движется вверх с ускорением (слу- чай 2), то вес тела увеличивается:</p> $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a}), P = m(g + a), \vec{P} > m\vec{g}.$ <p>Это — перегрузка. Перегрузку испытывают кос- монавты при старте ракет.</p>
<p>Если опора движет- ся вниз с ускорением (случай 1), то вес тела уменьшается:</p> $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a}),$ $P = m(g - a), \vec{P} < m\vec{g}.$	<p>Если тело совершает свободное падение, то оно не давит ни на какую поверхность, т. е. его вес равен нулю:</p> $\vec{P} = 0.$ <p>Это — невесомость. Невесомость испытывают кос- монавты на орбитальных станциях, вращающихся вокруг Земли.</p>

1.2.7. Движение небесных тел и их искусственных спутников.

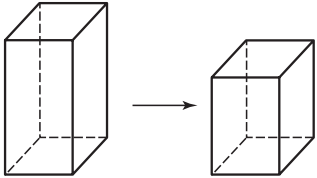
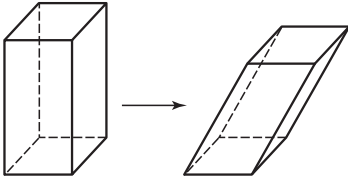
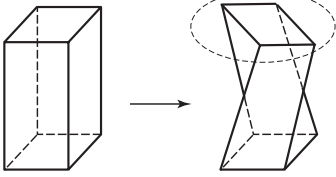
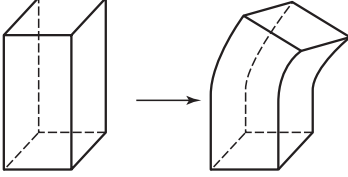
Первая космическая скорость

<p>Околоземные орбиты</p>  <p>Радиус орбиты равен радиусу Земли.</p>	<p>Первая космическая скорость:</p> $mg = \frac{mv_I^2}{R} \Rightarrow v_I = \sqrt{gR}.$
<p>Удаление от Земли</p>  <p>Тело покидает поле Земли.</p>	<p>Вторая космическая скорость:</p> $G \frac{mM}{R} \equiv mgR = \frac{mv_{II}^2}{2} \Rightarrow v_{II}^2 \equiv \sqrt{2gR}.$

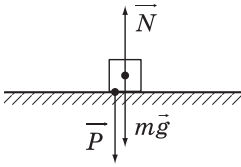
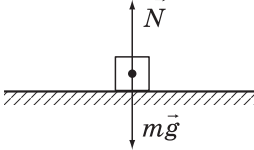
1.2.8. Сила упругости. Закон Гука

<p>Сила упругости — сила, действующая со стороны деформированного тела на тело, действие которого вызывает деформацию, и направленная в сторону, противоположную перемещению частей тела при его деформации.</p>
<p>При изучении деформаций тела нельзя рассматривать как материальные точки.</p>

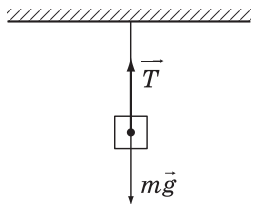
Деформация — изменение расположения частей тела относительно друг друга.	
Упругая деформация — это деформация, которая исчезает после прекращения действия силы.	Неупругая (пластическая) деформация — это деформация, которая не исчезает после прекращения действия силы.

Типы деформаций	
<p>Растяжение (сжатие)</p> 	<p>Сдвиг</p> 
<p>Кручение</p> 	<p>Изгиб</p> 

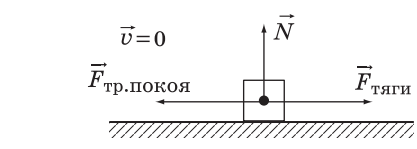
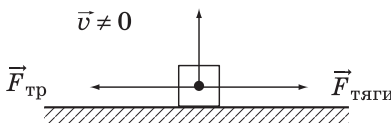
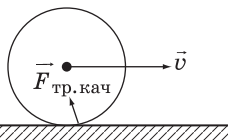
Закон Гука		
Величина силы	Направление силы	Выражение для силы
Сила упругости прямо пропорциональна удлинению тела Δl .	Сила упругости направлена противоположно направлению сжатия (растяжения).	$\vec{F} = -k\Delta \vec{l},$ где k — коэффициент жёсткости, $[k] = \text{Н/м}$, Δl — величина изменения длины тела.

Некоторые виды сил упругости	
\vec{P} — сила нормального давления (вес).	
\vec{N} — сила реакции опоры.	

Окончание таблицы

\vec{T} — сила натяжения.	
-----------------------------	--

1.2.9. Сила трения

Между соприкасающимися телами возникают силы трения. Эти силы мешают телам:		
1) начать движение относительно друг друга. Это — трение покоя . μ_0 — коэффициент трения покоя.	 <p>$\vec{v} = 0, \vec{F}_{\text{тр.покоя}} = \mu_0 N, \vec{F}_{\text{тр.покоя}} \updownarrow \vec{F}_{\text{тяги}}$</p>	$\mu_0 > \mu$
2) двигаться относительно друг друга. Это — трение скольжения . μ — коэффициент трения скольжения.	 <p>$\vec{v} \neq 0, \vec{v} \uparrow 0, F_{\text{тр}} = \mu N, \vec{F}_{\text{тр}} \updownarrow \vec{v}$</p>	$\mu < 1$
3) катиться друг по другу. Это — трение качения .	 <p>Шероховатости создают силу трения качения, момент которой мешает колесу катиться.</p>	
Силы трения возникают вследствие взаимодействия между шероховатостями поверхностей соприкасающихся тел. Если соприкасаются тела с очень гладкой поверхностью, то определяющий вклад во взаимодействие тел будут вносить взаимодействия между молекулами этих тел.		

1.2.10. Давление

Давление — величина, равная отношению модуля силы, действующей перпендикулярно к поверхности, к площади этой поверхности.	$p = \frac{F}{S}$
Единица измерения давления (Паскаль).	$[p] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}$

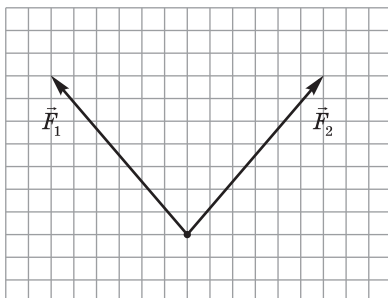
ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 1.2. ДИНАМИКА

Ответами к заданиям 1–8 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** Деревянный брусок лежит неподвижно на наклонной плоскости, не соскальзывая вниз. Какая сила удерживает его от соскальзывания — *сила тяжести, сила трения* или *сила упругости*? Ответ запишите словами.

Ответ: _____.

- 2** К телу в одной его точке приложены две силы, изображённые на рисунке. Укажите направление движения тела — *вправо, влево, вверх, вниз*?



Ответ: _____.

- 3** Тело массой 80 кг лежит на горизонтальной поверхности. С какой силой оно давит на эту поверхность?

Ответ: _____ Н.

- 4** Тело, движущееся в поле тяжести Земли, находится в состоянии невесомости. Выберите *два* верных утверждения, касающиеся ускорения a и веса тела P в этом состоянии.

- 1) $a < g$ 2) $P = 0$ 3) $a = g$ 4) $P = mg$

Ответ: ☐ ☐

- 5** Пружину жёсткостью 0,1 Н/м растянули на 5 см. Определите силу упругости, возникшую в пружине.

Ответ: _____ мН.

- 6** Сила давления F_1 , приложенная к площади S_1 , оказывает на неё давление p_1 . Сила F_2 , приложенная к площади S_2 , давление P_2 . Чему равно отношение S_1/S_2 , если $F_1/F_2 = 4$, а $p_2/p_1 = 8$?

Ответ: _____.

7

Установите соответствие между названием закона, принципа и его математическим выражением. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

А) закон всемирного тяготения

Б) принцип относительности Галилея

$$1) \vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}t, t = t'$$

$$2) p = mv$$

$$3) F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$4) \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Ответ:

А	Б

8

Тело движется вниз по наклонной плоскости с углом наклона α с постоянной скоростью. Чему равен коэффициент трения скольжения μ ?

Ответ: _____ .

Ответами к заданиям 9–11 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

9

К телу массой 5 кг приложена сила 2 Н. С каким ускорением движется тело?

Ответ: _____ м/с².

10

Ускорение свободного падения на Юпитере в 2,55 раза больше, чем на Земле, а масса Юпитера в 318 раз больше массы Земли. Определите радиус Юпитера в км. Радиус Земли 6400 км.

Ответ: _____ км.

11

Тело выпустили из рук на высоте 10 м от Земли. С какой скоростью тело упало на Землю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: _____ м/с.

1.3. СТАТИКА

Статика — раздел механики, в котором изучаются условия равновесия тел, находящихся под действием внешних сил.

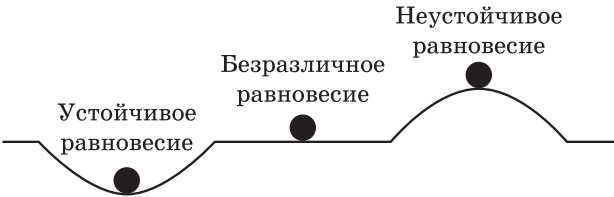
1.3.1. Момент силы относительно оси вращения

Момент силы — величина, характеризующая действие силы на тело, которое может поворачиваться вокруг заданной оси.	
По величине момент силы равен произведению величины силы F на плечо этой силы L : $M = F \cdot L.$	<div>Момент силы $M = F \cdot L.$ Точка приложения</div> <div>Ось вращения</div> <div>Сила</div> <div>Плечо силы</div>
Единица измерения момента: $[M] = \text{Н} \cdot \text{м}.$	
Плечо силы L — расстояние от линии действия силы до оси вращения. Момент силы, стремящийся вызвать вращение тела по часовой стрелке, принято считать <i>положительным</i> , против часовой стрелки — <i>отрицательным</i> .	

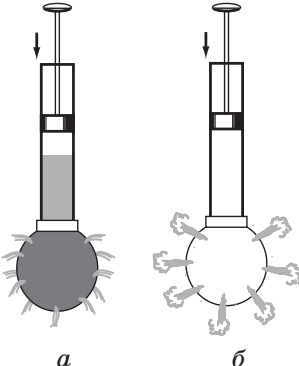
1.3.2. Условия равновесия твёрдого тела в ИСО

Тело остаётся в состоянии равновесия относительно инерционной системы отсчёта, если векторная сумма всех приложенных сил равна нулю: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = 0.$		
Тело не поворачивается относительно заданной оси, если сумма всех приложенных к телу моментов сил равна нулю: $\sum_n \vec{M}_n = 0.$		
Виды равновесия		
Устойчивое	Безразличное	Неустойчивое
При отклонении тела от положения равновесия возникает сила, которая возвращает тело в положение равновесия.	При отклонении от положения равновесия не возникает сил, действующих на тело.	При отклонении тела от положения равновесия возникает сила, которая отклоняет тело от положения равновесия.
В состоянии устойчивого равновесия энергия минимальна.	Вблизи состояния безразличного равновесия энергия постоянна.	В состоянии неустойчивого равновесия энергия максимальна.

Окончание таблицы

Примеры равновесия в поле тяжести Земли	
 <p>Устойчивое равновесие Безразличное равновесие Неустойчивое равновесие</p>	

1.3.3. Закон Паскаля

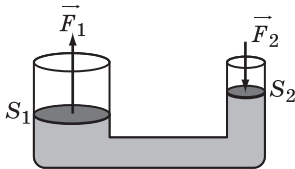
<p>Закон Паскаля, основной закон гидростатики, гласит: <i>давление на поверхность жидкости, произведённое внешними силами, передаётся жидкостью одинаково во всех направлениях.</i></p> <p>Он справедлив и для газов.</p>	 <p style="text-align: center;">а б</p>
---	--

1.3.4. Давление в жидкости, покоящейся в ИСО

Формула гидростатического давления	Давление на заданной глубине в поле тяжести
<p>Вычислим давление вблизи основания столба жидкости высотой h и площадью основания S. Оно равно отношению силы тяжести к площади основания:</p> $p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh.$ <p>Это и есть <i>формула гидростатического давления.</i></p>	<p>По формуле гидростатического давления можно рассчитывать давление жидкости, налитой в сосуд любой формы, в том числе давление на стенки сосуда, а также давление в любой точке жидкости, направленное снизу вверх. С учётом атмосферного давления p_0 формула для давления покоящейся в ИСО жидкости на глубине h запишется следующим образом:</p> $p = p_0 + \rho gh.$

Сообщающиеся сосуды
<p>В сообщающихся сосудах уровень жидкости одинаков независимо от формы и размера сосуда. Предполагается, что внешнее давление для всех сосудов одинаково и жидкость однородная.</p>

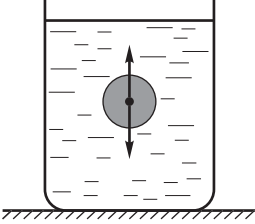
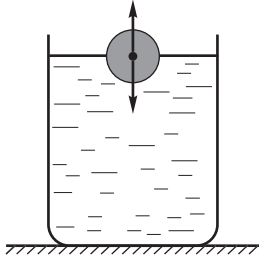
В сообщающихся сосудах высота столба жидкости с большей плотностью будет меньше высоты столба жидкости с меньшей плотностью.	$p_1 = p_2 \Rightarrow \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$
<p style="text-align: center;">Гидравлические машины</p> <p>В соответствии с законом Паскаля давление во всех точках жидкости одинаково. Поэтому, если площади сечения в сообщающихся сосудах различны, то силы, действующие в этих сосудах, будут разными:</p> $p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}.$ <p>На этом основан принцип действия гидравлических машин.</p>	
Гидравлическая машина даёт выигрыш в силе, но проигрыш в перемещении.	
<p>Уравнение Бернулли описывает связь скорости течения жидкости с давлением и высотой:</p> $p + \rho g h + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const},$ <p>где p — давление, ρ — плотность жидкости, v — скорость течения жидкости, h — высота.</p>	<p>Физический смысл уравнения Бернулли: в тех частях потока, где скорость движения больше, давление меньше, а там, где скорость меньше — давление больше.</p>



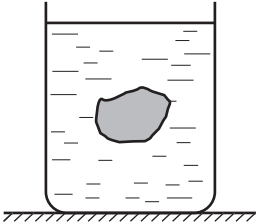
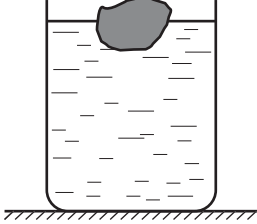
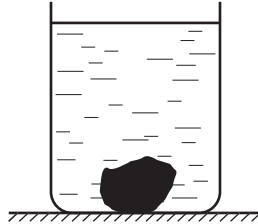
1.3.5. Закон Архимеда. Условия плавания тел

<p style="text-align: center;">Закон Архимеда</p> <p><i>На тело, погружённое в жидкость (газ), действует выталкивающая сила, равная весу жидкости (газа), вытесненной телом:</i></p> $F_A = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{т}},$ <p>где $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, $V_{\text{т}}$ — объём части тела, погружённой в жидкость.</p>	
<p>Физическая причина появления силы Архимеда</p> <p>В поле тяжести Земли давление в нижней части тела больше, чем давление около его верхней части. В результате этого снизу на тело со стороны жидкости действует большая сила, чем сверху. Поэтому суммарная сила, действующая со стороны жидкости на погружённое в неё тело, направлена вверх, т. е. против силы тяжести. Отсюда, например, следует, что на тело, лежащее под водой на дне, не действует сила Архимеда, т. е. для того, чтобы на тело действовала выталкивающая сила, необходимо, чтобы тело со всех сторон было окружено жидкостью.</p>	

Окончание таблицы

<p>Тело полностью находится под водой. Объем погружённой части тела равен объёму тела:</p> $\overline{F_A} = \rho \vec{g} V_T.$	<p>Тело не полностью находится под водой. Объем погружённой части тела меньше объёма тела:</p> $\overline{F_A} = \rho \vec{g} V_{\text{погружён}}.$
	

Условия плавания тел

<p>Тело плавает в жидкости:</p> $\rho = \rho_{\text{ж}}$ 	<p>Тело всплывает:</p> $\rho > \rho_{\text{ж}}$ 	<p>Тело тонет:</p> $\rho < \rho_{\text{ж}}$ 
---	--	---

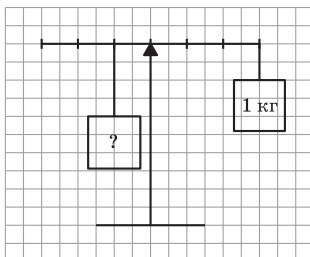
Атмосферное давление

<p>Атмосферное давление обусловлено весом всего столба воздуха от поверхности Земли до границы атмосферы. Нормальное атмосферное давление равно:</p> $p_A = 101 \text{ кПа} = 10^5 \text{ Па}.$	<p>Воздухоплавание. Подъёмная сила 1 м^3 — разность между весом 1 м^3 воздуха и весом 1 м^3 газа в воздушном шаре. Подъёмная сила воздушного шара равна:</p> $F_{\text{под}} = F_A - p_{\text{ш}},$ <p>где F_A — сила Архимеда, $p_{\text{ш}}$ — вес шара.</p>
<p>Прибор для измерения атмосферного давления — барометр (жидкостный — трубка Торричелли; металлический — барометр-анероид).</p>	

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 1.3. СТАТИКА

Ответами к заданиям 1–7 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** Какова масса груза, который уравновесит рычаг, изображённый на рисунке?

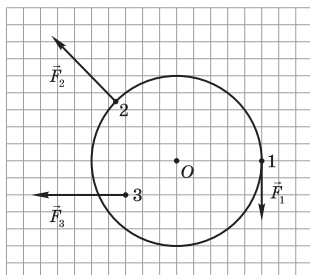


Ответ: _____ кг.

- 2** К рулю автомобиля приложена пара сил, суммарный момент которых равен $3 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Радиус штурвала равен 20 см . Какая сила действует на каждую из рук водителя?

Ответ: _____ Н.

- 3** К диску, способному свободно вращаться вокруг неподвижной оси O , приложены силы, изображенные на рисунке стрелками. Как поведёт себя диск под действием этих сил: будет вращаться *по часовой стрелке*, *против часовой стрелки*, *останется неподвижным*? Ответ запишите словами.



Ответ: _____ .

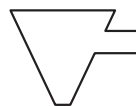
- 4** На рисунке изображены три сосуда разной формы, но одинаковой высоты, полностью заполненные водой.



А



В

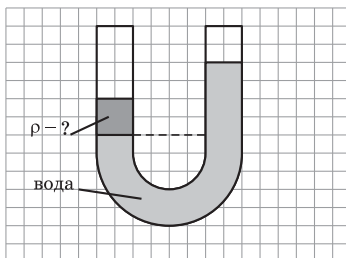


С

Как различается давление вода на дно сосудов: *одинаково*, *различно*? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

- 5** Определите плотность жидкости, налитой поверх воды в одном из колен сообщающихся сосудов, изображённых на рисунке. Плотность воды 1 кг/см^3



Ответ: _____ г/см^3 .

- 6** Тело плавает в жидкости. Выберите *два* правильных утверждения, касающихся этой ситуации:

- 1) Масса тела m меньше массы вытесненной им жидкости $m_{\text{ж}}$.
- 2) Плотность тела $\rho_{\text{т}}$ больше плотности жидкости $\rho_{\text{ж}}$.
- 3) Плотность тела $\rho_{\text{т}}$ меньше плотности жидкости $\rho_{\text{ж}}$.
- 4) Сила Архимеда $F_{\text{А}}$ больше веса тела.
- 5) Между объёмом тела V , объёмом вытесненной телом жидкости $V_{\text{ж}}$, $\rho_{\text{т}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ справедливо соотношение: $\rho_{\text{т}}V = \rho_{\text{ж}}V_{\text{ж}}$.

Ответ: ☐ ☐

- 7** Как меняется атмосферное давление с увеличением высоты местности: *повышается, понижается, не изменяется*? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

Ответами к заданиям 8–12 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

- 8** Рассчитайте величину гидростатического давления в озере Байкал на глубине ~ 1600 м. Плотность воды 10^3 кг/м^3 .

Ответ: _____ атм.

- 9** В жидкость с плотностью $1,4 \text{ г/см}^3$ погружён шар радиусом 5 см. Рассчитайте силу Архимеда, действующую на шар.

Ответ: _____ Н.

- 10** Какую силу F_1 нужно приложить к первому поршню гидравлического пресса, чтобы сжать деталь вторым поршнем с силой $F_2 = 100$ Н. Отношение площадей поршней $S_1 / S_2 = 1/5$?

Ответ: _____ Н.

- 11** Какую силу надо приложить к пробке объёмом 5 см^3 и плотностью $0,24 \text{ г/см}^3$, чтобы полностью погрузить её в воду? Плотность воды 1 г/см^3 .

Ответ: _____ Н.

- 12** Подъёмная сила аэростата $F_{\text{А}} = 1000$ Н, объём его гондолы $V = 100 \text{ м}^3$. Вес оболочки 50 Н. Найти плотность газа, наполняющего гондолу?

Ответ: _____ кг/м^3 .

1.4. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

1.4.1. Импульс материальной точки

Импульс тела — вектор, направленный вдоль скорости тела и по величине равный произведению массы тела на величину его скорости.			$\vec{p} = m \vec{v}$	Единица измерения импульса: $[p] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \text{Н} \cdot \text{с}.$
II закон Ньютона (в импульсной форме)				
Сила определяет изменение импульса тела в единицу времени: $m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \sum \vec{F}.$	Импульс силы (произведение силы на время её действия): $\Delta \vec{p} = \sum \vec{F} \cdot \Delta t.$	Если внешняя сила равна нулю, то импульс тела не изменяется: $\Delta \vec{p} = 0.$		

1.4.2. Импульс системы тел

Импульсом (количеством движения) механической системы называется вектор, равный сумме импульсов всех материальных точек этой системы:

$$\vec{P}_{\text{сист}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots$$

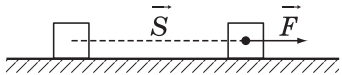
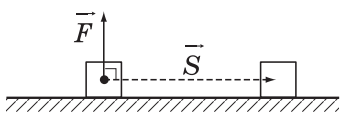
1.4.3. Закон изменения и сохранения импульса

Закон сохранения импульса в механике: <i>полный импульс системы тел, на которую не действуют внешние силы, сохраняется.</i>	
$\Delta \vec{p}_{\text{сист}} = \vec{F} \Delta t,$ <p>где \vec{F} — сумма всех внешних сил, действующих на тело. Полученный результат означает, что импульс системы могут изменить только внешние силы, причём изменение импульса системы направлено так же, как суммарная внешняя сила. В этом суть закона изменения импульса механической системы.</p>	
Реактивное движение	
Сохранение импульса позволило освоить принцип движения без опоры на землю, воду или воздух. Это — реактивное движение . С его помощью стало возможным освоение космоса. $\vec{p}_{\text{сист}} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \text{const}.$	

1.4.4. Работа силы

Если сила, действующая на тело, привела к перемещению тела, то говорят, что эта сила совершила работу .
--

Окончание таблицы

<p>Величина работы определяется как произведение силы, перемещения тела и косинуса угла между ними:</p> $A = F \cdot S \cdot \cos \alpha.$	<p>Единица измерения работы (Джоуль):</p> $[A] = \text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м}$
<p>Если сила направлена в сторону перемещения, то работа положительна:</p> $A = \vec{F} \cdot \vec{S} = \vec{F} \cdot \vec{S} > 0.$	
<p>Если сила перпендикулярна к перемещению, то работа равна нулю:</p> $A = \vec{F} \cdot \vec{S} = \vec{F} \cdot \vec{S} \cdot \cos \alpha = 0.$	
<p>Если сила направлена противоположно перемещению, то работа отрицательна:</p> $A = \vec{F} \cdot \vec{S} = \vec{F} \cdot \vec{S} \cdot \cos \alpha < 0.$	

Работа по ускорению тела

Если мы действуем на свободное тело массой m с постоянной силой F , то это тело движется с ускорением $a = \frac{F}{m}$. Тогда, если тело под действием силы прошло расстояние S , сила совершила работу

$$A = FS = F \cdot \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = m \cdot \frac{v^2 - v_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}.$$

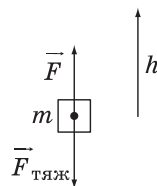
Здесь v_0 — начальная, а v — конечная скорости.

Работа против действия сил тяжести, трения, упругости

Работа против действия силы тяжести

Если мы поднимаем тело на высоту h и прикладываем к нему силу, равную по величине силе тяжести этого тела, $F = mg$, то мы совершаем работу, равную:

$$A = Fh = mgh.$$



$$|\vec{F}| = |\vec{F}_{\text{тяж}}| = mg$$

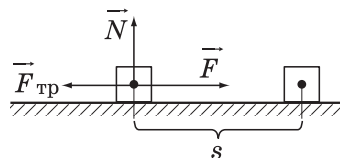
Работа против действия силы трения

Если мы сдвинули на расстояние S тело, прикладывая к нему силу, равную по величине действующей на тело силе трения:

$$F = F_{\text{тр}} = \mu N,$$

то мы совершили работу, равную

$$A = FS = F_{\text{тр}} S = \mu NS.$$



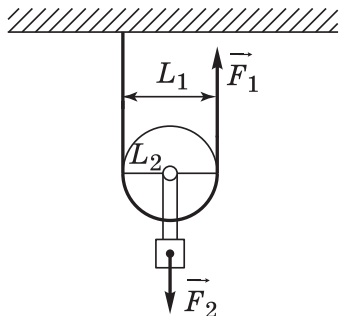
<p><i>Работа против действия силы упругости</i></p> <p>Если при растягивании пружины на величину x мы прикладываем силу, равную по величине силе упругости: $F = -kx$, то мы совершили работу, равную $A = -\frac{kx^2}{2}$.</p> <p>Следует заметить, что здесь сила зависит от перемещения!</p>	
--	--

1.4.5. Мощность силы

<p>Мощность — величина, равная отношению совершённой работы к промежутку времени, за который она совершена:</p> $N = \frac{A}{t}.$ <p>Единица измерения — Ватт:</p> $[N] = \frac{Дж}{с} = Вт$	<p>Коэффициент полезного действия (КПД) — отношение полезной работы ко всей затраченной работе:</p> $КПД = \frac{A_{пол}}{A_{затр}}.$ <p>КПД всегда меньше единицы: $\eta < 1$.</p>
<p>Простые механизмы — приспособления, служащие для преобразования силы</p>	
<p>Рычаг — жёсткий стержень, имеющий ось вращения.</p> <p>Условие равновесия рычага:</p> $F_1 L_1 = F_2 L_2,$ <p>где плечо силы L — расстояние от оси вращения до линии действия силы.</p>	
<p>Произведение FL называется моментом силы M.</p>	

<p>Блоки</p>	
<p>Неподвижный блок изменяет направление действия силы и является рычагом с равными плечами:</p> $M_1 = M_2 \text{ и } L_1 = L_2 \Rightarrow F_1 = F_2.$ <p>При этом нет выигрыша в силе.</p>	

Окончание таблицы

<p>Подвижный блок не изменяет направления действия силы и является рычагом с соотношением $L_1 = 2L_2$. Следовательно, такой блок даёт выигрыш в силе:</p> $F_1 = \frac{F_2}{2},$ <p>но при этом получаем проигрыш в перемещении!</p>	
<p>Золотое правило механики <i>Простые механизмы не дают выигрыша в работе: во сколько раз выигрышем в силе, во столько же раз проигрываем в расстоянии.</i></p>	

1.4.6. Кинетическая энергия. Закон изменения кинетической энергии

<p>Энергия — это величина, определяющая работу, которую может совершить тело.</p>	<p>Когда при перемещении над телом совершается работа, энергия тела изменяется на величину этой работы.</p>
$A = E - E_0$ <p>Единица измерения энергии — Джоуль: $[E] = \text{Дж}$.</p>	
<p>Механическая энергия тела представляет собой сумму кинетической и потенциальной энергий.</p>	
<p>Кинетическая энергия тела представляет собой энергию движения.</p>	$E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$
<p>Теорема об изменении кинетической энергии: изменение кинетической энергии тела за некоторый промежуток времени равно работе, совершаемой за это время силой, действующей на тело:</p> $A = \Delta E_{\text{кин}}.$	

1.4.7. Потенциальная энергия

<p>Потенциальная энергия тела представляет собой энергию тела в поле внешних сил.</p>	
$E_{\text{пот}} = mgh$ — потенциальная энергия в поле силы тяжести, $E_{\text{пот}} = \frac{kx^2}{2}$ — потенциальная энергия упруго деформированного тела.	

1.4.8. Закон изменения и сохранения механической энергии

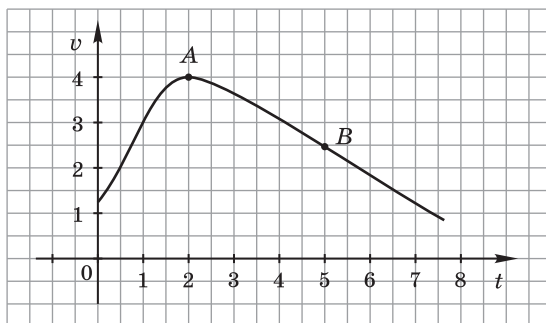
<p><i>Полная энергия замкнутой системы тел сохраняется:</i></p> $E = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}} = \text{const}$	
<p>Сохраняется полная энергия тела во внешнем поле <i>потенциальных</i> сил. Например, в поле силы тяжести:</p> $E = \frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const}.$	<p>При наличии <i>непотенциальных</i> сил, например силы трения, энергия тела не сохраняется и её изменение равно работе силы трения:</p> $\Delta E = A_{\text{тр}}.$

Столкновение тел. Упругий и неупругий удары	
<p>Законы сохранения импульса и механической энергии применяются для решения задачи о движении тел после столкновения: по известным импульсам и энергиям до столкновения определяются значения этих величин после столкновения. Рассмотрим случаи упругого и неупругого ударов.</p>	
<p>Абсолютно неупругим называется удар, после которого тела образуют единое тело, движущееся с определённой скоростью. Задача о скорости последнего решается с помощью закона сохранения импульса системы тел с массами m_1 и m_2 (если речь идёт о двух телах) до и после удара:</p> $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}.$	
<p>Очевидно, что кинетическая энергия тел при неупругом ударе не сохраняется (например, при $\vec{v}_1 = -\vec{v}_2$ и $m_1 = m_2$ она становится равной нулю после удара).</p>	
<p>Абсолютно упругим называется удар, при котором сохраняется не только сумма импульсов, но и сумма кинетических энергий ударяющихся тел.</p>	
<p>Для абсолютно упругого удара справедливы уравнения</p>	
$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$	$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 (v'_1)^2}{2} + \frac{m_2 (v'_2)^2}{2}$
<p>где m_1, m_2 — массы шаров, \vec{v}_1, \vec{v}_2 — скорости шаров до удара, \vec{v}'_1, \vec{v}'_2 — скорости шаров после удара.</p>	

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 1.4. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

Ответами к заданиям 1–10 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** По графику зависимости скорости тела от времени, изображённому на рисунке, определите во сколько раз импульс тела в точке A больше импульса в точке B .

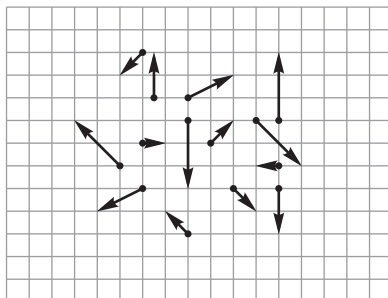


Ответ: _____ .

- 2** Теннисный мячик абсолютно упруго соударяется со стенкой, двигаясь перпендикулярно ей. Импульс мячика до соударения составлял $10 \text{ Н} \cdot \text{с}$. Чему равен импульс, переданный стенке в момент удара?

Ответ: _____ Н.

- 3** На рисунке стрелками обозначены импульсы частиц, составляющих замкнутую систему.



Определите суммарный импульс системы. Шаг сетки $1 \text{ Н} / \text{с}$.

Ответ: _____ $\text{Н} \cdot \text{с}$.

- 4** Тело первый раз подняли на высоту 1 м вертикально вверх. Второй раз его тащили по наклонной плоскости длиной 2 м и подняли на такую же высоту. В каком случае работа больше: *в первом случае, во втором случае, одинакова?*

Силой трения пренебречь. Ответ запишите словами.

Ответ: _____ .

- 5** Тело массой 5 кг подняли на высоту 10 м . Чему равна сила тяжести?

Ответ: _____ Дж.

- 6** В результате удара хоккеиста клюшкой по шайбе её скорость удвоилась. Как изменились кинетическая энергия и импульс шайбы? Для каждой из этих величин определите характер её изменения:

- 1) увеличилась в два раза 3) не изменилась
2) уменьшилась в 4 раза 4) увеличилась в 4 раза

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ	ИМПУЛЬС ШАЙБЫ

- 7** Тело массой 1 кг, двигаясь со скоростью 5 м/с, сталкивается с неподвижным телом массой 0,5 кг. Считая удар абсолютно неупругим, определите скорости тел.

Ответ: _____ м/с.

- 8** Тело приводят в движение кратковременным ($t = 0,2$ с) толчком с силой 10 Н. Какой импульс приобрело тело?

Ответ: _____ Н·с.

- 9** Тело массой 70 кг переместили по горизонтальной поверхности на расстояние 5 км. Какова работа сил трения, если коэффициент трения скольжения равен 0,1?

Ответ: _____ кДж.

- 10** К телу приложена некоторая сила $\vec{F} \neq 0$, работа которой равна нулю. Исходя из определения работы, выберите два соотношения между возможным перемещением $\Delta \vec{r}$ и силой \vec{F} , каждое из которых правильно объясняет эту ситуацию.

- 1) $\Delta \vec{r} \parallel \vec{F}$ 2) $\Delta \vec{r} \uparrow \downarrow \vec{F}$ 3) $\Delta \vec{r} \perp \vec{F}$ 4) $\Delta \vec{r} = 0$

Ответ: ☐ ☐

Запишите полное решение задачи.

- 11** Два шарика массой 50 г и 100 г двигались навстречу друг другу по одной прямой со скоростями 0,5 м/с и 1 м/с соответственно. Определите скорости шаров после упругого центрального удара.

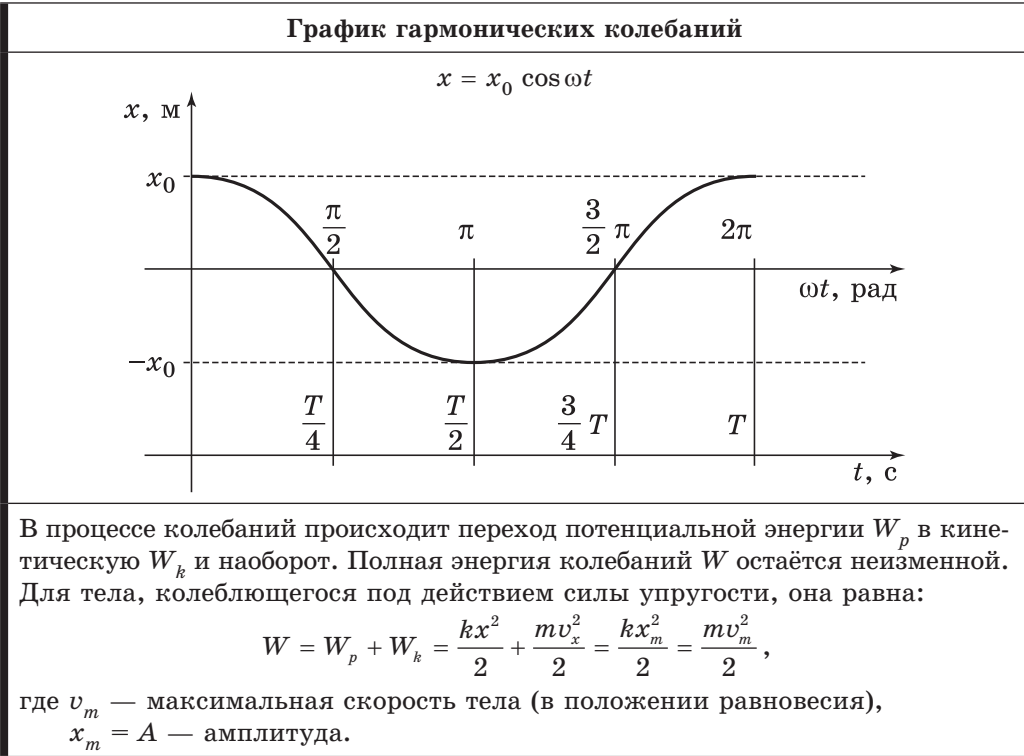
Ответ: _____ .

1.5. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

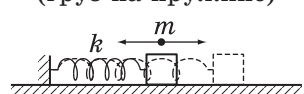
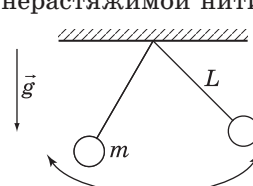
Колебания — повторяющиеся движения тел вблизи точки устойчивого равновесия.	Механические колебания — колебания механических величин (скорости, координаты, ускорения и т. д.).
Амплитуда колебаний — модуль максимального отклонения тел от положения равновесия.	
Незатухающие колебания — колебания с постоянной амплитудой.	Затухающие колебания — колебания с уменьшающейся амплитудой.
Свободные колебания — колебания, существующие благодаря внутренним силам.	Вынужденные колебания — колебания, возникающие под действием внешних периодически изменяющихся сил.
Внутренние силы — силы, действующие между телами внутри рассматриваемой системы тел.	Внешние силы — силы, действующие на систему тел со стороны не входящих в эту систему тел.
Характеристики колебаний	
Частота колебаний ν — количество колебаний в единицу времени. Единица измерения — Герц: $[\nu] = \text{Гц} = 1/\text{с}$	Период колебаний T — время одного колебания. Связь периода и частоты: $T = \frac{1}{\nu}.$
Циклическая частота ω — количество колебаний, совершаемых за время 2π секунд: $\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T.$	

1.5.1. Гармонические колебания

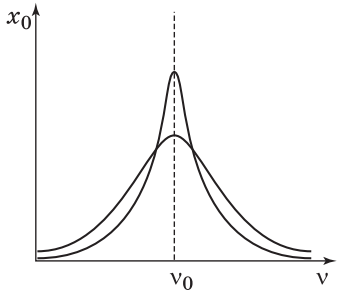
Гармонические колебания — колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса или косинуса.		
Уравнение гармонических колебаний (пример)		
Координата $x = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$	Скорость $v = v_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$	Ускорение $a = a_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$
Здесь x_0 — амплитуда колебаний координаты, $v_0 = \omega x_0$ — амплитуда скорости и $a_0 = -\omega^2 x_0$ — амплитуда ускорения, $\omega t + \varphi_0$ — фаза колебаний, φ_0 — начальная фаза колебаний.		





1.5.2. Период и частота колебаний

Примеры механических колебаний	
<p>Пружинный маятник (груз на пружине)</p> 	<p>Математический маятник (материальная точка, подвешенная на длинной невесомой нерастяжимой нити)</p> 
<p>Колебания происходят под действием силы упругости</p> $F = -kx,$ <p>где k — жёсткость пружины. Период колебаний равен:</p> $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$	<p>Колебания происходят под действием силы тяжести</p> $F = mg.$ <p>Период колебаний равен:</p> $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}},$ <p>где L — длина маятника.</p>

1.5.3. Вынужденные колебания. Резонанс. Резонансная кривая

<p>Колебания, совершаемые телом под действием внешней периодически изменяющейся силы, называются вынужденными колебаниями. Внешняя периодически изменяющаяся сила называется <i>вынуждающей силой</i>.</p>	
<p>Примерами вынужденных колебаний являются тряска автомобиля, движущегося по неровной дороге, вибрации кормовой части судна, связанные с работой гребного винта, движение качелей, которые кто-то периодически подталкивает.</p>	
<p>Резонанс — резкое увеличение амплитуды колебаний при совпадении частоты ν внешней вынуждающей силы и частоты ν_0 свободных колебаний системы.</p> <p>На рисунке представлен график зависимости амплитуды вынужденных колебаний от частоты вынуждающей силы.</p>	 <p>Разные графики соответствуют разной величине силы трения.</p>
<p>Автоколебания. В большинстве колеблющихся систем существует трение, поэтому колебания со временем затухают. Если же система содержит в себе дополнительный источник энергии, которая постепенно передаётся колебаниям, то колебания будут поддерживаться до тех пор, пока не закончится запас энергии. Такие системы называются автоколебательными. Простейший пример автоколебательной системы — это часы с пружинным заводом или с маятником. В часах с пружиной потенциальная энергия накапливается в пружине, когда мы их заводим. В часах с маятником потенциальная энергия накапливается в гире, когда мы поднимаем её в верхнее положение.</p>	

1.5.4. Механические волны

<p>Волна — процесс распространения колебаний в пространстве.</p>	<p>Механические волны — это распространение колебаний в упругих средах.</p>
<p>Направление колебаний и направление движения волны</p>	
<p>Продольные волны — частицы среды колеблются в направлении распространения волны.</p>	<p>Поперечные волны — частицы среды колеблются в плоскостях, перпендикулярных к направлению распространения волны.</p>
 <p>Волна сжатия</p>	 <p>Волна сдвига</p>

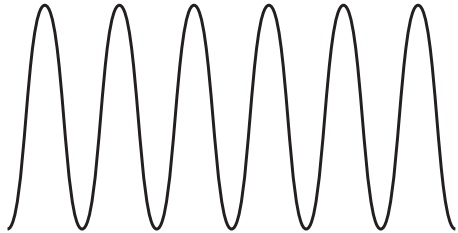
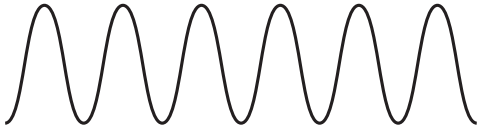
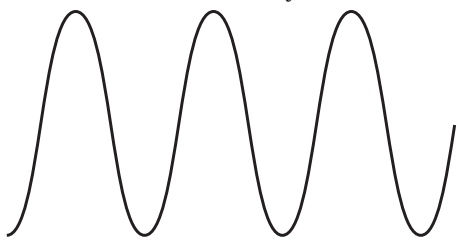
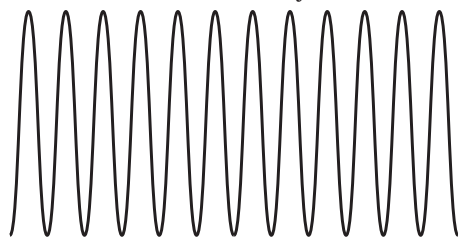
Окончание таблицы

Волновой фронт (волновая поверхность) — поверхность, на которой все точки колеблются в одинаковой фазе.	
Сферические волны — волны, у которых волновые поверхности имеют форму концентрических сфер, распространяющихся в однородной среде от точечного источника. Амплитуда уменьшается по мере удаления от источника.	Плоские волны — волны, у которых волновые поверхности имеют форму параллельных плоскостей.
Характеристики волн	
Длина волны λ — расстояние между ближайшими точками, колеблющимися в фазе.	Период колебаний T — время одного колебания. Частота колебаний ν — количество колебаний в единицу времени.
Скорость волны — скорость распространения колебаний в пространстве: $v = \frac{\lambda}{T} = \nu \lambda .$	Частота волны определяется частотой колебаний источника, а скорость волны — свойствами среды.
Принцип суперпозиций: волны от нескольких источников распространяются независимо друг от друга.	
Интерференция волн — наложение двух или нескольких когерентных волн, при котором происходит увеличение или уменьшение амплитуды результирующей волны.	Дифракция волн — отклонение направления распространения волн от прямолинейного у границы препятствия.

1.5.5. Звук. Скорость звука

Акустика — раздел физики, занимающийся изучением звуковых явлений.	Звуковые (акустические) волны — распространение механических колебаний в упругих средах.
Частотные диапазоны звука	
Диапазон слышимости уха человека: $20 \text{ Гц} < \nu < 20\,000 \text{ Гц}$.	
Инfrasound: $\nu < 20 \text{ Гц}$ Инfrasound излучается медленно колеблющимися системами: работающими станками, транспортом, подземными взрывами, в том числе землетрясениями.	Ультразвук: $\nu > 20\,000 \text{ Гц}$ Животные используют для эхолокации, в медицине применяется для ультразвуковой диагностики.

Окончание таблицы

Скорость звука в некоторых материалах	
В воздухе: при $T = 20^\circ\text{C}$ $v = 343$ м/с, при $T = 0^\circ\text{C}$ $v = 331$ м/с.	В металлах $v = 5850$ м/с. В воде $v = 1435$ м/с.
Громкость звука определяется амплитудой	
Громкий звук 	Тихий звук 
Громкость звука определяется также частотой колебаний, потому что ухо не одинаково воспринимает звуки разной частоты (амплитудно-частотная характеристика уха).	
Высота звука определяется частотой колебаний	
Низкий звук 	Высокий звук 

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 1.5. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Ответами к заданиям 1–8 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

1

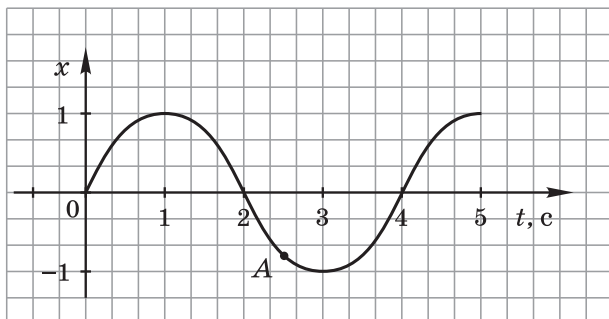
Амплитуда, частота и начальная фаза колебаний математического маятника равны 5 м, 10 с^{-1} и 0 соответственно. Выберите *два* верных утверждения на основании этих данных.

- 1) Уравнение колебаний маятника имеет вид: $x = 5 \sin 20\pi$.
- 2) Круговая частота колебаний $\omega = 30\text{ с}^{-1}$.
- 3) Колебания гармонические.
- 4) Колебания затухающие.
- 5) Уравнение колебания этого маятника имеет вид: $x = 2 \sin 10t$.

Ответ:

2

Внимательно рассмотрите рисунок и выберите *два* верных утверждения, следующих из рисунка, о величинах фазы φ_A колебания в точке A и его периода T .



- 1) $\varphi_A = 0,8\pi$ 3) $\varphi_A = \pi$ 5) $\varphi_A = 0,8\pi$ 7) $\varphi_A = 1,25\pi$
 2) $T = 4$ с 4) $T = 2$ с 6) $T = 2$ с

Ответ:

3

Длину нити математического маятника увеличили. Как нужно изменить массу груза, чтобы уменьшить частоту колебаний маятника: *увеличить, уменьшить, невозможно выполнить задачу?* Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____.

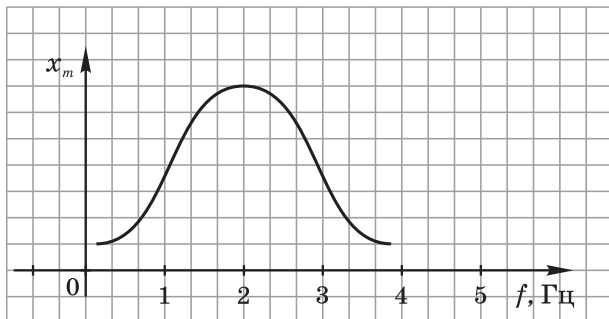
4

Массу груза пружинного маятника увеличили вдвое. Как надо изменить жёсткость пружины, чтобы собственная частота его колебаний не изменилась: *уменьшить вдвое, увеличить вдвое, оставить неизменной?* Ответ запишите словами.

Ответ: _____.

5

На рисунке представлена резонансная кривая вынужденных колебаний некоторой системы. Какова собственная частота колебаний этой системы?



Ответ: _____ Гц.

6

Длина звуковой волны $\lambda = 0,7$ м, её скорость $v = 350$ м/с. Определите период звуковых колебаний T .

Ответ: _____ мс.

7

Установите соответствие между описанием характеристик и параметров колебательного процесса (левый столбец) и их названием (правый столбец). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА

НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА,
ПРОЦЕССА

- А) максимальное отклонение колеблющейся величины от положения равновесия
Б) колебания, описываемые функцией синуса или косинуса

- 1) смещение
2) гармонические колебания
3) амплитуда
4) частота
5) фаза
6) период

Ответ:

А	Б

8

В упругой среде распространяются две когерентные волны с $\lambda = 5$ м. Разность расстояний от источников этих волн до некоторой точки составляет 1 м. Будет ли в этой точке наблюдаться максимум интерференции этих волн: *да, нет*? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

Ответами к заданиям 9–10 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

9

Определите смещение точки, совершающей гармонические колебания с частотой 10 Гц, амплитудой 1 см в момент времени $t = 100$ с от начала колебания.

Ответ: _____ см.

10

Какова длина звуковой волны, создаваемой человеческим голосом с частотой колебаний 200 Гц в воде?

Ответ: _____ м.



2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА

2.1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Физика описывает строение вещества на основе **молекулярно-кинетической теории (МКТ)**.

Молекулярно-кинетическая теория — теория, согласно которой все тела состоят из отдельных частиц — молекул и атомов, т. е. не являются сплошными.

Атом — мельчайшая частица вещества (химического элемента), не делящаяся при химических реакциях. Атомы могут объединяться в *молекулы*. Атомы можно рассматривать как одноатомные молекулы.

Молекула — мельчайшая устойчивая частица вещества, состоящая из атомов одного или нескольких химических элементов и сохраняющая основные химические свойства этого вещества.

Основные положения молекулярно-кинетической теории

1. Все тела состоят из атомов и молекул.
2. Атомы и молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении.
3. Атомы и молекулы взаимодействуют между собой: отталкиваются на малых расстояниях и притягиваются на больших (по сравнению с размерами молекул).

Единицы измерения физических величин в молекулярной физике

Относительная молекулярная масса m_r определяется следующим образом:

$$m_r = \frac{m_0}{\frac{m_{\text{OC}}}{12}},$$

где m_0 — масса атома вещества, а m_{OC} — масса атома углерода.

Относительная молекулярная масса измеряется в атомных единицах массы (а.е.м.). Строго атомная единица массы определяется как двенадцатая часть массы атома углерода:

$$1 \text{ а.е.м.} = \frac{m_{\text{OC}}}{12} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Физические причины кратности масс атомов и молекул объясняются в разделе «Квантовые явления».

Количество вещества — отношение числа молекул в данном теле к числу атомов в 12 г углерода. Измеряется количество вещества в молях.

$$\nu = \frac{N}{N_A},$$
$$[\nu] = \text{моль.}$$

Моль — количество вещества, содержащего столько же молекул, сколько атомов содержится в углероде массой 12 г.

Окончание таблицы

Число Авогадро — число молекул или атомов в 1 моле вещества.	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.
Молярная масса — масса вещества, которое взято в количестве 1 моль.	$M = m_0 \cdot N_A$, [M] = кг/моль.
Связь между относительной молекулярной массой и молярной массой.	$M = m_r \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.
Основная особенность моля: если взять одинаковое количество совершенно <i>разных</i> газов и поместить их в <i>одинаковые</i> условия, то они займут <i>равные</i> объёмы! Например, при нормальных условиях 1 моль любого газа занимает объём, равный 22,4 л.	

Плотность вещества

Для математического описания веществ в физике используют **плотность** ρ — массу единицы объёма вещества:

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

$$[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

В молекулярно-кинетической теории плотность вещества можно выразить через количество молекул и их массу:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_0 \cdot N}{V} = m_0 \cdot \frac{N}{V}.$$

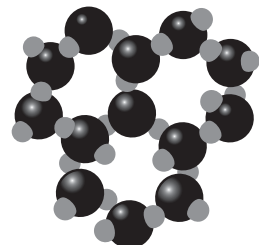
В приведённую формулу входит отношение $\frac{N}{V}$, которое равно количеству молекул в единице объёма. Эта величина обычно обозначается n и носит название **концентрации**:

$$n = \frac{N}{V}, [n] = \frac{1}{\text{м}^3}.$$

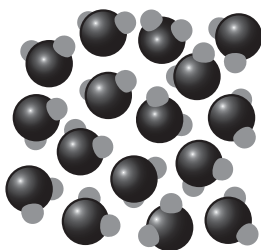
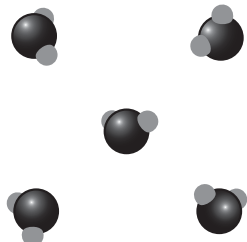
2.1.1. Модели строения газов, жидкостей и твёрдых тел

Молекулярно-кинетическая теория строения вещества позволяет описать твёрдые тела, жидкости и газы.

В **твёрдых телах (кристаллах)** атомы или молекулы расположены упорядоченно и образуют периодически повторяющуюся структуру (кристаллическую решётку). Хаотическое движение молекул сводится в твердых телах к колебаниям молекул около состояния равновесия. Твёрдые тела **сохраняют свою форму и объём**.



Окончание таблицы

<p>В жидкостях молекулы расположены в беспорядке, но при этом молекулы, находящиеся на границе жидкости, притягиваются другими молекулами. Поэтому жидкость сохраняет свой объём. Форму жидкость не сохраняет и приобретает форму сосуда, в который она налита. В невесомости жидкость приобретает форму шара. Ближайшие молекулы в жидкостях расположены почти так же упорядоченно, как и в кристаллах. Однако на больших расстояниях упорядочение исчезает.</p>	
<p>В газах молекулы расположены хаотически (как и в жидкостях), но при этом отдельно взятая молекула, оказавшаяся на границе газа, не притягивается остальными молекулами и покидает газ. Поэтому газ стремится занять весь объём сосуда, в котором он находится.</p>	

2.1.2. Тепловое движение атомов и молекул вещества

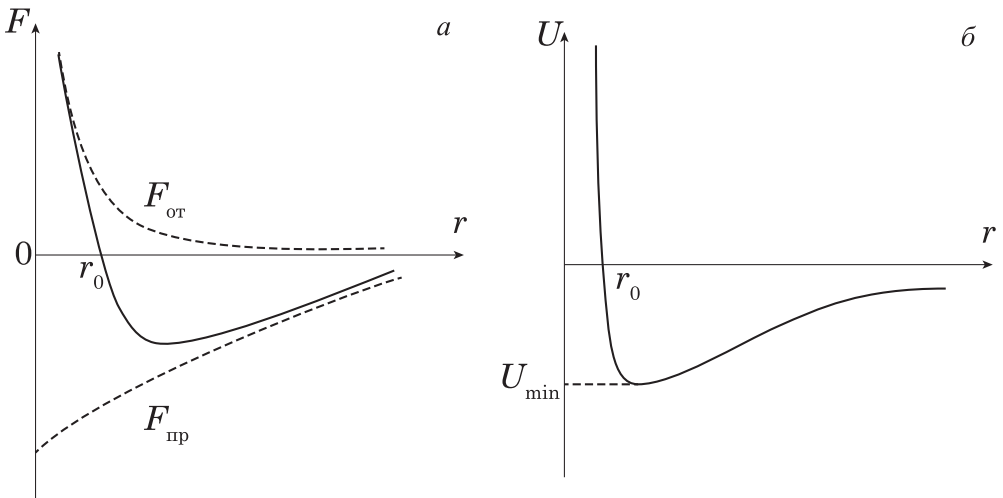
<p>В соответствии с молекулярно-кинетической теорией, молекулы и атомы, из которых состоит вещество, совершают <i>безостановочное хаотическое движение</i>. Скорость в таком движении определяется тем, насколько тело нагрето. Поэтому такое движение называется <i>тепловым движением</i>.</p>	
<p>Хаотическое, или беспорядочное, движение — это движение, в котором нельзя предугадать величину скорости и направление движения в любой момент времени. Нехаотическое движение, в отличие от хаотического, можно описывать с помощью формул — например, скорость равномерно ускоренной точки можно найти с помощью формулы $v = v_0 + at$.</p>	<p>Атомы и молекулы, находясь в постоянном движении, обладают определённой кинетической энергией. Эта энергия связана с так называемой <i>тепловой энергией</i>, запасённой в теле. Кроме того, они постоянно взаимодействуют между собой, т. е. обладают также потенциальной энергией, которую называют <i>энергией межмолекулярного взаимодействия</i>.</p>

2.1.3. Взаимодействие частиц вещества

<p>Молекулы взаимодействуют друг с другом, и природа этого взаимодействия — электрическая. Молекула состоит из заряженных частиц — электронов и ядер. Заряженные частицы одной молекулы при соответствующих расстояниях взаимодействуют (притягиваются или отталкиваются) с заряженными частицами других молекул.</p>

Окончание таблицы

На расстояниях, превышающих 2–3 диаметра молекул, результирующая сила взаимодействия определяется силами притяжения. Вклад последних по мере уменьшения расстояния между молекулами сначала растёт, затем убывает. Силы взаимодействия обращаются в нуль, когда расстояние между молекулами становится равным сумме радиусов молекул. Дальнейшее уменьшение расстояния приводит к перекрыванию электронных оболочек, что вызывает быстрое нарастание сил отталкивания.



2.1.4. Диффузия. Броуновское движение

Обоснования молекулярно-кинетической теории	
<p>Диффузия — явление, при котором происходит взаимное проникновение молекул одного вещества между молекулами другого.</p>	<p>Если, стоя в углу комнаты, открыть флакон с духами, то через некоторое время запах будет ощущаться во всей комнате. Подобное явление можно наблюдать при заваривании чая: если его не перемешивать, то вода будет постепенно окрашиваться. Это явление называется <i>диффузией</i>.</p>
<p>Броуновское движение — хаотическое движение посторонней частички в жидкости (или газе), вызванное частыми соударениями молекул жидкости с этой частичкой.</p>	<p>Если в жидкость (или газ) поместить маленькие твёрдые частички, то под действием постоянных столкновений с молекулами жидкости эти частицы начнут хаотически двигаться. При этом скорости их будут много меньше скоростей молекул жидкости. Такое движение называется <i>броуновским движением</i>.</p>

Диффузия и броуновское движение могут быть объяснены только на основе представления о молекулярном строении веществ и являются одними из обоснований молекулярно-кинетической теории.

Закон Авогадро: в равных объёмах при одинаковой температуре и давлении все газы содержат одинаковое число молекул.

Давление газа на стенки сосуда объясняется ударами молекул газа о стенки.

2.1.5. Модель идеального газа в МКТ

Для приближенного рассмотрения газов используется специальная модель, которая позволяет описывать поведение газов с помощью простых формул (уравнений идеального газа).

Идеальный газ — модель, согласно которой:

1. Размеры молекул газа пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием между ними.
2. Между молекулами отсутствуют силы взаимодействия.
3. Столкновения молекул газа между собой и со стенками сосуда абсолютно упругие.

Другое определение идеального газа: идеальный газ — газ, который описывается уравнением идеального газа (уравнением Менделеева — Клапейрона).

2.1.6. Основное уравнение МКТ

Газы, которые находятся в сосуде, оказывают на стенки этого сосуда определённое давление. **Молекулярно-кинетическая теория** объясняет это давление как результат упругих столкновений молекул газа со стенками сосуда. Молекула соударяется со стенкой и, следовательно, передаёт ей некоторый импульс, т. е. действует на стенку с некоторой силой. Если сложить силы действия молекул на стенки, то получим **силу давления** газа на стенки.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории:

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \overline{E_k},$$

где m_0 — масса одной молекулы.

Давление идеального газа равно двум третям кинетической энергии поступательного движения молекул, содержащихся в единице объёма.

2.1.7. Абсолютная температура

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E} = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \overline{E} \rightarrow \frac{pV}{N} = \frac{2}{3} \overline{E},$$

где $\theta = \frac{pV}{N}$ — естественная мера температуры, т.к. является однозначной характеристикой теплового состояния тела, измеряется в [Дж]

Окончание таблицы

$$\theta = kT \Rightarrow \frac{pV}{N} = kT,$$

где T — абсолютная температура, измеряется в кельвинах (К).

Связь между $t^{\circ}\text{C}$ и $T\text{K}$:

$$T(\text{K}) = t^{\circ}\text{C} + 273,15.$$

$T(\text{K}) = 0$ — абсолютный нуль температуры, при котором прекращается хаотическое движение молекул.

2.1.8. Температура как мера кинетической энергии

В молекулярно-кинетической теории температура характеризует величину средней энергии хаотического движения молекул — молекулы более тёплого тела движутся быстрее.

Средняя кинетическая энергия пропорциональна температуре:

$$\left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle = \frac{3}{2} kT.$$

Коэффициент k — **постоянная Больцмана**, равная

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

Постоянная Больцмана связывает температуру θ в энергетических единицах с температурой T в кельвинах.

Если тело состоит из N молекул, то их полная кинетическая энергия равна:

$$E_{\text{кин}} = N \left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle = \frac{3}{2} NkT.$$

2.1.9. Уравнение $p = nkT$

Зависимость давления газа от абсолютной температуры T и концентрации его молекул:

$$p = nkT,$$

где k — постоянная Больцмана.

Из формулы очевидно, что при одинаковых давлениях и температурах концентрация молекул у всех газов одинакова. Отсюда следует известный **закон Авогадро**: *в равных объёмах газов при одинаковых температурах и давлениях содержится одинаковое число молекул.*

Средняя скорость теплового движения молекул может быть также выражена через абсолютную температуру.

$$\frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2} kT \rightarrow \overline{v^2} = 3 \frac{kT}{m_0}$$

Квадратный корень из этой величины называется *средней квадратичной скоростью*.

$$\overline{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

2.1.10. Уравнение состояния идеального газа

Из уравнения $p = nkT$ можно получить уравнение состояния идеального газа. Достаточно умножить его на объём V газа и учесть, что полное число молекул равно $N = nV$:

$$pV = nVkT = NkT.$$

Полное число молекул можно также выразить через количество вещества $\nu = \frac{m}{M}$ (в молях) и число молекул в одном моле N_A :

$$N = N_A \nu = N_A \cdot \frac{m}{M}.$$

Отсюда получаем: $pV = \frac{m}{M} N_A kT$.

Исследования свойств газов показывают, что большинство газов можно описывать с помощью уравнения состояния идеального газа:

$$pV = \frac{m}{M} RT.$$

Это уравнение называется **уравнением Менделеева — Клапейрона**.

Величина R — это **универсальная газовая постоянная**, значение которой не зависит от природы вещества:

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}.$$

Уравнение Менделеева — Клапейрона и основное уравнение молекулярно-кинетической теории позволяют связать постоянную Больцмана с универсальной газовой постоянной:

$$R = N_A k$$

и тем самым связать термодинамику и молекулярно-кинетическую теорию.

2.1.11. Закон Дальтона для давления смеси разреженных газов

Закон Дальтона для смеси идеальных газов гласит: *давление смеси газов равно сумме парциальных давлений её компонент*.

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$$

Парциальным давлением какого-либо газа — компонента газовой смеси называется давление, которое оказывал бы этот газ, если бы он один занимал весь объём, занимаемый смесью.

То, что каждая группа молекул оказывает давление, не зависящее от давления, оказываемого другими группами, обусловлено отсутствием взаимодействия между молекулами. Последнее реально выполняется только для газов при невысоких давлениях, которые приближаются к идеальному газу.

Закон кратных отношений Дальтона: *при образовании любых химических соединений массы участвующих в реакции веществ находятся в строго определённых соотношениях.*

2.1.12. Изопроцессы в газах

Простейшее уравнение термодинамики — уравнение Менделеева — Клапейрона — описывает термодинамические свойства идеального газа. Рассмотрим с помощью этого уравнения простейшие термодинамические процессы — *изопроцессы*.

Изопроцессы — процессы, происходящие при постоянном значении одного из параметров состояния (T , p , V) при фиксированной массе газа. Если количество вещества не изменяется ($\frac{m}{M} = \text{const}$), то

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R = \text{const}.$$

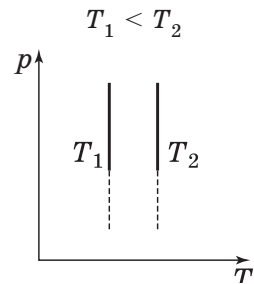
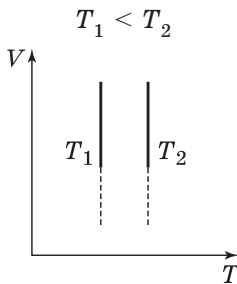
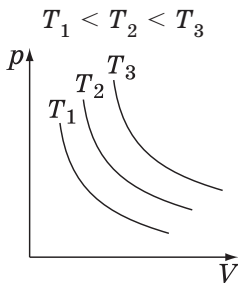
Следовательно, в различных термодинамических состояниях отношение $\frac{pV}{T}$ будет одинаковым: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.

Полученное уравнение — **уравнение Клапейрона**.

Изотермический процесс — процесс, который происходит при постоянной температуре:

$$pV = \text{const} \text{ — закон Бойля — Мариотта.}$$

Изотерма — график зависимостей термодинамических величин при постоянной температуре.



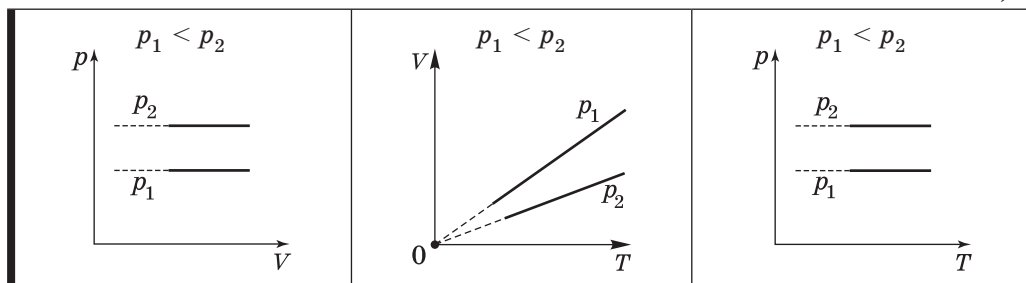
Внимание! Поскольку абсолютный нуль температуры недостижим, графики тепловых процессов не должны доходить до значения $T = 0$ К. Поэтому вблизи значений $T = 0$, $V = 0$ и $p = 0$ эти графики изображаются пунктирной линией.

Изобарический процесс — процесс, который происходит при постоянном давлении:

$$\frac{V}{T} = \text{const} \text{ — закон Гей-Люссака.}$$

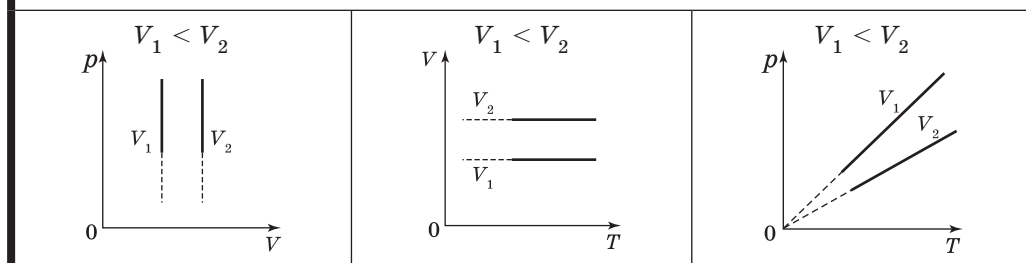
Изобара — график зависимостей термодинамических величин при постоянном давлении.

Окончание таблицы



Изохорический процесс — процесс, который происходит при постоянном объёме: $\frac{p}{T} = \text{const}$ — **закон Шарля**.

Изохора — график зависимостей термодинамических величин при постоянном объёме.



2.1.13. Насыщенные и ненасыщенные пары

Газ, жидкость и твёрдое тело — это различные состояния вещества. При определённых условиях тела могут переходить из одного состояния в другое. Переход газа в жидкость называется *конденсацией*, а обратный переход жидкости в газ — *испарением*. Для испарения жидкости ей необходимо передать некоторое количество тепла.

Переход молекул из жидкости в газ и обратно происходит не только при температуре кипения. Фактически обмен молекулами между жидкостью и газом происходит при любых температурах. Это связано с тем, что при температурах ниже температуры кипения жидкость и газ могут находиться в *динамическом равновесии* друг с другом.

Динамическое равновесие — состояние, при котором число молекул, покидающих жидкость (**парообразование**) в единицу времени, равно числу молекул, возвращающихся в жидкость (**конденсация**) за то же время.

Насыщенный пар — пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью. Давление $p_{\text{нас}}$ насыщенного пара зависит только от температуры.

Точка росы — температура, при которой водяной пар становится насыщенным.

Ненасыщенный пар — пар, находящийся при давлении ниже давления насыщенного пара:

$$p < p_{\text{нас}}.$$

Окончание таблицы

Для каждого вещества существует **критическая температура** $T_{\text{кр}}$, при которой исчезают различия между жидкостью и её насыщенным паром.

2.1.14. Влажность воздуха. Относительная влажность

Парциальное давление — давление, которое создавал бы водяной пар, если бы не было других газов.

Относительная влажность воздуха — отношение парциального давления пара к давлению насыщенного пара при данной температуре:

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

2.1.15. Изменение агрегатных состояний вещества. Кипение жидкости

Кипение — процесс парообразования (испарения) внутри объёма жидкости. Обычно испарение жидкости происходит с её внешней поверхности. Однако при некоторых условиях испарение начинается и внутри жидкости. В этом случае образуются пузырьки пара, которые быстро растут за счёт дальнейшего испарения. Это приводит к быстрому всплыванию пузырьков. Образование, рост и всплывание пузырьков сопровождаются характерным шумом, по которому можно определить и начало, и эффективность процесса кипения.

В процессе *кипения температура жидкости не изменяется*. Всё подводимое тепло уходит на парообразование. Сама же температура кипения зависит от внешнего давления — чем меньше внешнее давление, тем ниже температура кипения. Так, например, высоко в горах, где атмосферное давление низкое, температура кипения ниже 100°C , поэтому возникают проблемы с приготовлением пищи.

2.1.16. Изменение агрегатных состояний вещества: плавление и кристаллизация

Переход жидкости в твёрдое тело называется **кристаллизацией**, а обратный переход твёрдого тела в жидкость — **плавлением**. Для плавления твёрдому телу необходимо передать некоторое количество тепла.

В кристаллических твёрдых телах температура плавления точно известна: при $T = T_{\text{пл}}$ твёрдое тело становится жидкостью. Температура в процессе плавления не изменяется, а всё подводимое тепло тратится на плавление тела.

В аморфных телах не существует определённой температуры плавления. В процессе нагрева аморфное тело становится всё больше похожим на жидкость.

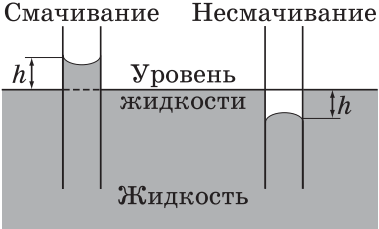
Сублимация. При определённых условиях твёрдое тело может начать испаряться, т. е. тело из твёрдого состояния переходит в газообразное, минуя жидкое. Особенно красиво выглядит процесс сублимации, который можно наблюдать ранней весной при ярком солнце, когда сугробы снега «исчезают», испаряясь в воздух и не образуя привычных весенних ручейков.

2.1.17. Преобразование энергии в фазовых переходах

<p>Рассмотренные изменения агрегатных состояний вещества относятся к фазовым превращениям. Фазой называется любое вещество, которое может быть удалено из системы соприкасающихся веществ чисто механическим способом, например вода и лёд. Если фазовый переход проходит при определённой температуре (температуре фазового перехода) и сопровождается выделением или поглощением тепла, он называется фазовым переходом первого рода, например кипение жидкости или плавление кристалла. Что происходит с внутренней энергией в процессе фазового перехода первого рода? Напомним, что внутреннюю энергию тела составляют кинетическая энергия всех его молекул и потенциальная энергия их взаимодействия.</p>	<p>При фазовых переходах первого рода происходят скачкообразные изменения величины и состава внутренней энергии вещества:</p> <ul style="list-style-type: none">• внутренняя энергия вещества в твёрдой фазе для температуры, при которой могут существовать одновременно и другие фазы, имеет наименьшее значение, а в газообразной фазе — наибольшее;• в то же время в твёрдой фазе средняя потенциальная энергия взаимодействия (по абсолютной величине) во много раз больше средней кинетической энергии, в жидкости они сравнимы по величине, но средняя потенциальная энергия (по абсолютной величине) по-прежнему остаётся больше средней кинетической энергии молекул, а в газе абсолютное значение средней потенциальной энергии взаимодействия молекул во много раз меньше средней кинетической энергии молекул.
---	---

<p>Некоторые свойства жидкостей и твёрдых тел</p>
<p>Поверхностное натяжение жидкостей. Смачивание поверхностей</p>
<p>Сила поверхностного натяжения $F_{\text{нат}}$ — сила, действующая вдоль поверхности перпендикулярно к линии, ограничивающей эту поверхность, и стремящаяся сократить её до минимума. Благодаря этой силе капля жидкости в невесомости приобретает форму шара — тела с минимальной площадью поверхности при заданном объёме. У разных жидкостей поверхностное натяжение различно и определяется межмолекулярным взаимодействием.</p>
<p>Коэффициент поверхностного натяжения:</p> $\sigma = \frac{F_{\text{нат}}}{l}, \quad [\sigma] = \frac{\text{Н}}{\text{м}},$ <p>где $F_{\text{нат}}$ — сила поверхностного натяжения, l — длина границы.</p>

Окончание таблицы

Взаимодействие молекул жидкости со стенками сосуда, в котором находится жидкость, приводит к явлению смачивания .	
Если молекулы жидкости притягиваются к молекулам, из которых состоит стенка, то жидкость пытается растечься по всей поверхности стенки. В этом случае говорят, что жидкость смачивает стенку.	Если молекулы жидкости отталкиваются от стенки, то говорят, что жидкость не смачивает стенку.
В качестве примера на рисунке приведены два сосуда, опущенных одним концом в воду. Внутренняя поверхность этих сосудов по-разному смачивается жидкостью. В первом жидкость смачивает стенку сосуда, а во втором — не смачивает.	<p>Смачивание Несмачивание</p> 
Мы видим, что сила смачивания приводит к подъёму жидкости в сосуде над уровнем жидкости. Такое явление называется <i>капиллярным</i> явлением. Благодаря этому свойству вода может подниматься из почвы и питать растения.	
<p>Капилляр — трубка с малым внутренним диаметром. Высота поднятия жидкости в капилляре равна:</p> $h = \frac{2\sigma}{\rho g R},$ <p>где σ — коэффициент поверхностного натяжения, ρ — плотность жидкости, R — радиус капиллярной трубки, g — ускорение свободного падения.</p>	

Тепловое расширение

<p>Тепловое расширение твёрдых тел. Почти все тела при нагреве расширяются, а при охлаждении сжимаются. Для описания этого явления используют коэффициенты линейного и объёмного расширения тела. Эти коэффициенты показывают, во сколько раз изменяется длина или объём тела при нагреве его на один градус.</p>	
<p>Коэффициент линейного расширения α связывает изменение <i>длины</i> с изменением температуры:</p> $\frac{L}{L_0} = \alpha (T - T_0).$	<p>Коэффициент объёмного расширения β связывает изменение <i>объёма</i> с изменением температуры:</p> $\frac{V}{V_0} = \beta (T - T_0).$
<p>Индексом «0» в этих формулах отмечены значения физических величин до нагрева.</p>	

Внимание! Не все тела расширяются при нагреве. Одно из самых важных для существования жизни на Земле веществ — **ВОДА** — при температуре ниже 4 °С расширяется *при охлаждении*. По этой причине плотность льда *меньше* плотности воды в реке. Заметим, что, если бы лёд был тяжелее воды, то зимой он бы тонул в реках, и реки промерзали бы до самого дна. Меньшая плотность льда позволяет ему находиться на поверхности воды, поэтому зимой жизнь в реках не прекращается.

Механические свойства твёрдых тел

Механическое напряжение — физическая величина, равная отношению модуля силы упругости к площади

поперечного сечения: $\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S}$.

Единица измерения:

$$[\sigma] = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$$

Относительное изменение длины тела при деформации

Мера деформации — относительное

удлинение: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$.

Сжатие и растяжение твёрдого тела

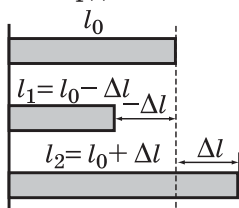
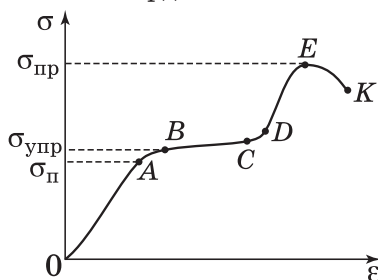


Диаграмма растяжения твёрдого тела



На приведённой диаграмме:

OA — упругие деформации (закон Гука выполняется); *AB* — упругие деформации (закон Гука не выполняется); *BC* — пластические деформации; *CD* — область текучести; *EK* — разрушение тела.

При малых деформациях напряжение σ прямо пропорционально относительному удлинению:

$\sigma = E|\varepsilon|$, где E — модуль Юнга.

$\sigma_{\text{п}}$ — максимальное напряжение, при котором ещё выполняется закон Гука.

$\sigma_{\text{упр}}$ — предел упругости, т. е. максимальное значение напряжения, при котором не возникают остаточные деформации.

$\sigma_{\text{пр}}$ — предел прочности, т. е. механическое напряжение, при котором тело начинает разрушаться.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 2.1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Ответами к заданиям 1–9 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** Под количеством вещества понимают: *массу вещества, количество частиц его составляющих (молекул, атомов), количество молей, количество всех атомов*. Ответ запишите словами.

Ответ: _____ .

- 2** Во сколько раз масса и объём изделия из свинца больше массы и объёма аналогичного изделия из олова, при условии, что в них содержится равное количество вещества? К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ЗНАЧЕНИЕ

А) отношение масс изделий
свинец / олово

1) 1,5

2) 1,1

Б) отношение объёмов изделий
свинец / олово

3) 3

4) 1,7

5) 1,9

Ответ:

А	Б

- 3** В сосуд с чистой водой осторожно налили каплю чёрной туши. Через некоторое время содержимое сосуда приобрело равномерный серый цвет. Это произошло благодаря: *притяжению частиц туши к Земле, диффузии, перемещению более тёплых слоёв жидкости вверх*. Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____ .

- 4** Как изменится давление газа, если концентрация его молекул увеличится в 3 раза, а средняя скорость — уменьшится в 3 раза: *увеличится, уменьшится, не изменится*? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____ .

- 5** Чему равна температура по шкале Кельвина, если по шкале Цельсия она равна 300 °C? Ответ округлите до целых.

Ответ: _____ К.

- 6** Какова средняя кинетическая энергия молекул идеального газа при 300 °C?

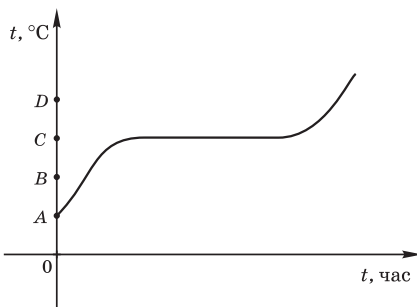
Ответ: _____ Дж.

- 7** Как изменится: *увеличится, уменьшится, не изменится* температура идеального газа заданной массы, если его объём уменьшить вдвое, а давление увеличить вдвое? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____ .

8

На рисунке изображена зависимость температуры от времени некоторого вещества, в начальный момент времени находящегося в твёрдом состоянии. Количество подводимого тепла в единицу времени постоянно. Выберите *два* верных утверждения, основанных на анализе зависимости, показанной на рисунке.



- 1) В интервале температур AB вещество находится в жидком состоянии.
- 2) При температуре D вещество находится в газообразном состоянии.
- 3) Представленный на рисунке график описывает процесс плавления — фазовый переход первого рода.
- 4) Точка C соответствует температуре плавления.
- 5) Представленный на рисунке график описывает фазовый переход второго рода.

Ответ: ☐ ☐

9

Установите соответствие между некоторыми свойствами вещества и его агрегатным состоянием. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ

- А) расстояние между молекулами намного больше размеров самих молекул
- Б) вещество принимает форму сосуда, в который его помещают

- 1) жидкость
- 2) газ
- 3) твёрдое тело
- 4) плазма
- 5) аморфное тело

Ответ:

А	Б
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ответами к заданиям 10–11 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

10

В сосуде содержится 10^{25} молекул воды. Какова масса воды?

Ответ: _____ кг.

11

Определите давление двух молей идеального газа, занимающего объём 2 л при температуре 10 К.

Ответ: _____ кПа.

2.2. ТЕРМОДИНАМИКА

Термодинамика — теория тепловых явлений, в которой не учитывается атомно-молекулярное строение тел.

В основе термодинамики, в отличие от молекулярно-кинетической теории, лежит описание системы с помощью так называемых *макроскопических* параметров: температуры T , давления p , объёма V , концентрации смесей и т. п. Термодинамика изучает процессы, происходящие в так называемых *термодинамических системах*.

Термодинамическая система — совокупность макроскопических тел, которые могут взаимодействовать между собой и с другими телами (внешней средой), обмениваться с ними энергией и веществом. Термодинамическая система состоит из большого числа атомов (молекул).

Термодинамическое равновесие — состояние, в котором не происходит никаких изменений термодинамических параметров: температуры, давления, плотности и т. д.

Термодинамический процесс — любое изменение, происходящее в термодинамической системе.

Главное содержание термодинамики состоит в двух её началах (законах) — первом и втором; первое распространяет закон сохранения энергии на тепловые явления, второе же указывает направление возможных энергетических превращений в природе.

Термодинамика не учитывает молекулярное строение вещества при изучении тепловых свойств макроскопических тел и в этом смысле является макроскопической теорией.

2.2.1. Тепловое равновесие и температура

Из повседневного опыта известно, что тела бывают горячими и холодными, т. е. *по-разному нагретыми*. Для количественного описания такого различия, а именно для описания степени нагретости тела, в физике введено понятие **температуры**. Причём более горячему телу принято приписывать большую величину температуры, а более холодному — меньшую.

При соприкосновении по-разному нагретых тел более холодное начинает нагреваться, а более горячее — охлаждаться. Такой процесс называется **теплопередачей** (обменом тепла). В этом процессе температуры тел (или частей одного тела) становятся одинаковыми.

В конце концов, наступает момент, когда все соприкасающиеся тела (или все части одного тела) имеют одинаковую температуру. Такое состояние называется **тепловым равновесием**. В этом состоянии уже не происходит изменения температуры.

$T_{\text{гор}} > T_{\text{хол}} \Rightarrow T_1 \neq T_2$	
<p>Термодинамическое (тепловое) равновесие — это состояние, в котором не происходит никаких изменений термодинамических параметров — температуры, давления, плотности и т. д.</p>	<p>Температура — это мера средней кинетической энергии молекул (атомов) изолированной системы в условиях её термодинамического равновесия.</p>
<p align="center">Измерение температуры</p>	
<p>Для измерения температуры используются различные <i>шкалы температур</i>.</p>	
<p>Шкала Цельсия. В качестве нуля температурной шкалы (0°C) выбрана точка плавления льда, а точке кипения воды приписано значение 100°C. В качестве единицы измерения — градус Цельсия — принята $\frac{1}{100}$ часть интервала между этими точками.</p>	
<p>Шкала Кельвина (абсолютная шкала температур). В качестве нуля принят так называемый <i>абсолютный</i> нуль температуры, т. е. температура, ниже которой невозможно ничего охладить. Единица измерения — градус Кельвина, который выбран равным градусу Цельсия.</p>	<p>Поскольку точка таяния льда имеет температуру $273,15\text{ K}$, связь между шкалой Цельсия и шкалой Кельвина следующая:</p> $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15.$
<p>Шкала Фаренгейта. Связь между этой шкалой, используемой в Северной Америке, и шкалой Цельсия задаётся следующей формулой:</p>	$T(F) = 32 + \frac{5}{9} T(^{\circ}\text{C})$
<p><i>Абсолютный</i> нуль температуры невозможно достичь, как недостижимы и отрицательные температуры. Это утверждение представляет собой так называемое третье начало (или закон) термодинамики.</p>	

Окончание таблицы

Температуру измеряют с помощью <i>термометров</i> . Чаще всего применяются термометры следующих видов: 1) <i>жидкостные</i> , в которых используется явление расширения тел при нагревании; 2) <i>биметаллические</i> , использующие деформацию биметаллической пластинки при нагреве; 3) <i>термометры сопротивления</i> , использующие увеличение (уменьшение) электрического сопротивления при нагреве; 4) <i>термоэлектрические</i> термометры состоят из двух разнородных проводников со спаянными концами. При нагреве одного из них возникает разность потенциалов.
--

2.2.2. Внутренняя энергия

<p>Внутренняя энергия тела. Если учесть потенциальную энергию $E_{\text{пот}}$ взаимодействия молекул между собой, то полная энергия молекул тела будет равна $U = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}}$. Эта величина называется <i>внутренней</i> энергией тела. В <i>идеальном газе</i> потенциальная энергия взаимодействия молекул равна нулю, поэтому внутренняя энергия газа равна кинетической энергии молекул:</p> $U = E_{\text{кин}} = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} pV.$ <p>Внутреннюю энергию газа ΔU можно изменить, если совершить над газом работу A — например, сжать его: $\Delta U_{\text{раб}} = A$.</p>
--

2.2.3. Теплопередача как способ изменения внутренней энергии без совершения работы. Конвекция, теплопроводность, излучение

<p>Теплообмен — это самопроизвольный (т. е. совершаемый без принуждения) процесс передачи теплоты, происходящий между телами с разной температурой. Теплообмен — один из способов изменения внутренней энергии тела.</p>		
<div><div>Способы изменения внутренней энергии</div><div><div>Совершение работы</div><div>Теплообмен</div><div><div>Теплопроводность</div><div>Конвекция</div><div>Лучистый теплообмен</div></div></div></div>		
<p><i>Теплопроводность</i> — обмен энергией между хаотически движущимися частицами взаимодействующих тел или частей одного тела.</p>	<p><i>Конвекция</i> — перенос энергии потоками жидкости или газа.</p>	<p><i>Излучение</i> — перенос энергии электромагнитными волнами.</p>

К одному из способов теплообмена относится также и теплопередача.

Теплопередача — это теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твёрдую стенку или через поверхность раздела между ними. Теплопередача включает в себя теплоотдачу от более горячей жидкости или газа к стенке, теплопроводность в стенке, теплоотдачу от стенки к более холодной жидкой или газообразной среде.

2.2.4. Количество теплоты. Удельная теплоёмкость вещества

Количество теплоты Q — количественная мера изменения внутренней энергии тела при теплообмене (энергия, которую тело отдаёт или получает в процессе теплообмена):

$$Q = cm(T_2 - T_1) = cm\Delta T,$$

где T_1 — начальная температура тела, T_2 — конечная температура тела, m — масса тела

$$[Q] = \text{Дж}.$$

Величина c — **удельная теплоёмкость вещества**, т. е. количество теплоты, которое отдаёт или получает 1 кг вещества при изменении его температуры на 1 градус.

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

2.2.5. Удельная теплота парообразования. Удельная теплота плавления. Удельная теплота сгорания топлива

Удельная теплота парообразования L — физическая величина, равная количеству теплоты, необходимому для превращения 1 кг жидкости в пар (или пара в жидкость) при **постоянной** температуре, равной температуре кипения:

$$\begin{aligned} Q_{\text{парообр}} &= Lm, \\ Q_{\text{конденс}} &= -Lm. \end{aligned}$$

Удельная теплота плавления λ — физическая величина, которая равна количеству теплоты, необходимому для превращения 1 кг твёрдого вещества в жидкость (или жидкости в твёрдое вещество) при постоянной температуре, равной температуре плавления:

$$\begin{aligned} Q_{\text{пл}} &= \lambda m, \\ Q_{\text{кристалл}} &= -\lambda m. \end{aligned}$$

Удельная теплота сгорания

Одним из источников тепла являются различные виды *топлива* — веществ, которые выделяют при сгорании большое количество тепла. Чтобы вычислять количество тепловой энергии, выделяемой при сгорании конкретного вида топлива, используют величину, которая носит название **удельной теплоты сгорания**.

Теплота сгорания одного килограмма вещества:

$$H = \frac{Q}{m},$$

$$[H] = \text{Дж/кг}.$$

Эта величина позволяет определять количество тепла Q , которое выделяется при сгорании m кг вещества:

$$Q = H \cdot m.$$

2.2.6. Работа в термодинамике

Работу, которую совершает внешняя сила над газом при изобарическом процессе, можно вычислить по формуле	$A = -p\Delta V$
<p>Работу, которую совершает газ, можно вычислить с помощью графика термодинамического процесса, изображённого в координатах p, V. На примере изобарического процесса (с постоянным давлением) видно, что работа равна площади прямоугольника. Это свойство справедливо для любого процесса. <i>Работа равна площади под кривой, которая описывает процесс в координатах p, V.</i></p>	
<div> <div> <p>$S_{abcd} = p\Delta V = A$</p> </div> <div> <p>$A = S_{abcd}$</p> </div> </div>	
Внутреннюю энергию можно также изменить, если нагреть (или охладить) тело, т. е. передать ему (или забрать у него) некоторое количество тепла	$\Delta U_{\text{теплопер}} = Q$

2.2.7. Первый закон термодинамики. Адиабата

<p>Закон сохранения энергии в тепловых процессах (первое начало термодинамики)</p> <p><i>Изменение внутренней энергии системы равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе:</i></p> $\Delta U = A + Q$	
Адиабатический (теплоизолированный) процесс	
Адиабатический процесс — процесс, происходящий без теплообмена с внешней средой	$\Delta U = A$
<p>Как правило, адиабатические процессы — это процессы, которые происходят очень быстро, так что не успевает произойти теплообмен с окружающей средой.</p>	

2.2.8. Второй закон термодинамики, необратимость

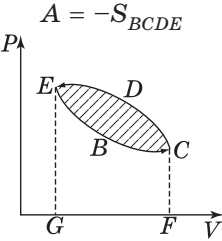
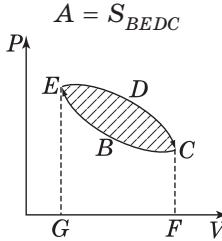
<p><i>Теплота не может самопроизвольно переходить от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой. Это принцип Клаузиуса — одна из формулировок второго закона термодинамики.</i></p> <p>Второй закон термодинамики — один из основных законов термодинамики, устанавливающий необратимость реальных термодинамических процессов.</p>
--

Окончание таблицы

Необратимым называется физический процесс, который может самопроизвольно протекать только в одном определённом направлении.
В обратном направлении такие процессы могут протекать только как одно из звеньев более сложного процесса.
Необратимыми являются практически все процессы, происходящие в природе. Это связано с тем, что в любом реальном процессе часть энергии рассеивается за счёт излучения, трения и т. д. Например, тепло, как известно, всегда переходит от более горячего тела к более холодному — это наиболее типичный пример необратимого процесса (хотя обратный переход не противоречит закону сохранения энергии).

2.2.9. Принципы действия тепловых машин. КПД

Одной из задач термодинамики является использование внутренней энергии тел для совершения полезной работы. Для этой цели служат так называемые <i>тепловые машины</i> .	
Тепловые машины — периодически действующие устройства, совершающие работу за счёт полученной извне теплоты.	Объяснение принципа действия тепловых машин основывается на двух началах термодинамики: первом начале — законе сохранения энергии, и втором начале, которое рассмотрено ниже.

В основе работы тепловых машин лежат замкнутые термодинамические циклы.	
Круговой процесс, или цикл, — процесс, при котором система, пройдя через ряд состояний, возвращается в исходное.	
	
Цикл протекает против часовой стрелки ($A < 0$). Над газом совершается работа.	Цикл протекает по часовой стрелке ($A > 0$). Газ совершает работу.

Для описания свойств различных тепловых машин вводится понятие — коэффициент полезного действия (КПД) . Он определяется как отношение полезной работы, которую произвёл газ, к полному количеству тепла, которое газ получил при совершении этой работы.	$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_{\text{получ}}}$
---	--

Поскольку полученное газом тепло не всё тратится на совершение работы, а какая-то часть этого тепла отводится от газа в окружающую среду, то всегда $A_{\text{пол}} < Q_{\text{получ}}$, т. е. КПД всегда меньше единицы: $\eta < 1$.

Например, для процесса, показанного выше на рисунке (справа),

$$A_{\text{получ}} = S_{BEDC}, Q_{\text{получ}} = S_{GEDCF},$$

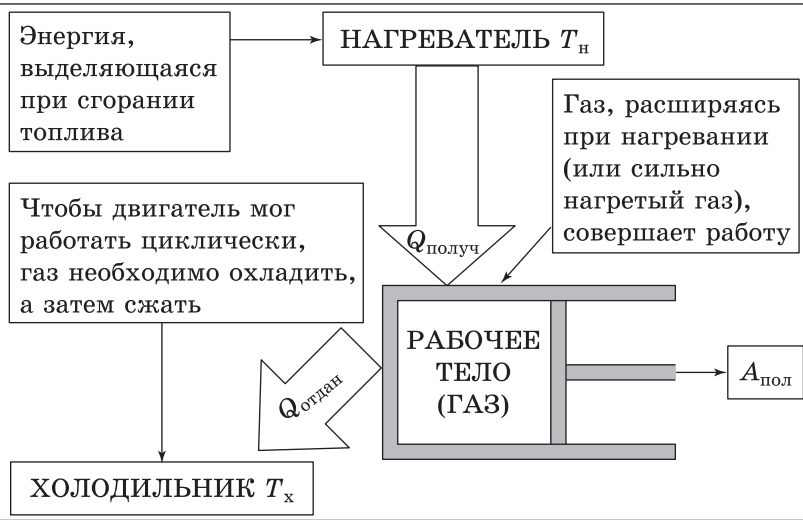
а тепло, отданное газом в среду при совершении работы, равно:

$$Q_{\text{отдан}} = S_{GEBCF}.$$

Для этого цикла КПД равно:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_{\text{получ}}} = \frac{S_{BEDC}}{S_{GEDCF}} = \frac{S_{GEDCF} - S_{GEBCF}}{S_{GEDCF}} = 1 - \frac{S_{GEBCF}}{S_{GEDCF}} < 1.$$

Общий принцип действия тепловых машин



2.2.10. Максимальное значение КПД. Цикл Карно

Цикл Карно

Для исследования тепловых машин была предложена так называемая *идеальная* тепловая машина, в основу работы которой положен цикл Карно. Эта тепловая машина работает, получая тепло от нагревателя с температурой T_n и отдавая тепло холодильнику, температура которого равна T_x . КПД цикла Карно равен:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_{\text{получ}}} = \frac{Q_{\text{получ}} - Q_{\text{отдан}}}{Q_{\text{получ}}} = 1 - \frac{Q_{\text{отдан}}}{Q_{\text{получ}}} = 1 - \frac{T_x}{T_n}.$$

КПД реальной машины всегда меньше, чем КПД идеальной машины.

КПД других идеальных машин меньше, чем КПД идеальной тепловой машины, в которой использован цикл Карно, при тех же температурах нагревателя и холодильника.

Окончание таблицы

Графическое представление цикла Карно

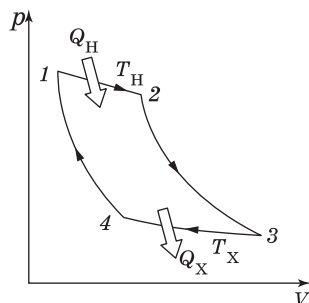
Цикл Карно состоит из двух адиабат ($2 \rightarrow 3$, $4 \rightarrow 1$) и двух изотерм ($1 \rightarrow 2$, $3 \rightarrow 4$):

$1 \rightarrow 2$ — газ (так называемое *рабочее тело двигателя*) поддерживается в тепловом контакте с нагревателем при температуре T_H и получает от него тепло Q_H ; при этом газ расширяется;

$2 \rightarrow 3$ — процесс адиабатического (т.е. теплоизолированного) расширения. В этом процессе газ охлаждается до температуры холодильника T_X ;

$3 \rightarrow 4$ — процесс изотермического сжатия, при котором температура газа равна температуре холодильника и газ отдаёт холодильнику тепло Q_X ;

$4 \rightarrow 1$ — процесс адиабатического сжатия газа, при котором газ нагревается до температуры нагревателя, тем самым замыкая цикл.



В настоящее время наиболее широкое применение получили тепловые машины, работающие по следующим циклам:

1. Цикл Отто — это двигатели внутреннего сгорания с искровым зажиганием.
2. Цикл Дизеля — это двигатели внутреннего сгорания с самопроизвольным зажиганием горючего. Эти два двигателя используются в автомобилях.
3. Цикл Ренкина — это паровые двигатели и турбины, которые в прошлом веке приводили в движение паровозы и пароходы, а сейчас используются на атомных электростанциях для получения электроэнергии.
4. Цикл Брайтона, который используется в газовых турбинах, и цикл реактивного движения, используемый в турбореактивных и турбовинтовых двигателях самолётов.

Цикл Отто — двигатели с зажиганием от электрической искры.

$1 \rightarrow 2$ — впуск топливной смеси в цилиндр двигателя;

$2 \rightarrow 3$ — адиабатическое сжатие;

$3 \rightarrow 4$ — сжигание горючей смеси, которое приводит к резкому увеличению давления;

a — момент зажигания;

b — прекращение сгорания топлива;

$4 \rightarrow 5$ — адиабатическое расширение продуктов сгорания горючего;

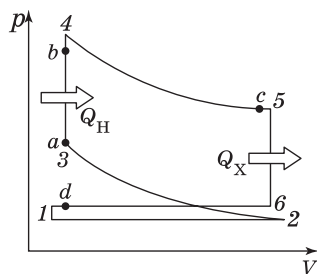
c — открытие выпускного клапана;

$5 \rightarrow 6$ — выпуск продуктов сгорания;

$6 \rightarrow 1$ — выхлоп при атмосферном давлении;

d — открытие впускного клапана.

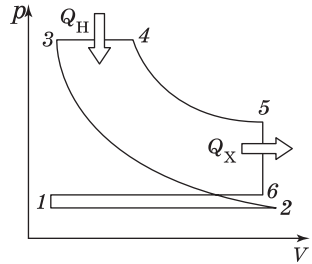
Такие двигатели работают на бензине.



Окончание таблицы

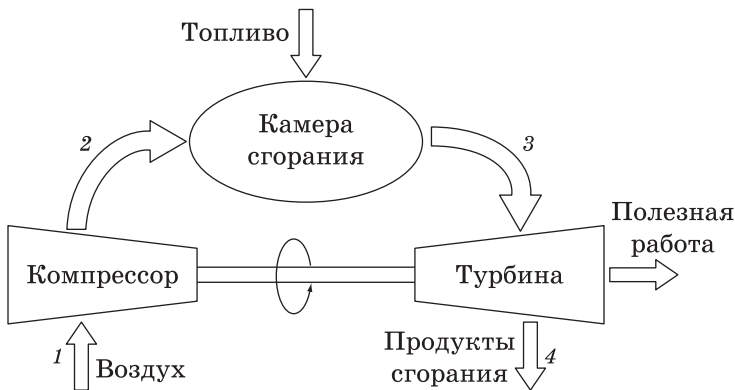
Цикл Дизеля — двигатели с самопроизвольным зажиганием сжатого топлива.

- $1 \rightarrow 2$ — впуск топливной смеси в цилиндр двигателя;
 $2 \rightarrow 3$ — адиабатическое сжатие;
 $3 \rightarrow 4$ — самопроизвольное зажигание смеси за счёт нагрева при адиабатическом сжатии на участке $2 \rightarrow 3$;
 $4 \rightarrow 5$ — адиабатическое расширение продуктов сгорания горючего;
 $5 \rightarrow 6$ — выпуск продуктов сгорания;
 $6 \rightarrow 1$ — выхлоп при атмосферном давлении.
 Такие двигатели работают на *дизельном топливе*.



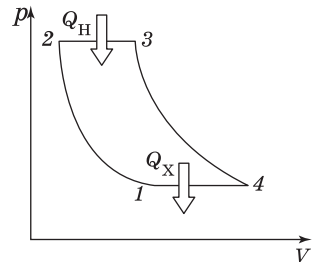
Цикл Брайтона — газовые турбины.

Схема работы газовой турбины



Идеализированный цикл Брайтона

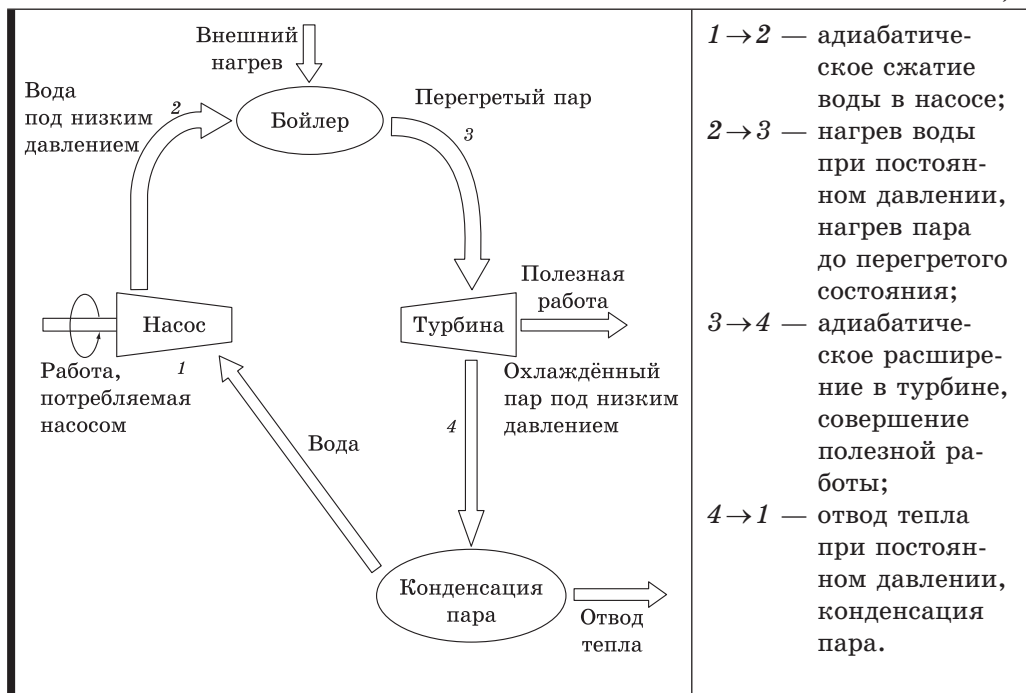
- $1 \rightarrow 2$ — адиабатическое сжатие в компрессоре;
 $2 \rightarrow 3$ — нагрев при постоянном давлении;
 $3 \rightarrow 4$ — адиабатическое расширение в турбине;
 $4 \rightarrow 1$ — теплоотдача при постоянном давлении.



Паровые двигатели и турбины

В основе работы паровых машин (двигателей и турбин) лежит циклическое преобразование воды в пар и обратно. Приведём упрощённую схему работы паровой турбины, не описывая лежащий в её основе цикл Ренкина.

Окончание таблицы



$1 \rightarrow 2$ — адиабатическое сжатие воды в насосе;
 $2 \rightarrow 3$ — нагрев воды при постоянном давлении, нагрев пара до перегретого состояния;
 $3 \rightarrow 4$ — адиабатическое расширение в турбине, совершение полезной работы;
 $4 \rightarrow 1$ — отвод тепла при постоянном давлении, конденсация пара.

Реактивное движение и двигатели

Реактивное движение основано на законе сохранения импульса. Если от тела с определённой скоростью отделяется какая-то часть, то само тело начинает двигаться в сторону, противоположную направлению движения отделившейся части.

Типичным примером реактивного движения являются полёты **ракет**. В ракетах происходит сгорание жидкого или твёрдого топлива. Продукты сгорания с огромными скоростями вырываются через специальные **сопла**, расположенные сзади ракеты, создавая тем самым **силу тяги**, которая приводит ракету в движение. Другим примером использования реактивного движения являются **реактивные, турбореактивные и турбовинтовые** двигатели, устанавливаемые на самолётах. Работа турбореактивного двигателя описывается изменённым циклом газовой турбины — так называемым циклом реактивного движения. В этом цикле продукты сгорания не расширяются внутри турбины, а направляются в сопло, где они ускоряются и создают силу тяги, приводящую самолёт в движение.

2.2.11. Уравнение теплового баланса

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0,$$

где Q_1, Q_2, \dots, Q_n — количество теплоты, полученное или отданное каждым телом в замкнутой системе.

Любое из количеств теплоты Q_i может означать теплоту, выделяемую или поглощаемую при плавлении какого-либо тела, сгорании топлива, испарении или конденсации пара, если такие процессы происходят с различными телами системы, и будут определяться соответствующими соотношениями. Уравнение теплового баланса является математическим выражением закона сохранения энергии при теплообмене.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 2.2. ТЕРМОДИНАМИКА

Ответами к заданиям 1–8 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

1 В каких из перечисленных ниже случаев система находится в состоянии термодинамического равновесия?

- 1) в закрытое теплоизолированное помещение только что внесли с улицы (на улице мороз) несколько баллонов со сжатым до нескольких атмосфер воздухом
- 2) тот же случай, что и в п. 1, длительное время спустя
- 3) в помещении топится печь, но при этом открыто окно
- 4) в сосуд с водой опустили включенный кипятильник
- 5) в системе отсутствуют потоки энергии, импульса, массы и т. д.

Ответ:

2 Как изменится внутренняя энергия идеального одноатомного газа, если его молярную массу увеличить в 2 раза, а температуру уменьшить в 2 раза: *возрастёт в 2 раза, уменьшится в 4 раза, не изменится?* Ответ запишите словами.

Ответ: _____ .

3 Для увеличения температуры тела на 10°C ему передали энергию 420 Дж. Чему равна теплоёмкость тела?

Ответ: _____ Дж/К.

4 При кристаллизации 100 г жидкости было выделено 0,17 Дж. Определить удельную теплоту плавления этого вещества.

Ответ: _____ Дж/кг.

5 Газ некоторой массы перевели из состояния с давлением $p = 5$ атм и объёмом $V = 2$ л в состояние с $p = 20$ атм и $V = 1$ л. Как изменилась его внутренняя энергия: *удвоилась, уменьшилась в 1,5 раза, увеличилась в 1,2 раза?* Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____ .

6 Какую работу совершает идеальный газ при изобарном расширении, если количество подведённого к нему тепла равно 2 кДж, а его внутренняя энергия изменилась на 1 кДж?

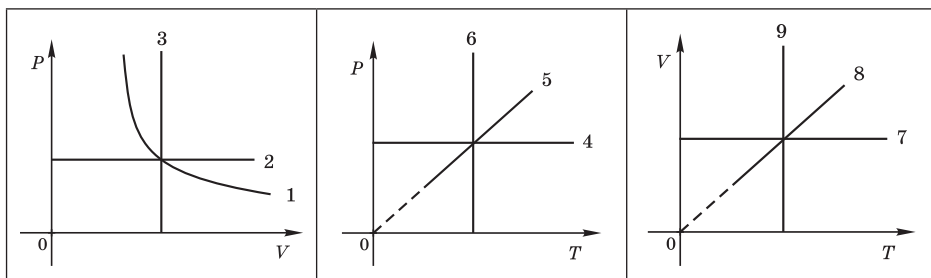
Ответ: _____ кДж.

7 В результате изотермического процесса газом совершена работа 5 Дж. Каково количество тепла, подведённое к газу?

Ответ: _____ Дж.

8

На рисунках представлены графики (кривые 1–9) изопроцессов в координатах $p(V)$, $p(T)$, $V(T)$. Проанализируйте рисунки и выберите *два* верных утверждения о процессах, представленных графиками 1–9.



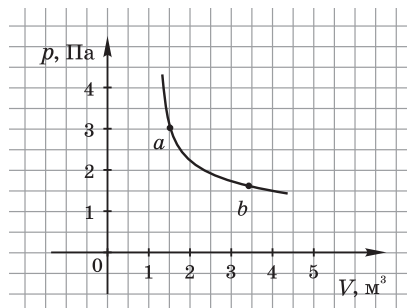
- 1) Графики 3, 5, 7 описывают изохорический процесс.
- 2) Изохорический процесс представлен графиками 2, 5, 7.
- 3) Изобару представляют кривые 8, 1, 9.
- 4) Изотермический процесс представлен графиками 4, 1, 9.
- 5) Изобары описаны графиками 2, 4, 5; изотермы — 1, 3, 7; изохоры — 6, 9, 2.
- 6) Изобары описаны графиками 2, 4, 8; изотермы — 1, 6, 9.

Ответ:

Ответами к заданиям 9–10 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

9

Определите по графику примерное значение работы, совершённой газом при изотермическом расширении на участке между точками a и b .



Ответ: _____ Дж.

10

В термостат с 2 л воды при температуре 90°C опустили кусок льда в медном ведре. Масса льда $0,2\text{ кг}$, температура -10°C , масса ведёрка 100 г , его температуру считать комнатной $+20^\circ\text{C}$. Какой будет температура содержимого термостата после установления термодинамического равновесия? Ответ дайте в $^\circ\text{C}$.

Ответ: _____ $^\circ\text{C}$.



3. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Электродинамика — раздел физики, который описывает электромагнитные явления: поведение заряженных тел, электромагнитных полей и их взаимодействие.

3.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

3.1.1. Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда

Электризация — изменение *электрического заряда* тела за счёт трения или облучения.

Эффектный фокус, в котором натёртая ручка начинает притягивать к себе пылинки и кусочки бумаги, известен человечеству уже тысячу лет. В Древней Греции такой опыт ставили с янтарными палочками, и греческое название янтаря — «электрон» — дало название этому явлению: **электризация**.

Понятие электрического заряда

Электрический заряд q — физическое свойство тел, определяющее электромагнитное взаимодействие.

В системе СИ заряд измеряется в **Кулонах**:
 $[q] = \text{Кл.}$

Определение единицы заряда (Кулон) даётся при изучении постоянного тока.

Эксперименты с электризацией показали, что тела можно зарядить двумя различными способами. При этом некоторые заряженные тела притягивались друг к другу, а некоторые отталкивались друг от друга. Это привело к возникновению понятия о **знаке** заряда и к выводу о взаимодействии между заряженными телами.

Между электрически заряженными телами возникает взаимодействие. Разноимённо заряженные тела притягиваются, а одноимённо заряженные — отталкиваются.

положительные
заряды



отрицательные
заряды



Для того чтобы объяснить явление электризации, необходимо принять во внимание, что все вещества состоят из атомов, а атомы, в свою очередь, состоят из тяжёлых положительно заряженных **ядер**, около которых находятся отрицательно заряженные **электроны** (см. раздел «Квантовые явления»). В процессе трения (или облучения) электроны отрываются от ядер (процесс **ионизации**) и переходят с одного тела на другое. Таким образом, на одном из тел **накапливаются** электроны, и оно становится **отрицательно** заряженным, а другое тело **отдаёт** электроны и поэтому становится **положительно** заряженным.

*Избыток электронов —
тело заряжено отрицательно.*

*Недостаток электронов —
тело заряжено положительно.*

Элементарный заряд

Изучение электрических зарядов показало, что величина любого заряда **кратна** определённой величине e . Таким образом, заряд тела может быть равен $100e$ или $-21e$, но не может равняться, например, $\frac{e}{3}$ или $-12\frac{1}{5}e$.

По этой причине величина e получила название **элементарного заряда**, и в системе СИ она равна:

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Заряд любого тела можно выразить через количество электронов и протонов в этом теле.

Составные части атомов — электроны — обладают отрицательным электрическим зарядом: $q_{\text{эл}} = -e$.

Составные части ядер — протоны — обладают положительным элементарным зарядом: $q_{\text{пр}} = +e$.

Заряд тела — число, кратное величине элементарного заряда:

$$q = N_{\text{пр}}q_{\text{пр}} + N_{\text{эл}}q_{\text{эл}} = e(N_{\text{пр}} - N_{\text{эл}}),$$

где $N_{\text{эл}}$ — число электронов,

$N_{\text{пр}}$ — число протонов.

Закон сохранения электрического заряда

В замкнутой системе при любых взаимодействиях тел алгебраическая сумма электрических зарядов всех тел остаётся постоянной.

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$$

С общефизической точки зрения, суть закона сохранения заряда сводится к тому, что изменить полный заряд системы, замкнутой в какой-то области, можно *только* путём перемещения заряда через границу области, окружающей эту систему зарядов.

3.1.2. Закон Кулона

Величина силы взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами q_1 и q_2 прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

Направление силы взаимодействия. Эта сила параллельна линии, соединяющей заряды, а её направление определяется знаками зарядов: одноимённые отталкиваются, а разноимённые притягиваются.

Точечный заряд — заряд, который геометрически представляет собой точку. Другими словами: это заряженная материальная точка.

Величина $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н} \cdot \text{м}^2)$ — так называемая **электрическая постоянная**.

Величина ϵ — **диэлектрическая проницаемость среды**, она показывает, во сколько раз уменьшается сила электростатического взаимодействия в данной среде. При этом среда всегда уменьшает электрическое поле по сравнению с вакуумом, т. е. $\epsilon > 1$. В случае вакуума полагаем, что $\epsilon = 1$.

Притяжение нейтральных тел

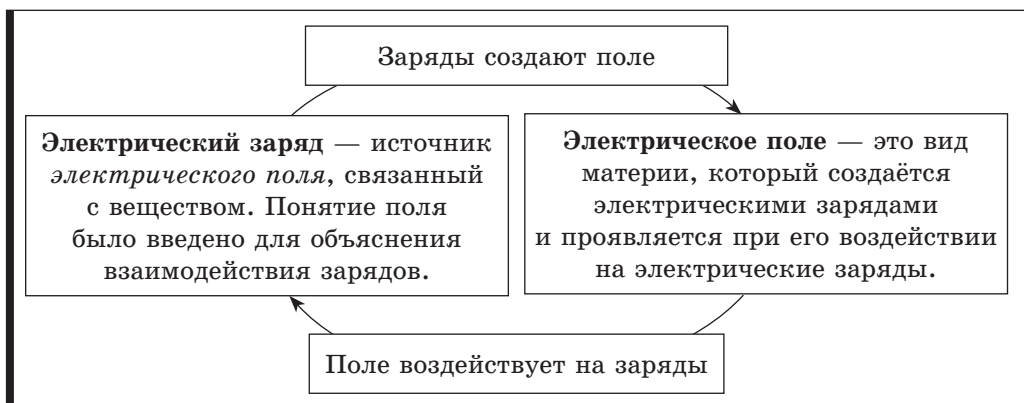
Случайным образом (например, при тепловом движении) на одном из тел перераспределяются заряды. Они поляризуют второе тело, и между индуцированными зарядами возникает сила притяжения.



Попрубой разобраться самостоятельно!

Могут ли притягиваться тела, заряженные одноимённо?

3.1.3. Электрическое поле и заряды



Приведённые выше определения справедливы в случае неподвижных зарядов. Взаимодействие таких зарядов изучает **электростатика**.

Электростатика — наука о неподвижных зарядах и связанных с ними неизменных электрических полях.

Если заряды начинают двигаться, то они могут создавать так называемое **магнитное поле**. В то же время если магнитное поле изменяется со временем, то оно создаёт электрическое поле в отсутствие зарядов. Исследованием таких процессов занимается **электродинамика**.

3.1.4. Напряжённость электрического поля. Поле точечного заряда, однородное поле. Картины линий этих полей

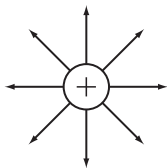
$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ <p>Единица измерения: $[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$</p>	<p>Напряжённость \vec{E} — силовая характеристика электростатического поля (ЭСП) — физическая векторная величина, равная силе, которая действует со стороны электрического поля на внесённый в него <i>единичный положительный</i> заряд.</p> <p>Сила взаимодействия поля с зарядом оказалась пропорциональна величине заряда, что позволило ввести величину \vec{E}, характеризующую влияние поля на единичный положительный заряд.</p>
---	---

<p>Модуль напряжённости электрического поля точечного заряда равен:</p>	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{ q }{r^2}$
<p>Вектор \vec{E} направлен вдоль радиуса от заряда, если $q > 0$, и к заряду, если $q < 0$.</p>	

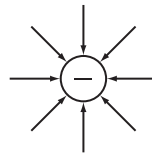
<p>Линии напряжённости электрического поля (силовые линии)</p>
<p>Для графического представления электрического поля используют понятие <i>линии электрического поля</i>. Такие линии строятся по следующим правилам.</p> <ol style="list-style-type: none">1. Линии начинаются на положительных электрических зарядах и заканчиваются на отрицательных или уходят в бесконечность (приходят из бесконечности).2. Вектор напряжённости электрического поля \vec{E} в каждой точке пространства параллелен касательной прямой, проведённой к линии поля в этой точке.3. Линии не пересекаются.4. Плотность линий пропорциональна величине напряжённости поля.

Поля различных систем зарядов

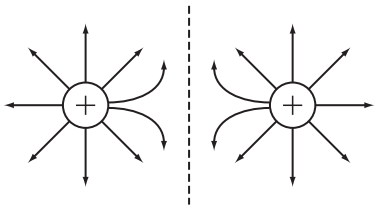
Точечные заряды



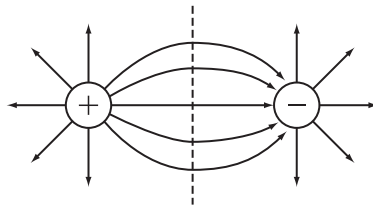
Силовые линии поля точечных зарядов направлены вдоль радиусов от заряда к бесконечности. У положительного заряда линии «выходят» из заряда и уходят в бесконечность. У отрицательного заряда линии «приходят» из бесконечности и заканчиваются на заряде.



Пары точечных зарядов



Если разместить рядом два **одинаковых** по знаку заряда, то их силовые линии будут уходить в бесконечность, как бы «отталкиваясь» друг от друга.

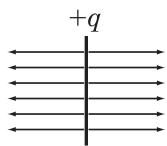


Если разместить рядом два **разных** по знаку заряда, то их силовые линии будут замыкаться друг на друге. Они будут начинаться на одном заряде, а заканчиваться на другом.

Если величина этих зарядов одинакова, то такая система зарядов называется **электрическим диполем**. Суммарный заряд такой системы равен нулю, поэтому на больших расстояниях поле этой системы очень мало.

Заряженные плоскости

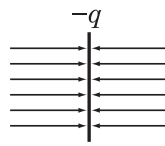
Поле заряженной (положительно и отрицательно) плоскости с поверхностной плотностью заряда.



Поверхностная плотность заряда — это заряд единицы площади:

$$\sigma = \frac{q}{S},$$

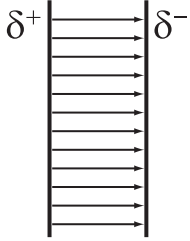
где S — площадь поверхности.



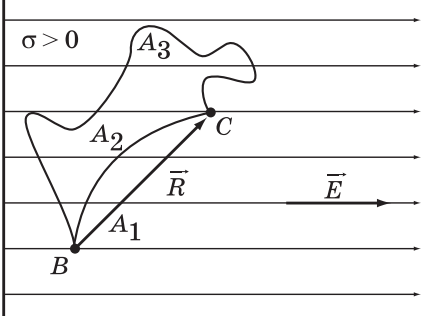
Напряжённость поля по величине равна: $E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0\epsilon}$.

Направления поля указаны на рисунках.

Поле бесконечной заряженной плоскости не зависит от расстояния до плоскости!

Две разноимённо заряженные плоскости	
	<p>Если разместить рядом две заряженные плоскости с одинаковой плотностью зарядов разного знака, то поля между пластинами сложатся, и суммарное поле будет в два раза больше поля каждой из пластин. Поле во внешней области будет равно нулю, так как векторы напряжённости каждой из пластин в этой области одинаковы по величине и противоположны по направлению:</p> $E_{\text{внут}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon}, \quad E_{\text{внеш}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} - \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} = 0.$

3.1.5. Потенциальность электростатического поля

<p>Электрическое поле — потенциальное, т. е. работа кулоновских сил по перемещению заряда не зависит от траектории.</p>	
<p>Работа кулоновских сил по замкнутому контуру равна нулю: $A_{\text{зам}} = 0$. Работы по перемещению зарядов по разным траекториям равны между собой: $A_1 = A_2 = A_3 = q\vec{E} \cdot \vec{R} = qER \cos(\angle \vec{E}\vec{R})$. Следовательно, работа зависит только от самих точек начал и конца траектории и не зависит от формы траектории: $A_1 = A_2 = A_3 = W_{qC} - W_{qB} = q(\varphi_C - \varphi_B)$.</p>	
<p>Здесь введены новые физические понятия энергии заряда в электрическом поле и потенциала электрического поля.</p>	
<p>Энергия взаимодействия двух точечных зарядов:</p> $W = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{q_1q_2}{r}.$	<p>Следует заметить, что в этой формуле стоят не абсолютные значения (модули) зарядов, а их величины с учётом знака. Значит, энергия взаимодействия разноимённых зарядов отрицательна, а энергия взаимодействия одноимённых зарядов — положительна.</p>
<p>Потенциал:</p> $\varphi = \frac{W}{q}, \quad [\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}.$	<p>Потенциал φ — энергетическая характеристика ЭСП — физическая величина, равная отношению потенциальной энергии заряда в данной точке поля к величине этого заряда. Потенциал в данной точке равен работе, необходимой для перемещения единичного положительного заряда в данную точку из бесконечности (при этом потенциал в бесконечности принимается равным нулю).</p>

Окончание таблицы

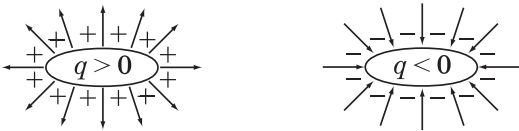
<p>Разность потенциалов $\Delta\varphi$ равна работе кулоновских сил по перемещению положительного единичного заряда.</p>	<p>Работа, которую совершает электрическое поле при перемещении заряда q из точки 1 в точку 2, равна:</p> $A_{12} = W_{q2} - W_{q1} = q(\varphi_2 - \varphi_1) = q\Delta\varphi.$ <p>Величина $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, которая является разностью потенциалов в двух точках, помогает вычислять работу электрического поля.</p>
<p>Эквипотенциальная поверхность: $\varphi = \text{const.}$</p>	<p>Эквипотенциальная поверхность — поверхность, состоящая из точек с равным потенциалом. Вектор напряжённости \vec{E} перпендикулярен к эквипотенциальной поверхности в каждой точке.</p>

3.1.6. Принцип суперпозиции электрических полей

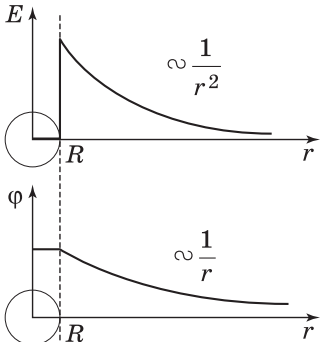
<p>Принцип суперпозиции полей. Напряжённость (сила) электрического поля системы зарядов равна векторной сумме напряжённостей (сил) электрических полей, создаваемых каждым зарядом:</p> $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \quad \text{или} \quad \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_1 + \dots + \vec{F}_n.$	
<p>Принцип суперпозиции потенциалов: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n.$</p>	<p>Потенциал электрического поля системы зарядов равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых каждым из зарядов.</p>

3.1.7. Проводники в электростатическом поле

<p>Проводники — вещества, имеющие свободные заряженные частицы, т. е. проводящие электрический ток.</p>	<p>Свободные заряды — заряженные частицы, которые находятся в проводниках (в металлах — электроны, в электролитах — ионы) и способны перемещаться под действием электрического поля.</p>
<p>Наличие свободных зарядов определяет свойства проводников в постоянном электрическом поле.</p>	
<p>1. Внутри проводника электрическое (стационарное) поле равно нулю.</p>	<p>Если проводник помещён в электрическое поле, то внутри него начинается движение зарядов. Эти заряды перераспределяются до тех пор, пока поле внутри проводника не оказывается равным нулю. В противном случае не равное нулю поле всегда приводит к движению зарядов, которые распределяются так, что созданное ими поле полностью компенсирует внешнее поле.</p>

2. Поверхность проводника в электрическом (стационарном) поле эквипотенциальна .	Если поверхность проводника оказывается не эквипотенциальной, то это приводит к движению зарядов вдоль поверхности из области с большим потенциалом в область с меньшим потенциалом (для положительных зарядов). Такое движение происходит до тех пор, пока заряды, перераспределяясь по поверхности, не скомпенсируют разность потенциалов в точках поверхности, т. е. пока поверхность проводника не окажется эквипотенциальной.
3. Потенциал внутри проводника (и внутри полостей в проводнике) одинаков и равен потенциалу границы, так как в противном случае возникало бы движение зарядов по проводнику.	
4. Линии электрического поля перпендикулярны к поверхности проводника.	Это следует из общего свойства, что линии напряжённости электрического поля перпендикулярны к эквипотенциальным поверхностям, и из того, что поверхность проводника совпадает с эквипотенциальной поверхностью. На рисунках показана напряжённость поля вблизи заряженного проводника.
5. Заряды в проводнике скапливаются на поверхности, потому что иначе поле внутри проводника не было бы равным нулю.	

Электрическое поле положительно заряженной проводящей сферы

	<p>Поле внутри сферы $r < R$:</p> $E = 0,$ $\varphi = \varphi(r = R) = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{1}{R}.$ <p>Поле вне сферы $r \geq R$:</p> $E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2}, \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r}.$
---	--

3.1.8. Диэлектрики в электростатическом поле

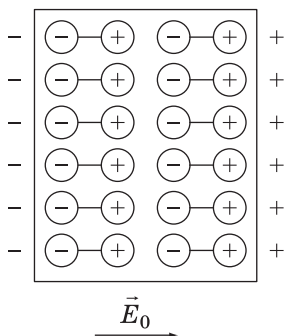
Диэлектрики — вещества, не имеющие свободных заряженных частиц, т. е. практически не проводящие электрический ток.

Окончание таблицы

Если поместить диэлектрик в электрическое поле, то в нём, в отличие от проводника, не начинается движение зарядов, которые могли бы полностью скомпенсировать внешнее поле.	В диэлектриках происходит лишь частичная компенсация внешнего поля, обусловленная <i>поляризацией</i> диэлектрика.
Поляризация — явление возникновения зарядов на поверхности диэлектрика, поле которых частично компенсирует внешнее электрическое поле.	<p>Величину компенсации описывают с помощью <i>диэлектрической проницаемости</i> среды ϵ, которая показывает, во сколько раз эта среда уменьшает электрическое поле:</p> $\epsilon = \frac{E_{\text{вак}}}{E_{\text{диэл}}}.$

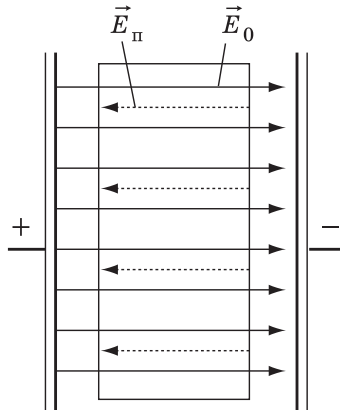
Влияние электрического поля на диэлектрик

Диэлектрик помещён в электрическое поле. Молекулы диэлектрика поляризуются. На поверхности диэлектрика появляются связанные заряды.

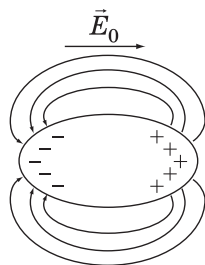


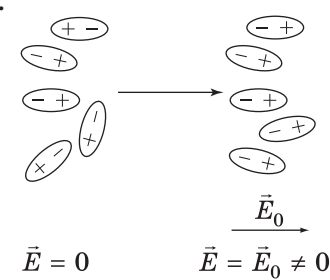
Возникает напряжённость \vec{E}_{π} поля связанных зарядов, которая направлена противоположно вектору напряжённости \vec{E}_0 внешнего электрического поля. Напряжённость поля внутри диэлектрика равна:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_{\pi} \Rightarrow E = E_0 - E_{\pi}.$$



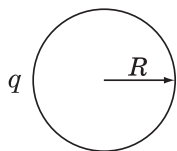
Поверхностные заряды изменяют поле и *снаружи* диэлектрика!



Виды диэлектриков	
<p>Полярные — это диэлектрики, в молекулах которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов разделены даже в отсутствие поле, т. е. молекула является диполем.</p> <p>Поляризация: во внешнем электрическом поле молекулы ориентируются вдоль вектора напряжённости внешнего поля \vec{E}_0.</p>	<p>При включении поля молекулы поворачиваются вдоль силовых линий поля.</p> 
<p>Неполярные — диэлектрики, в молекулах которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов в отсутствие поля совпадают.</p> <p>Поляризация: во внешнем электрическом поле в результате деформации молекул возникают диполи, ориентированные вдоль вектора напряжённости внешнего поля \vec{E}_0.</p>	<p>При включении поля молекулы поляризуются.</p> 

3.1.9. Электроёмкость. Конденсатор

Ёмкость	
<p>Потенциал поверхности заряженной проводящей сферы пропорционален заряду этой сферы. Это значит, что чем больший потенциал мы хотим сообщить телу, тем больший заряд мы должны на это тело поместить: $\varphi \propto q$. Коэффициент пропорциональности между этими величинами характеризует только само тело (его форму, размер и т. д.) и определяется способностью этого тела накапливать электрические заряды. Называется этот коэффициент ёмкостью тела.</p>	<p>Электрическая ёмкость — физическая величина, определяемая отношением заряда тела к его потенциалу и равная заряду, который нужно сообщить телу, чтобы изменить его потенциал на 1 В:</p> $C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U},$ $[C] = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \text{Ф}.$
<p>Конденсатор — система, состоящая из двух проводников, разделённых слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников. При зарядке обкладкам конденсатора сообщают равные по модулю разноимённые заряды. Одна из целей использования конденсаторов — накопление зарядов.</p>	

Ёмкость шара**Потенциал поверхности:**

$$\varphi_{\text{пов}} = \varphi(r = R) = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{1}{R}.$$

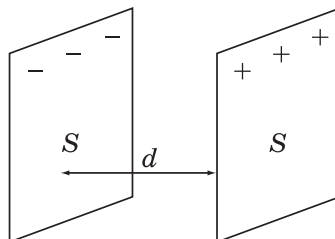
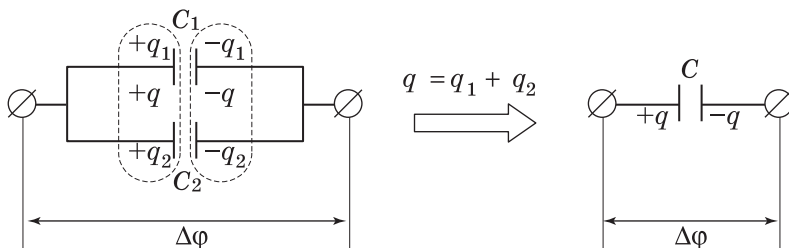
Ёмкость шара:

$$C = \frac{q}{\varphi} = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R.$$

Плоский конденсатор — система, которая состоит из двух плоских параллельных пластин, заряженных равными по модулю зарядами противоположного знака и разделенных слоем диэлектрика.

Ёмкость плоского конденсатора:

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

**3.1.10. Соединение конденсаторов****Параллельное соединение**

Обкладки конденсаторов соединяют попарно, т. е. в системе остаётся два изолированных проводника, которые и служат обкладками нового конденсатора.

У параллельно соединённых конденсаторов одинакова разность потенциалов между обкладками, т. к. эти обкладки замкнуты между собой:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_2.$$

В этом случае конденсаторы можно представить как один конденсатор, на обкладках которого находится суммарный заряд $q = q_1 + q_2$, а разность потенциалов равна $\Delta\varphi$. Ёмкость такого конденсатора равна:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q_1 + q_2}{\Delta\varphi} = \frac{q_1}{\Delta\varphi} + \frac{q_2}{\Delta\varphi} = \frac{q_1}{\Delta\varphi_1} + \frac{q_2}{\Delta\varphi_2} = C_1 + C_2.$$

При параллельном соединении складываются ёмкости:

$$C_{\text{пар}} = C_1 + C_2.$$

Результирующая ёмкость *больше* *большой* из исходных!

Последовательное соединение	
<p>Производят только одно соединение, а две оставшиеся обкладки служат обкладками нового конденсатора.</p>	
<p>У последовательно соединённых конденсаторов одинаков по величине заряд на обкладках $q_1 = q_2 = q$. Дело в том, что внутренние (соединённые между собой) обкладки представляют собой замкнутую систему с равным нулю полным зарядом. Поэтому при любом перераспределении зарядов их сумма окажется равной нулю: $q_1 + q_2 = 0$. Разность потенциалов между внешними обкладками равна сумме падений напряжений на каждом из конденсаторов:</p> $\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2.$ <p>В этом случае конденсаторы можно представить как один конденсатор, на обкладках которого находится заряд $q = q_1 = q_2$, а разность потенциалов равна $\Delta\varphi$. Ёмкость такого конденсатора равна:</p> $C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2} \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2}{q} = \frac{\Delta\varphi_1}{q} + \frac{\Delta\varphi_2}{q} = \frac{\Delta\varphi_1}{q_1} + \frac{\Delta\varphi_2}{q_2} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$	
<p>При последовательном соединении складываются обратные ёмкости:</p> $\frac{1}{C_{\text{пос}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$ <p>Результирующая ёмкость <i>меньше</i> <i>меньшей</i> из исходных!</p>	

3.1.11. Энергия заряженного конденсатора

Энергия электрического поля, запасённая в конденсаторе	$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2}$
Объёмная плотность энергии поля	$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 3.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Ответами к заданиям 1–7 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

1

Два заряда притягиваются друг к другу, если эти заряды *одноимённые* (оба имеют знак плюс или знак минус), *разноимённые* (один имеет знак минус, второй — знак плюс)? Ответ запишите словом.

Ответ: _____.

2

Как изменится сила и направление взаимодействия между двумя точечными зарядами, если абсолютную величину каждого заряда увеличить вдвое, знак одного из них поменять на обратный, а расстояние между ними уменьшить в два раза?

- 1) останется неизменной
- 2) увеличится вдвое по модулю и поменяет своё направление на обратное
- 3) увеличится по модулю в 8 раз
- 4) увеличится по модулю в 16 раз
- 5) поменяет своё направление на обратное

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

СИЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	НАПРАВЛЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

3

Какую напряжённость поля создаёт точечный заряд величиной $+3 \text{ мкКл}$ в вакууме на расстоянии 3 м ? Как направлен вектор напряжённости? Для каждой величины определите соответствующее изменение:

- 1) вдоль линии, соединяющей заряд и точку, направлен от заряда
- 2) направлен перпендикулярно линии, соединяющей заряд и точку
- 3) вдоль линии, соединяющей заряд и точку, направлен к заряду
- 4) 2000 В/м
- 5) 3000 В/м
- 6) 2500 В/м

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

НАПРЯЖЁННОСТЬ	НАПРАВЛЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

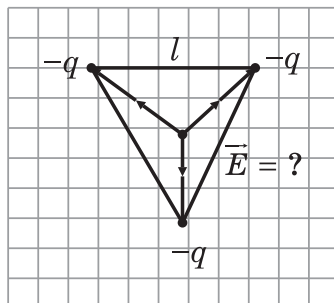
4

Потенциалы электрических полей трёх точечных зарядов в некоторой точке A равны соответственно -5 В , $+3 \text{ В}$ и -1 В . Чему равно суммарное значение потенциала в этой точке?

Ответ: _____ В.

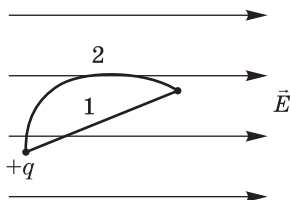
5

Чему равна напряжённость электрического поля в центре равностороннего треугольника, в вершинах которого расположены три одинаковых заряда $-q$?



Ответ: _____ .

- 6** На рисунке изображены траектории перемещения электрического заряда между двумя точками в однородном электростатическом поле. В каком случае работа поля по перемещению заряда больше: *вдоль траектории 1, вдоль траектории 2, одинакова?* Ответ запишите словом (словами).



Ответ: _____.

- 7** Как изменится энергия заряженного конденсатора, если напряжение между его обкладками уменьшить вдвое, а площадь пластин увеличить вдвое: *увеличится вдвое, уменьшится вдвое, увеличится в 4 раза, останется неизменной?* Ответ запишите словами.

Ответ: _____.

Ответами к заданиям 8–11 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

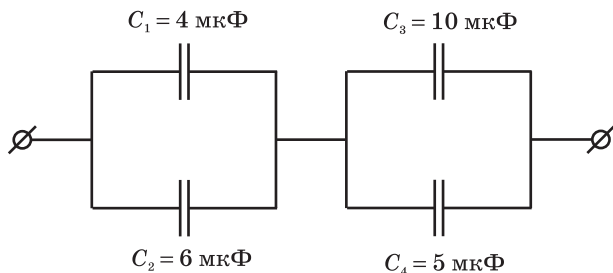
- 8** При перемещении заряда 1 мкКл из одной точки поля в другую совершена работа 0,4 мДж. Определите разность потенциалов между этими точками.

Ответ: _____ В.

- 9** Электроёмкость плоского воздушного конденсатора равна 0,3 мкФ. Чему будет равна его электроёмкость, если пространство между его обкладками заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 6$?

Ответ: _____ мкФ.

- 10** Чему равна электроёмкость батареи конденсаторов, изображённой на рисунке?



Ответ: _____ мкФ.

- 11** Напряжённость электрического поля в воде равна 10 В/м. Чему равна объёмная плотность поля? Ответ дайте в мкДж/м³.

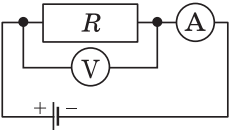
Ответ: _____ мкДж/м³.

3.2. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

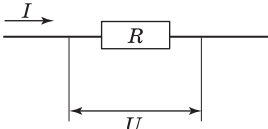
3.2.1. Сила тока. Постоянный ток

Электрический ток — упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц.	
Сила тока: $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}, [I] = \text{А}$	Сила тока — физическая величина, численно равная заряду, который переносится за единицу времени через поперечное сечение проводника.
Если сила тока со временем не изменяется, электрический ток называют постоянным током .	

3.2.2. Условия существования электрического тока. Напряжение и ЭДС

Условия существования электрического тока: 1) Наличие свободных заряженных частиц. 2) Наличие электрического поля, т. е. разности потенциалов.	
Ток возникает в проводниках под действием приложенного внешнего электрического поля. Для описания действия этого поля на заряды в проводнике вводится понятие <i>сторонних сил</i> .	
Сторонние силы	
Сторонние силы — силы неэлектрического происхождения, действующие на заряды со стороны источников тока (гальванических элементов, аккумуляторов, генераторов).	
Электродвижущая сила (ЭДС): $\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q}, [\varepsilon] = \frac{\text{Дж}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \text{В}$	ЭДС — физическая величина, которая характеризует источники тока и определяется работой ($A_{\text{ст}}$), совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда вдоль замкнутого контура.
Напряжение (U) на участке цепи: $U = \frac{A}{q}, [U] = \text{В}$	Напряжение на участке цепи — физическая величина, численно равная работе кулоновских и сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда вдоль этого участка цепи. Если участок цепи не включает ЭДС и поле является потенциальным, то напряжение совпадает с разностью потенциалов: $U = \Delta\varphi$.
	Для измерения тока используют <i>амперметр</i> , который включается в цепь последовательно. Напряжение измеряют <i>вольтметром</i> , который включается параллельно участку, на котором измеряется падение напряжения.

3.2.3. Закон Ома для участка цепи

$I = \frac{U}{R},$ <p>где R — сопротивление участка цепи, $[R] = \text{Ом} = \text{В}/\text{А}.$</p>		<p>Сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению участка цепи.</p>
---	---	---

3.2.4. Электрическое сопротивление

<p>Сопротивление однородного линейного проводника:</p> $R = \rho \frac{l}{S},$ <p>где S — площадь поперечного сечения проводника, l — его длина, ρ — удельное электрическое сопротивление, $[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}.$</p>	<p>Удельное электрическое сопротивление численно равно сопротивлению проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м².</p>
---	--

3.2.5. Источники постоянного тока

<p>В источниках постоянного тока отрицательные и положительные заряды чаще всего разделяются сторонними силами. При этом вблизи отрицательного полюса источника возникает избыток электронов, а вблизи положительного полюса — недостаток электронов. При замыкании полюсов электроны начинают двигаться <i>по внешней цепи</i> от отрицательного полюса к положительному — так возникает электрический ток. Направлением тока исторически принято считать направление от положительного полюса к отрицательному.</p> <p>Для разделения зарядов в источниках постоянного тока используют различные физические явления.</p>		
<p>В <i>аккумуляторах и гальванических элементах</i> заряды разделяются в процессе реакций взаимодействия молекул различных веществ между собой.</p>	<p>В <i>термоэлементах</i>, состоящих из двух спаянных проводников, используют тот факт, что электроны в этих проводниках по-разному реагируют на нагрев. В <i>солнечных батареях</i>, или <i>фотоэлементах</i>, заряды генерируются внутри полупроводников под действием солнечного света и разделяются встроенными электрическими полями.</p>	<p>В <i>топливных элементах</i> обычные реакции горения, например бытового газа или смеси водорода с кислородом с образованием воды, заменены химическими реакциями, в которых происходит прямое превращение химической энергии топлива в электричество. Водородные топливные элементы являются основой будущей экологически безопасной энергетики.</p>

Окончание таблицы

Кроме этих источников широко используются преобразователи переменного тока в постоянный с помощью так называемых *выпрямителей*.

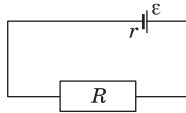
Любой источник представляет собой некоторое сопротивление для тока. Оно называется *внутренним сопротивлением источника тока* и обозначается буквой r . В генераторе r — это сопротивление обмотки, в гальваническом элементе — сопротивление раствора электролита и электродов.

Таким образом, **источник тока характеризуется величинами ЭДС и внутреннего сопротивления**, которые определяют его качество. Например, электростатические машины имеют очень большую ЭДС (до десятков тысяч вольт), но при этом их внутреннее сопротивление огромно (до сотни мОм). Поэтому они непригодны для получения сильных токов. У гальванических элементов ЭДС всего лишь приблизительно 1 В, но зато и внутреннее сопротивление мало (приблизительно 1 Ом и меньше). Это позволяет с их помощью получать токи, измеряемые амперами.

3.2.6. Закон Ома для полной (замкнутой) цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

где r — внутреннее сопротивление источника тока.

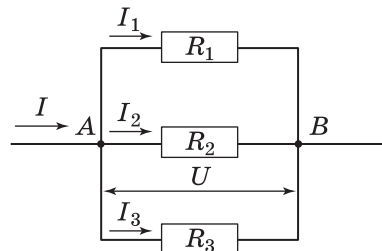


Сила тока в электрической цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе (ЭДС) источника тока и обратно пропорциональна сумме электрических сопротивлений внешнего и внутреннего участков цепи.

3.2.7. Параллельное и последовательное соединение проводников

Параллельное соединение проводников

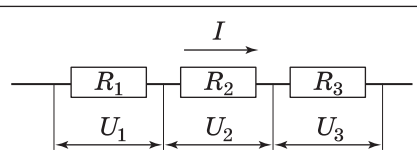
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



Вывод: $I_1 + I_2 + I_3 = I$ и $I = \frac{U}{R} \Rightarrow I = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3}$.

Однако $U_1 = U_2 = U_3 = U \Rightarrow \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$,

отсюда $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$.

Последовательное соединение проводников	
$R = R_1 + R_2 + R_3$	
Вывод: $U = U_1 + U_2 + U_3$ и $U = R \cdot I \Rightarrow I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3$. Однако $I_1 = I_2 = I_3 = I \Rightarrow IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$, отсюда $R = R_1 + R_2 + R_3$.	

3.2.8. Работа электрического поля. Закон Джоуля — Ленца

Работа тока: $A = I \cdot U \cdot \Delta t$, где U — напряжение, A — работа электрического тока на участке цепи за время Δt , $[A] = \text{Дж}$.	Работа тока — работа сил электрического поля, которые создают электрический ток.
В быту работу тока (или израсходованную на совершение этой работы электроэнергию) измеряют с помощью <i>электрического счетчика</i> . При прохождении тока через этот счётчик внутри его начинает вращаться лёгкий алюминиевый диск. Скорость его вращения прямо пропорциональна силе тока и напряжению. Поэтому по числу оборотов, сделанных им за данное время, можно судить о работе, совершённой током за это время. Работа тока при этом выражается в <i>киловатт-часах</i> (кВт · ч). 1 киловатт-час (1 кВт · ч) — это работа, совершаемая электрическим током мощностью 1 кВт в течение 1 ч: $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}$.	
Закон Джоуля — Ленца <i>Если на участке цепи под действием электрического поля не совершается механическая работа и не происходят химические превращения, то работа поля приводит только к нагреванию проводника (выделяется так называемое джоулево тепло):</i> $Q = I^2 \cdot R \cdot t,$ где Q — количество теплоты, выделившейся в проводнике за время t при прохождении тока, I — сила тока в проводнике, R — сопротивление проводника.	

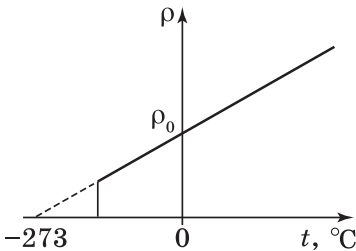
3.2.9. Мощность электрического тока

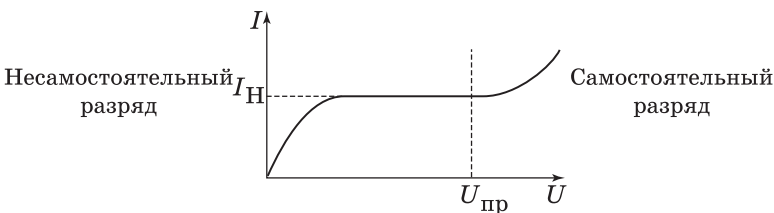
Мощность тока: $P = \frac{A}{t} = I \cdot U = I^2 R = \frac{U^2}{R},$ где P — мощность электрического тока, I — сила тока, U — напряжение. Для источника тока: $P_\varepsilon = \varepsilon I$.	Мощность тока равна отношению работы тока к времени, за которое эта работа совершена. $[P] = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$
---	---

3.2.10. Носители электрических зарядов в различных средах

Название среды	Носители заряда
Металлы	Свободные электроны
Электролиты	Положительные и отрицательные ионы (иногда — электроны и протоны)
Газы, плазма	Электроны и ионы
Вакуум	Электроны, вылетевшие с поверхности электрода вследствие эмиссии
Полупроводники	Электроны и дырки

<p style="text-align: center;">Электрический ток в металлах</p> <p>Все металлы в твёрдом и жидком состояниях являются проводниками электрического тока. В отсутствие электрического поля свободные электроны перемещаются в металле хаотически, а под действием электрического поля, кроме хаотического движения, приобретают упорядоченное движение в одном направлении — в проводнике возникает электрический ток. Сопротивление металлов обусловлено дефектами кристаллической решётки и тепловыми колебаниями ионов в узлах решётки, поэтому при нагревании сопротивление увеличивается.</p>
<p style="text-align: center;">Сверхпроводимость</p> <p>Сверхпроводимость — явление уменьшения удельного сопротивления до нуля при температуре, отличной от абсолютного нуля. Электрическое сопротивление скачком падает до нуля при охлаждении ниже критической температуры T_k, характерной для данного проводника, т. е. металл становится абсолютным проводником. Критическая температура для металлов составляет 1–20 К. Для некоторых керамических материалов температура $T_k \geq 100$ К — высокотемпературная сверхпроводимость.</p>
<p>Зависимость удельного сопротивления металлов и электролитов от температуры: $\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t)$, где ρ_0 — удельное сопротивление при 0°C, t — температура по шкале Цельсия, α — температурный коэффициент сопротивления.</p>
<p>Практически для всех металлов $\alpha > 0$ и сопротивление при нагревании увеличивается, а для электролитов $\alpha < 0$ и сопротивление при нагревании уменьшается. Вблизи нуля на графике показана область сверхпроводимости.</p>



Электрический ток в электролитах	
<p>Электролиты — вещества, растворы которых проводят электрический ток. К электролитам относятся водные растворы солей, кислот и щелочей.</p> <p>Электролитическая диссоциация — распад молекул электролита на положительные и отрицательные ионы в растворе.</p> <p>Электролиз — изменение химического состава раствора или расплава, обусловленное потерей или присоединением электронов ионами.</p>	
Закон Фарадея (закон электролиза)	
<p>Масса m вещества, выделившегося на электроде, пропорциональна заряду q, прошедшему через электролит: $m = k \cdot q$, или $m = k \cdot I \cdot t$,</p> <p>где k — электрохимический эквивалент, равный $k = \frac{M}{e \cdot N_A \cdot n}$.</p> <p>Здесь M — молярная масса, n — валентность, e — элементарный заряд, N_A — постоянная Авогадро.</p>	
Электрический ток в газах	
<p>Газы в нормальных условиях являются диэлектриками. Носители электрического тока в газах возникают только в результате ионизации.</p>	
Газовый разряд — прохождение электрического тока через газы.	
<p>Несамостоятельный газовый разряд — явление прохождения электрического тока через газ при условии внешнего ионизирующего воздействия (ультрафиолетовое, рентгеновское и радиоактивное излучения, сильный нагрев).</p>	<p>Самостоятельный газовый разряд — явление прохождения через газ электрического тока, не зависящего от действия внешних ионизаторов. Ионизация при самостоятельном разряде осуществляется электронным ударом. Она возможна при следующем условии:</p> $\frac{mv^2}{2} \geq A_i,$ <p>где m — масса электрона, v — скорость электрона, A_i — работа ионизации.</p> <p>Самостоятельный газовый разряд возникает только при большой напряжённости поля ($E = 3 \cdot 10^6$ В/м) или высокой температуре.</p>
График зависимости силы тока в газе от напряжения (вольт-амперная характеристика)	
 <p>На графике по оси абсцисс отложено напряжение U, по оси ординат — сила тока I. Кривая начинается в начале координат, поднимается до насыщения на уровне I_H, затем остается горизонтальной до напряжения пробоя $U_{пр}$, после чего резко возрастает. Область до $U_{пр}$ обозначена как «Несамостоятельный разряд», область после — «Самостоятельный разряд».</p>	
<p>$U_{пр}$ — напряжение пробоя (напряжение, при котором возникает самостоятельный газовый разряд)</p>	

Окончание таблицы

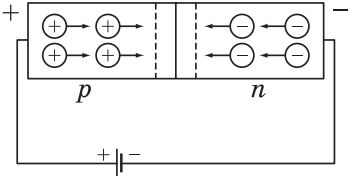
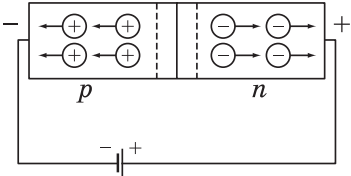
Типы самостоятельных разрядов	
<p>1. Тлеющий разряд — возникает при низких давлениях ($P \sim 0,01\text{--}1$ мм рт. ст.), применяется в газосветных трубках и газовых лазерах.</p> <p>2. Искровой разряд — возникает при больших напряжённостях электрического поля в газе, находящемся под давлением порядка атмосферного (молния, пробой диэлектрика).</p> <p>3. Дуговой разряд — возникает:</p> <p>а) если после зажигания искрового разряда от мощного источника постепенно уменьшать расстояние между электродами;</p> <p>б) если электроды сблизить до соприкосновения (минуя стадию искры), после чего их развести.</p> <p>4. Коронный разряд — возникает при высоком давлении в резко неоднородном поле вблизи электродов с большой кривизной поверхности (например, около острия).</p>	

Понятие о плазме
<p>Плазма — четвёртое состояние вещества; это газ, в котором значительная часть молекул или атомов ионизированы. В плазме концентрация положительных и отрицательных зарядов одинакова, т. е. плазма электрически нейтральна.</p> <p>Газоразрядная плазма возникает при газовых разрядах.</p> <p>Высокотемпературная плазма возникает при сверхвысоких температурах.</p>

Электрический ток в вакууме
<p>Вакуум — очень разреженный газ, молекулы которого сталкиваются друг с другом реже, чем со стенками сосуда.</p> <p>Термоэлектронная эмиссия — явление испускания свободных электронов с поверхности нагретых тел.</p>

Полупроводники	
<p>Полупроводники — вещества, в которых количество свободных зарядов зависит от температуры.</p>	<p>Полупроводник является диэлектриком при низких температурах, но уже при комнатной температуре полупроводник проводит ток.</p>
	<p>В отличие от металлов, удельное сопротивление полупроводников с повышением температуры уменьшается.</p>

Типы полупроводников	
Чистые полупроводники	Чистые полупроводники (кремний, германий) обладают собственной проводимостью . Электроны становятся свободными в основном в результате разрыва ковалентных связей в чистом полупроводнике при повышении температуры проводника.
Примесные полупроводники <i>n</i> -типа	Примесные полупроводники <i>n</i> -типа (примесь мышьяка в кремнии) обладают электронной проводимостью . Примесные атомы обладают большей валентностью, чем основные атомы, т. е. содержат один лишний электрон. При <i>незначительном</i> повышении температуры эти лишние электроны становятся свободными.
Примесные полупроводники <i>p</i> -типа	Примесные полупроводники <i>p</i> -типа (примесь индия в кремнии) обладают дырочной проводимостью . Валентность примесных атомов меньше валентности основных атомов. Появляются «дырки», которые под действием электрического поля «движутся» как положительно заряженные частицы.

Электронно-дырочный переход (<i>p-n</i> -переход)	
Электронно-дырочный переход представляет собой контакт между полупроводниками <i>p</i> - и <i>n</i> -типа. В результате встречной диффузии электронов и дырок вблизи <i>p-n</i> -перехода образуется запирающий электрический слой, поле которого препятствует дальнейшему переходу электронов и дырок через границу. Низкая концентрация свободных носителей заряда в запирающем слое обуславливает повышенное сопротивление. Если внешнее электрическое поле направлено от полупроводника <i>p</i> -типа к полупроводнику <i>n</i> -типа (ток идёт в прямом направлении), сопротивление запирающего слоя резко уменьшается; при противоположном направлении тока сопротивление резко возрастает.	
Полупроводниковый диод — элемент с односторонней проводимостью, который содержит один <i>p-n</i> -переход. Диоды могут служить выпрямителями переменного тока.	
При прямом включении напряжения через диод протекает ток.	При обратном включении напряжения диод не пропускает ток.
	
Транзистор — полупроводниковый прибор, содержащий два <i>p-n</i> -перехода. Транзистор позволяет усиливать слабые электрические сигналы.	

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 3.2. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Ответами к заданиям 1–11 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** Как изменится сила электрического тока при увеличении концентрации носителей тока в проводнике в 2 раза, увеличении их скорости в 2 раза и одновременном увеличении площади поперечного сечения проводника в 1,5 раз: *увеличится в 1,5 раза, увеличится в 3 раза, уменьшится в два раза, увеличится в 6 раз?* Ответ запишите словами.

Ответ: _____ .

- 2** Закон Ома для участка цепи связывает напряжение на нём U , ток в цепи I и его сопротивление участка R . Как изменится, согласно этому закону, сила тока и сопротивление при увеличении напряжения? Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

1) увеличится 2) уменьшится 3) не изменится

СИЛА ТОКА I	СОПРОТИВЛЕНИЕ R

- 3** Сторонние силы, действующие внутри источника тока при перемещении электрического заряда в 5 Кл от одного полюса к другому, совершают работу, равную 10 Дж. Определите ЭДС источника.

Ответ: _____ В.

- 4** Какими формулами выражаются законы Ома для участка цепи и для полной цепи? К каждой позиции первого столбца подберите номер правильного ответа из второго столбца и запишите его в таблицу под соответствующей буквой.

ЗАКОНЫ

- А) законы Ома для участка цепи
Б) законы Ома для полной цепи

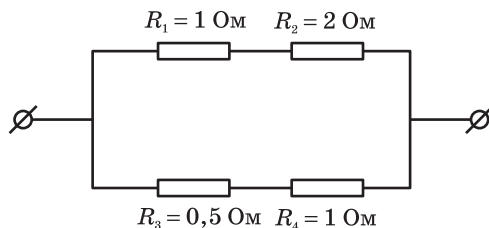
ФОРМУЛЫ

- 1) $R = \rho \frac{l}{S}$
2) $I = envS$
3) $Q = I^2 R t$
4) $I = \frac{U}{R}$
5) $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$

Ответ:

А	Б

- 5 По закону Джоуля – Ленца, максимальное количество тепла выделится на сопротивлении: *первом, втором, третьем, четвертом?* Ответ запишите словом.



Ответ: _____.

- 6 Добавление в качестве примеси фосфора к чистому полупроводнику германию приведёт к возникновению примесной проводимости: *n-типа, p-типа, не изменит проводимость германия?* Ответ запишите словами.

Ответ: _____.

- 7 Установите соответствие между носителями тока и классом веществ. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

НОСИТЕЛИ ТОКА

- А) металлы
Б) полупроводники

КЛАСС ВЕЩЕСТВ

- 1) положительно заряженные ионы
2) отрицательно заряженные ионы
3) положительно и отрицательно заряженные ионы
4) электроны и ионы
5) дырки и электроны
6) электроны

Ответ:

А	Б

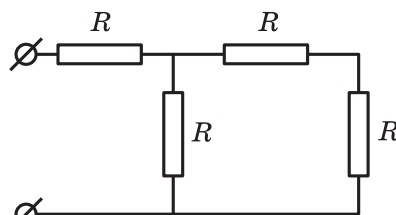
- 8 Каково сопротивление алюминиевой проволоки длиной 2 м, диаметром 1 мм? Удельное сопротивление алюминия $\rho = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Ответ: _____ Ом.

- 9 Каково сопротивление проводника из чистого металла при температуре 50°C , если его сопротивление при 0°C равно 10 Ом? Температурный коэффициент сопротивления проводника считать постоянным в этом интервале температур.

Ответ: _____ Ом.

- 10 Вычислите сопротивление цепи, изображенной на рисунке, выразив его в «единицах» R .



Ответ: _____ R .

- 11 Каково сопротивление нити лампы мощностью 60 Вт?

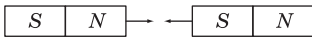
Ответ: _____ Ом.

3.3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

3.3.1. Механическое взаимодействие магнитов

Наряду с взаимодействием электрически заряженных тел с давних пор были обнаружены металлы, которые взаимодействуют между собой без электричества. Такие тела назывались *магнитами*, или постоянными магнитами. Магнит притягивает к себе большинство металлических предметов. Между собой же магниты взаимодействуют довольно необычно. Оказалось, что каждый магнит имеет два магнитных полюса — северный (*N*) и южный (*S*). Если поднести два магнита друг к другу одноимёнными полюсами, то они будут притягиваться, а если разноимёнными, то они будут отталкиваться. Причём, если разделить один магнит на две половины, то у каждой из половин будет свой северный и свой южный полюс. Иными словами, у магнитов не удаётся разделить северный и южный полюса — так, как разделяются отрицательный и положительный электрические заряды.

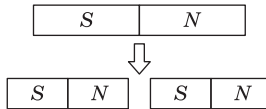
Разноимённые магнитные полюса притягиваются:



Одноимённые магнитные полюса отталкиваются:



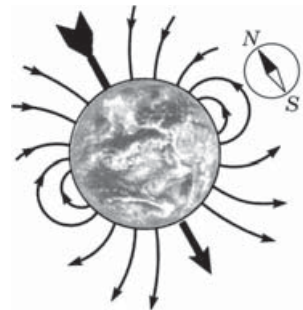
При делении магнита получаются магниты с обоими полюсами:



Постоянный магнит — это изделие из материала, являющегося автономным (самостоятельным, изолированным) источником постоянного магнитного поля.

Магнетизм вокруг нас

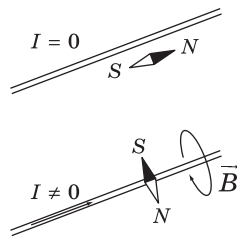
Наша планета Земля является большим магнитом. Южный магнитный полюс Земли находится вблизи Северного географического полюса Земли, а северный магнитный — вблизи Южного географического. Это позволило путешественникам использовать для ориентации магнитный прибор — **компас**, представляющий собой магнитную стрелку. Северный полюс этой стрелки притягивается к южному магнитному полюсу Земли и поэтому поворачивается в его направлении. Тем самым северный полюс стрелки указывает направление на Северный географический полюс Земли.



Магнитное поле — одна из форм материи (отличная от вещества), существующая в пространстве, окружающем постоянные магниты, проводники с током и движущиеся заряды. Магнитное поле вместе с электрическим полем образует единое электромагнитное поле.

3.3.2. Опыт Эрстеда. Магнитное поле

Физическое исследование магнитного поля началось с основополагающих опытов Эрстеда, в которых магнитная стрелка поворачивалась, если по проводнику, находящемуся рядом с ней, проходил электрический ток. Из этого опыта был сделан вывод, что магнитное поле порождается движущимися электрическими зарядами. Затем в опытах Ампера было обнаружено взаимодействие между близко расположенными проводниками в случае, когда по ним пропускался ток. Стало понятно, что магнитное поле не только создаётся, но и воздействует на электрические токи. Эти опыты привели к возникновению понятия *магнитного поля*.



Индукция магнитного поля

Магнитное поле — поле, которое оказывает силовое воздействие на токи, магниты и движущиеся заряженные частицы.

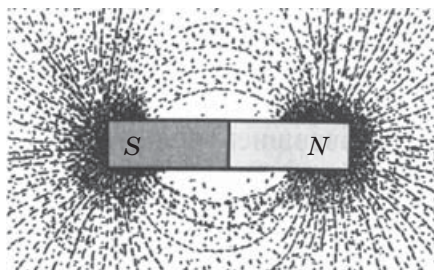
<p>Создаётся: токами; магнитами; движущимися зарядами.</p>	<p>Описывает магнитное взаимодействие, возникающее: между токами; между током и движущимся зарядом; между движущимися зарядами.</p>	<p>Действует на внесённые в него: токи; магниты; движущиеся заряды.</p>
---	--	--

Вектор магнитной индукции

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

Графически магнитное поле представляется с помощью *силовых линий*, которые проводятся так, что векторы индукции \vec{B} параллельны касательным к линиям, причём величина вектора \vec{B} определяется плотностью линий.

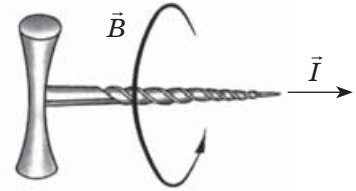
Линии магнитной индукции всегда образуют замкнутые кривые. В постоянных магнитах линии магнитного поля выходят из северного полюса и заходят в южный полюс, замыкаясь внутри магнита.



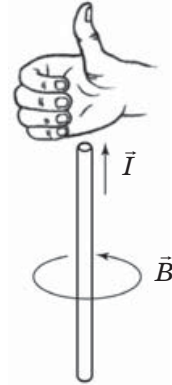
Поля, силовые линии которых замкнуты, называют *вихревыми полями*. Линии магнитной индукции являются замкнутыми, то есть магнитное поле — это вихревое поле, и это свидетельствует о том, что в природе нет магнитных зарядов. Этим оно отличается от электрического поля, создаваемого зарядами.

Общие правила для определения направления линий магнитного поля тока**Правило буравчика (правого винта)**

Направление силовых линий магнитного поля совпадает с направлением вращения буравчика (правого винта), который закручивают в направлении тока.

**Правило правой руки**

Если расположить пальцы правой руки так, как показано на рисунке, и направить большой палец по направлению тока, то остальные пальцы покажут направление линий магнитного поля.



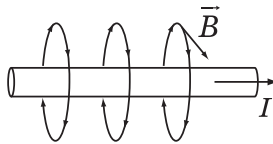
Не следует забывать, что за направление тока в проводнике выбрано направление движения положительных зарядов, и если носителями являются отрицательно заряженные электроны, то считается, что ток направлен навстречу движению электронов.

Если имеется несколько различных источников магнитного поля, векторы индукции которых в данной точке пространства равны $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3, \dots$ то, согласно *принципу суперпозиции полей*, индукция магнитного поля в этой точке равна сумме векторов индукции магнитных полей, создаваемых *каждым источником*:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots$$

Магнитные поля простейших систем токов

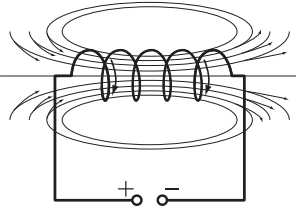
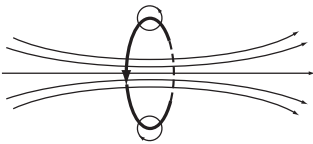
Бесконечно длинный проводник с током — силовые линии представляют собой концентрические окружности.



Поле *линейного* проводника с током вычисляется по простой формуле:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r},$$

где r — расстояние до проводника с током, I — величина тока, μ_0 — магнитная постоянная.

<p>Катушка с током (соленоид) — силовые линии замыкаются снаружи, проходя через плоскости витков; поле внутри катушки однородное. Такой соленоид создаёт магнитное поле, похожее на магнитное поле постоянного магнита.</p>		<p>Поле внутри соленоида:</p> $B = \frac{\mu_0 IN}{l},$ <p>где N — число витков, l — длина соленоида.</p>
<p>Виток с током — силовые линии замыкаются снаружи, проходя через плоскость витка.</p>		<p>Поле в центре витка с током:</p> $B = \frac{\mu_0 I}{2R},$ <p>R — радиус витка.</p>

Электромагнит

Виток с током и соленоид представляют собой примеры **электромагнитов** — устройств, с помощью которых можно искусственно создавать магнитные поля. Для улучшения магнитных свойств таких электромагнитов внутрь катушек помещают специальные *сердечники*, состоящие из магнитных материалов. Например, подковообразный постоянный магнит можно заменить подковообразным сердечником, на который намотана катушка. Такой электромагнит можно использовать в качестве «крана» для подъёма металлических изделий.

Соленоид — это проволочная спираль с током. Соленоид характеризуется числом витков на единицу длины n , длиной l и диаметром d . Толщина провода в соленоиде и шаг спирали (винтовой линии) малы по сравнению с его диаметром d и длиной l .

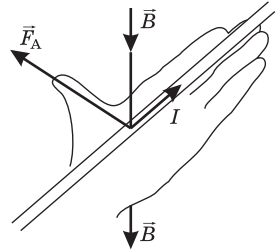
3.3.3. Сила Ампера, её направление и величина

Сила Ампера — сила, действующая со стороны магнитного поля на участок проводника с током:

$$F_A = I \cdot k \cdot \sin \alpha,$$

где I — сила тока, Δl — длина участка проводника, B — модуль вектора магнитной индукции, α — угол между вектором \vec{B} и направлением тока в проводнике. Вектор \vec{F}_A перпендикулярен к проводнику с током и вектору \vec{B} .

Направление \vec{F}_A определяется по правилу левой руки: если ладонь левой руки расположить так, чтобы в неё «входил» вектор \vec{B} , а четыре вытянутых пальца расположить по направлению тока в проводнике, то отогнутый большой палец покажет направление силы Ампера.



Модуль вектора магнитной индукции — отношение максимального значения модуля силы Ампера, действующей на прямолинейный проводник с током, к силе тока в проводнике и его длине (сила Ампера максимальна при $\alpha = 90^\circ$):

$$B = \frac{F_{\max}}{I \cdot \Delta l}, \quad [B] = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тл}.$$

Иными словами, индукция магнитного поля равняется 1 Тл, если максимальная сила, действующая на проводник длиной 1 м, равна 1 Н.

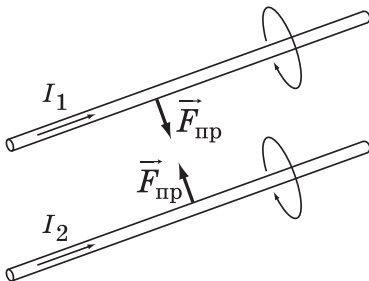
Взаимодействие двух проводников с током

Чтобы найти силу взаимодействия двух параллельных проводников с током, достаточно воспользоваться выражениями для поля линейного проводника с током и для величины силы Ампера. В результате получаем:

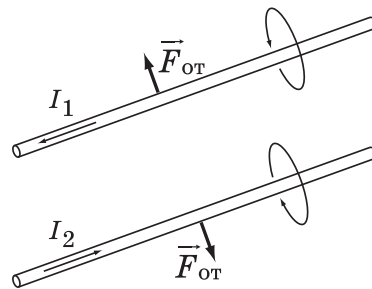
$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 l}{r},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$ — магнитная постоянная, связывающая между собой единицы измерения силы в механике и единицы измерения тока в электричестве; r — расстояние между проводниками; l — длина проводника.

Если найти направление силы взаимодействия проводников, то окажется, что если токи в проводниках текут в одну сторону, то такие проводники **притягиваются**.



Если токи текут в противоположных направлениях, то такие проводники **отталкиваются**.

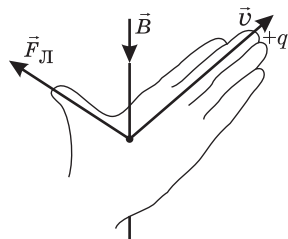


Это же явление используют для определения единицы измерения силы тока 1 Ампер: *если по обоим бесконечно длинным проводникам, находящимся на расстоянии 1 м, течёт ток величиной 1 А, то между ними действует сила величиной $2 \cdot 10^{-7}$ Н.*

3.3.4. Сила Лоренца

Сила Лоренца — сила, действующая со стороны магнитного поля на движущийся заряд: $F_{\text{Л}} = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$, где v — скорость заряда, B — модуль вектора магнитной индукции, α — угол между векторами \vec{B} и \vec{v} . Вектор $\vec{F}_{\text{Л}}$ перпендикулярен к векторам \vec{B} и \vec{v} .

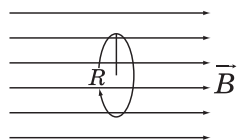
Направление $\vec{F}_{\text{Л}}$ определяется по **правилу левой руки**. Для положительного заряда четыре вытянутых пальца следует направить вдоль \vec{v} , для отрицательного заряда — в противоположном \vec{v} направлении.

**Движение заряженных частиц в магнитном поле**

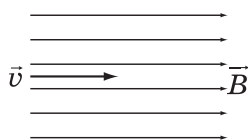
Заряженная частица влетает в однородное магнитное поле:

1) со скоростью \vec{v} перпендикулярно к линиям индукции магнитного поля \vec{B} : $\vec{v} \perp \vec{B}$, $\alpha = 90^\circ$, траектория движения — окружность радиусом:

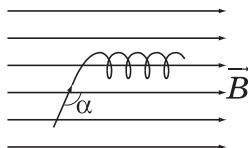
$$R_L = \frac{mv}{qB} \text{ (ларморовский радиус);}$$



2) со скоростью \vec{v} параллельно линиям индукции магнитного поля \vec{B} : $\vec{v} \parallel \vec{B}$, $\alpha = 0^\circ$, $\vec{F}_{\text{Л}} = 0$, траектория движения — прямая;



3) со скоростью \vec{v} под некоторым углом к линиям индукции магнитного поля \vec{B} , $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, траектория движения — винтовая линия.

**Вещество в магнитном поле**

Магнитная проницаемость — физическая величина, показывающая, во сколько раз индукция \vec{B} магнитного поля в однородной среде отличается по модулю от индукции \vec{B}_0 магнитного поля в вакууме:

$$\mu = \frac{B}{B_0},$$

где μ — коэффициент, характеризующий магнитные свойства среды.

Гипотеза Ампера

Магнитные свойства тела определяются микроскопическими электрическими токами внутри вещества. Если направления этих токов неупорядочены (токи разнонаправлены), то порождаемые этими токами магнитные поля компенсируют друг друга. Во внешнем магнитном поле происходит упорядочение этих токов — вещество намагничивается.

Классификация веществ по их магнитным свойствам

Слабромагнитные вещества	Сильномагнитные вещества
Диамагнетики , $\mu < 1$ (висмут $\mu = 0,999824$) Парамагнетики , $\mu > 1$ (платина $\mu = 1,00036$)	Ферромагнетики , $\mu \geq 1$ (железо, никель, кобальт)

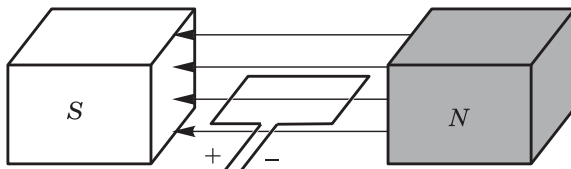
ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 3.3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Ответами к заданиям 1–10 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** Северный магнитный полюс Земли находится вблизи: *Северного географического полюса, Южного географического полюса, экватора*? Ответ запишите словами.

Ответ: _____ .

- 2** Будет ли поворачиваться рамка с током, изображённая на рисунке, и если да, то как? Выберите *два* верных утверждения.



- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1) по часовой стрелке на 90° | 4) по часовой стрелке на 45° |
| 2) не будет поворачиваться | 5) будет поворачиваться |
| 3) против часовой стрелки на 90° | |

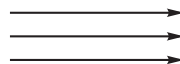
Ответ:

- 3** Протон и α -частица влетают в однородное магнитное поле. Скорость обеих частиц направлена перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. Каково отношение периода обращения протона к периоду обращения α -частицы?

Ответ: _____ .

4

К горизонтальному пучку положительных ионов сверху подносят магнит (см. рисунок). В какую сторону отклонится пучок: *вверх, вниз, от читателя, к читателю*? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: _____.

5

Электрон движется со скоростью 3000 км/с в однородном магнитном поле с магнитной индукцией 0,1 Тл. Направление скорости электрона и линий магнитной индукции составляют прямой угол. Определите силу, действующую на электрон.

Ответ: _____ Н.

6

Определите силу тока в проводе, помещённом в однородное магнитное поле индукцией 1 Тл, если на участок этого провода длиной 20 см действует сила 0,5 Н. Угол между направлением линий магнитной индукции и направлением тока равен 30° .

Ответ: _____ А.

7

Протон в магнитном поле с индукцией 0,01 Тл описывает окружность радиусом 10 см. Какова скорость протона? Заряд протона $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса $1,672 \cdot 10^{-27}$ кг.

Ответ: _____ м/с.

8

Магнитный поток через контур, площадью 30 см^2 равен 0,15 Вб. Плоскость контура перпендикулярна силовым линиям поля. Определите индукцию магнитного поля.

Ответ: _____ Тл.

9

На рисунках а и б показаны параллельные (направленные в одну сторону) и антипараллельные (направленные в противоположные стороны) токи (вид сверху). Как будут себя вести проводники с токами?



Для каждой пары токов определите соответствующий характер поведения:

1) притягиваться 2) отталкиваться 3) не будут взаимодействовать
Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ТОКИ	АНТИПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ТОКИ

3.4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

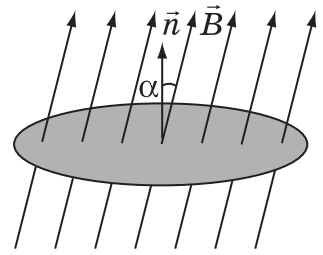
3.4.1. Поток вектора магнитной индукции

Магнитный поток (поток магнитной индукции) через площадку площадью S определяется по формуле:

$$\Phi = B_n \cdot S = B \cdot S \cdot \cos \alpha,$$

где $[\Phi] = \text{Тл} \cdot \text{м}^2 = \text{Вб}$,

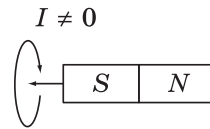
B_n — проекция вектора \vec{B} на нормаль \vec{n} к плоскости площадки, α — угол между \vec{B} и \vec{n} .



Магнитный поток пропорционален числу линий магнитной индукции, пронизывающих контур.

3.4.2. Явление электромагнитной индукции

Магнитное поле может воздействовать на электроны в проводниках и приводить их к направленному движению, т. е. создавать электрический ток. Такое явление называется *электромагнитной индукцией*.



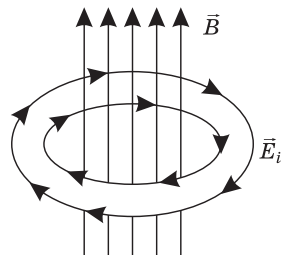
Электромагнитная индукция — явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре при изменениях магнитного потока, пронизывающего контур. **Индукционный ток** — ток, возникающий в результате электромагнитной индукции. Индукционный ток возникает, если двигать катушку или магнит так, чтобы менялось число линий магнитной индукции, пронизывающих замкнутый контур. Основная особенность этого явления: ток возникает **только при изменении** магнитного потока!

3.4.3. Закон электромагнитной индукции Фарадея

ЭДС индукции ε_i в замкнутом контуре равна модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:

$$\varepsilon_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|, \text{ с учётом правила Ленца } \varepsilon_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Вихревое электрическое поле *не связано* с электрическими зарядами, его линии напряжённости представляют собой *замкнутые линии*. Вихревое электрическое поле *не потенциальное*, т. е. работа сил вихревого электрического поля при движении электрического заряда по замкнутому контуру может быть отлична от нуля.



Вихревое электрическое поле — электрическое поле, возникающее при изменениях магнитного поля.

3.4.4. ЭДС индукции в движущихся проводниках

ЭДС индукции в проводниках, движущихся в постоянном магнитном поле, соответствует второму типу электромагнитной индукции, обусловленному не переменным внешним магнитным полем, а действием *сил Лоренца* на свободные заряды проводника.

ЭДС индукции, возникающая на концах проводника длиной l , движущегося с постоянной скоростью \vec{v} под некоторым углом α к вектору индукции \vec{B} однородного магнитного поля, равна:

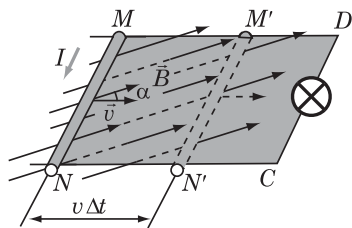
$$\varepsilon_i = \frac{A}{|q|} = \frac{F_{\text{Л}} \cdot l}{|q|} = \frac{|q| \cdot vBl \sin \alpha}{|q|} = vBl \sin \alpha,$$

где A — работа силы Лоренца по перемещению заряда q на пути l ,
 $F_{\text{Л}}$ — сила Лоренца, действующая на движущийся заряд.

Если такой проводник входит в состав замкнутой цепи, остальные части которой неподвижны, то в цепи возникает электрический ток. Сила тока равна:

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R + r} = \frac{vBl \sin \alpha}{R + r},$$

где R — сопротивление нагрузки (лампочки);
 r — сопротивление проводника, играющего роль внутреннего сопротивления источника тока (сопротивлением соединяющих проводников пренебрегаем).

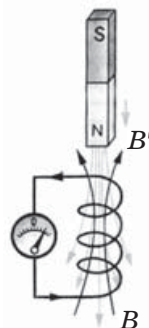


3.4.5. Правило Ленца

При сближении магнита и контура в контуре возникает индукционный ток I_i такого направления, что контур и магнит отталкиваются друг от друга.

Направление индукционного тока зависит:

- 1) от возрастания или убывания магнитного потока, пронизывающего контур;
- 2) от направления вектора индукции магнитного поля относительно контура.



Правило Ленца: индукционный ток своим магнитным полем противодействует изменению магнитного потока, которым он вызван.

3.4.6. Индуктивность. Самоиндукция. ЭДС самоиндукции

<p>Самоиндукция — явление возникновения ЭДС индукции в электрической цепи в результате изменения силы тока в этой цепи.</p>	<p>В соответствии с правилом Ленца ЭДС самоиндукции препятствует возрастанию силы тока при включении (замыкании) цепи и убыванию силы тока при её выключении (размыкании).</p>
<p>Индуктивность L — коэффициент пропорциональности между силой тока в контуре и магнитным потоком, создаваемым этим током:</p> $\Phi = L \cdot I, [L] = \frac{\text{Вб}}{\text{А}} = \text{Гн}.$	
<p>Величина L — характеристика контура, зависящая от его размеров и формы, а также от магнитной проницаемости среды.</p>	<p>Согласно закону электромагнитной индукции:</p> $\varepsilon_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$
<p>Индуктивность соленоида в воздухе</p>	$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l},$ <p>где l — длина, S — площадь поперечного сечения, N — число витков соленоида, μ_0 — магнитная постоянная.</p>

3.4.7. Энергия магнитного поля катушки с током

<p>Энергия магнитного поля катушки с током равна:</p> $W_m = \frac{LI^2}{2}, [W_m] = \text{Дж},$ <p>где L — индуктивность, I — сила тока.</p>

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 3.4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

<p>Ответами к заданиям 1–10 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.</p>
--

<p>1</p>	<p>Явление электромагнитной индукции <i>заключается и проявляется</i> в следующем:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) в изменении магнитного потока в контуре при движении последнего в магнитном поле 2) в повороте магнитной стрелки вдоль линий магнитной индукции 3) в возникновении электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур 4) в протекании тока в электрической цепи при подключении источника тока
-----------------	--

5) в загорании лампочки, впаянной в проволоочное кольцо, при надевании последнего на полосовой магнит

Выберите *два* правильных ответа из предложенного перечня.

Ответ: ☐ ☐

2

В какой-то момент времени переменное внешнее магнитное поле \vec{B} приводит к *увеличению* магнитного потока в замкнутом контуре, находящемся в этом поле. Это изменение магнитного потока индуцирует электрический ток, который, согласно правилу Ленца, индуцирует магнитное поле \vec{B}_1 . Как направлено индуцированное поле \vec{B}_1 по отношению к внешнему полю \vec{B} : *противоположно, параллельно, перпендикулярно*? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

3

В какой-то момент времени переменное внешнее магнитное поле \vec{B} приводит к *уменьшению* магнитного потока в замкнутом контуре, находящемся в этом поле. Это изменение магнитного потока индуцирует электрический ток, который, согласно правилу Ленца, индуцирует магнитное поле \vec{B}_1 . Как направлено индуцированное поле \vec{B}_1 по отношению к внешнему полю \vec{B} : *противоположно, параллельно, перпендикулярно*? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

4

Какими формулами выражаются основной закон электромагнитной индукции и ЭДС самоиндукции? К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

НАЗВАНИЕ

ФОРМУЛЫ

- А) закон электромагнитной индукции
Фарадея
Б) ЭДС самоиндукции

- 1) $E_i = \frac{-\Delta\Phi}{\Delta t}$
2) $B = \frac{F}{I\Delta l}$
3) $F = qB \sin \alpha$
4) $\Phi = B_n S$
5) $\varepsilon_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$

Ответ:

А	Б

5

Магнитный поток через контур проводника сопротивлением 0,05 Ом за 2 с изменился на 0,02 Вб. Определите силу тока в проводнике, возникшего вследствие этого.

Ответ: _____ А.

6

При изменении силы тока в катушке от 0 до 5А в течение 2 с в ней возникает ЭДС самоиндукции, равная 1 В. Чему равна индуктивность катушки?

Ответ: _____ Гн.

- 7 Определите энергию магнитного поля соленоида, число витков которого равно 500, площадь поперечного сечения 10 см^2 , а длина 0,2 м. Соленоид расположен в вакууме при токе 0,2 А. Ответ дайте в мкДж.

Ответ: _____ мкДж.

- 8 Найдите энергию магнитного поля внутри соленоида, число витков которого равно 500, площадь поперечного сечения 10 см^2 , а длина 0,2 м. Ток в соленоиде 0,2 А.

Ответ: _____ мкДж.

- 9 Изменяющееся во времени магнитное поле вызывает появление вихревого электрического поля, отличающегося от электростатического поля. Установите соответствие между типами полей и их свойствами. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

- А) вихревое электрическое поле
Б) электростатическое поле

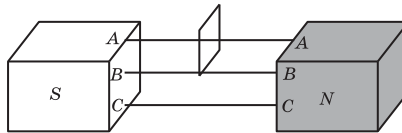
СВОЙСТВА ПОЛЕЙ

- 1) силовые линии поля начинаются и заканчиваются на неподвижных зарядах
2) поле связано исключительно с наличием проводников
3) силовые линии поля замкнуты

Ответ:

А	Б

- 10 Небольшая проволоочная прямоугольная рамка свободно падает в пространстве между полюсами электромагнита. Как направлен индукционный ток, возникающий в рамке, если смотреть из северного полюса магнита в направлении южного полюса S , когда середина рамки пересекает линии A и B ?



Для каждой линии определите соответствующее направление тока:

- 1) ток направлен по часовой стрелке
2) ток направлен против часовой стрелки
3) ток равен нулю

Запишите в таблицу выбранные номера ответов для каждой линии. Цифры могут повторяться.

ЛИНИЯ А	ЛИНИЯ В

3.5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

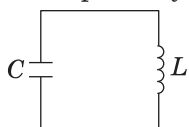
3.5.1. Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания

Механические и электромагнитные колебания подчиняются одинаковым количественным законам.

Механические величины	Электрические величины
Координата x Скорость v Масса m Жёсткость пружины k Потенциальная энергия $kx^2/2$ Кинетическая энергия $mv^2/2$	Заряд q Сила тока i Индуктивность L Величина, обратная ёмкости $1/C$ Энергия электрического поля $q^2/(2C)$ Энергия магнитного поля $Li^2/2$

Колебательный контур. Формула Томсона

Колебательный контур — система, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности, образующих замкнутую электрическую цепь.



Свободные электромагнитные колебания — периодически повторяющиеся изменения силы тока в катушке и напряжения между обкладками конденсатора без потребления энергии от внешних источников.

В колебательном контуре происходят свободные электромагнитные колебания с периодом, определяемым согласно формуле Томсона.

Формула Томсона:

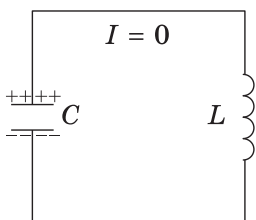
$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где T — период свободных колебаний, L — индуктивность катушки, C — ёмкость конденсатора.

Частота (количество колебаний за одну секунду) собственных колебаний контура равна:

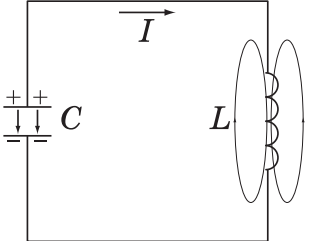
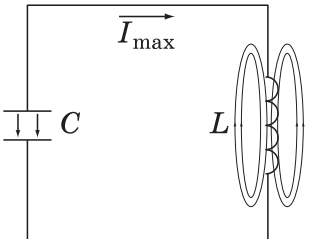
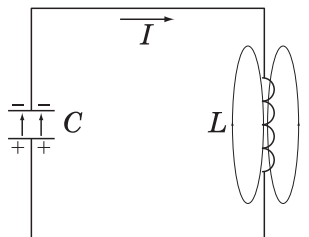
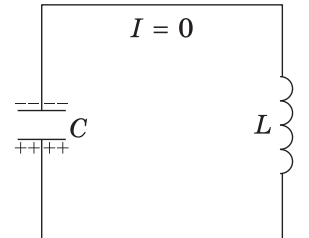
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Процессы в колебательном контуре



В начальный момент времени конденсатор заряжен.

Окончание таблицы

	<p>При замыкании цепи заряженного конденсатора в катушке возникает ток. За счёт самоиндукции сила тока возрастает <i>медленно</i>, вначале практически линейно.</p>
	<p>К моменту полной разрядки конденсатора сила тока достигает максимальной величины.</p>
	<p>Сила тока начинает постепенно убывать, но ток течёт в ту же сторону, перезаряжая конденсатор.</p>
	<p>Состояние системы через половину периода. Конденсатор заряжен противоположными зарядами. Ток равен нулю.</p>

Колебания тока и напряжений в контуре

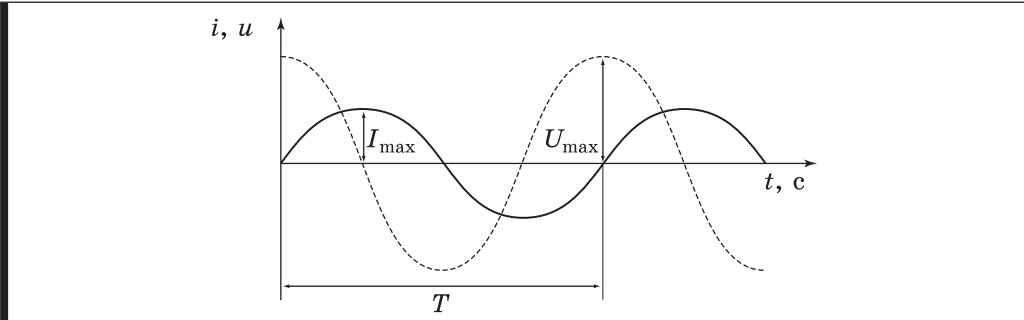
Электромагнитные колебания в колебательном контуре описывают с помощью формул, характеризующих периодические изменения электрического заряда, силы тока и напряжения:

$$q = q_{\max} \cos \omega t,$$

$$i = -\omega q_{\max} \sin \omega t = -I_{\max} \sin \omega t,$$

$$u = \frac{q_{\max}}{C} \cos \omega t = U_{\max} \cos \omega t.$$

Здесь $\omega = \frac{2\pi}{T}$ — круговая (циклическая) частота колебаний, а q_{\max} , I_{\max} и U_{\max} — максимальные значения (амплитуды) заряда, тока и напряжения.

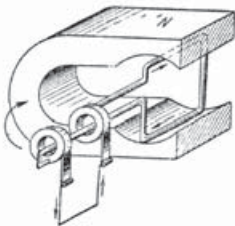


3.5.2. Закон сохранения энергии в колебательном контуре

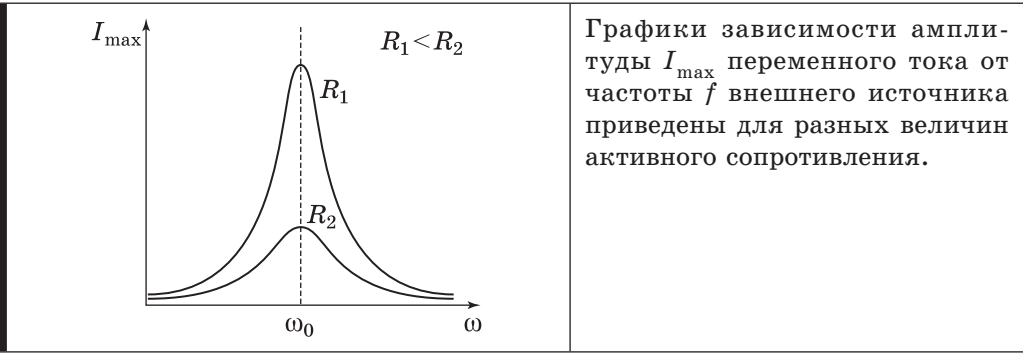
Сохранение энергии в колебательном контуре	
В колебательном контуре происходят периодические превращения энергии электрического поля конденсатора в энергию магнитного поля катушки индуктивности и обратно.	
При отсутствии потерь на нагревание и излучение энергия в контуре сохраняется: $W = W_c + W_L = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \text{const}$	Из этого соотношения выводится связь для амплитуд (максимальных значений) тока и напряжения: $\frac{CU_{\text{max}}^2}{2} = \frac{LI_{\text{max}}^2}{2}.$

3.5.3. Вынужденные электромагнитные колебания. Резонанс

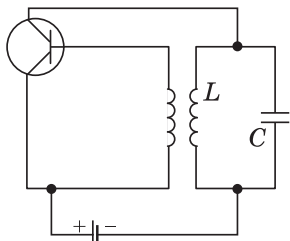
<p>Резонанс в цепи переменного тока. Как и в случае механических колебаний, вынужденные электромагнитные колебания проявляются при наличии внешней периодически изменяющейся силы. Такие колебания проявляются, например, при наличии в цепи периодической электродвижущей силы. Переменная ЭДС индукции возникает в проволочной рамке из нескольких витков, вращающейся в поле постоянного магнита. При этом магнитный поток, пронизывающий рамку, периодически меняется. В соответствии с законом электромагнитной индукции периодически меняется и возникающая ЭДС индукции. Если рамку замкнуть на гальванометр, его стрелка начнёт колебаться около положения равновесия, показывая, что в цепи идёт переменный ток. Отличительной особенностью вынужденных колебаний является зависимость их амплитуды от частоты изменения внешней силы.</p>	
Резонанс в цепи переменного тока — резкое возрастание амплитуды колебаний силы тока при совпадении частоты внешнего напряжения и частоты собственных колебаний контура.	<p>Условие резонанса:</p> $f_{\text{внеш}} \approx f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$



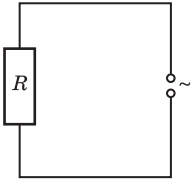
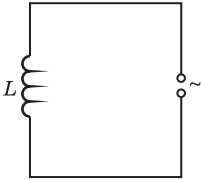
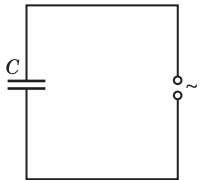
Окончание таблицы



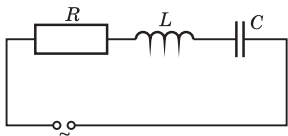
3.5.4. Переменный ток. Производство, передача и потребление электрической энергии

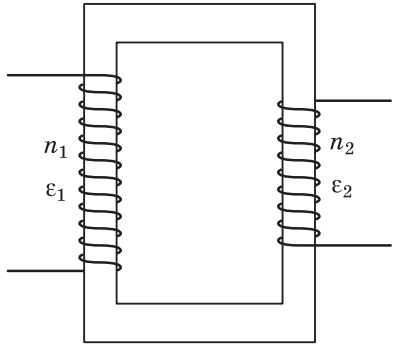
Переменный электрический ток — ток, величина и направление которого зависят от времени.	
Ток низкой частоты получают с помощью индукционного электрогенератора.	Ток высокой частоты получают с помощью генератора на транзисторе.
Генератор электромагнитных колебаний на основе транзистора	
	Незатухающие колебания являются идеализированными. На самом деле из-за излучения электромагнитных волн и потерь на нагрев проводников колебания в контуре будут <i>затухающими</i> . Для создания незатухающих колебаний используется генератор электромагнитных колебаний, работающий как автоколебательная система .
Транзистор играет роль устройства, которое регулирует поступление энергии от источника.	Обратная связь — индуктивная связь катушки колебательного контура с катушкой в цепи эмиттер — база транзистора.

Электрическая цепь переменного тока	
Действующее значение силы тока — это сила постоянного тока, выделяющего в проводнике такое же количество теплоты, как и переменный ток за то же время. Аналогично определяется и действующее значение напряжения.	В случае гармонических колебаний тока связь амплитуд и действующих значений тока и напряжения имеет вид $I_{\text{д}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}, \quad U_{\text{д}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}.$
Закон Ома для электрических цепей переменного тока Закон Ома справедлив для мгновенных значений переменного тока.	

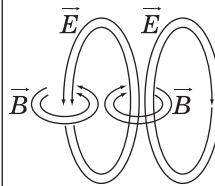
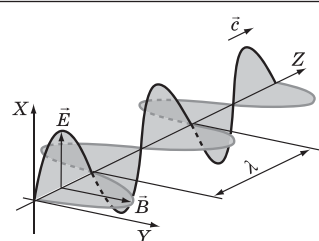
Активное сопротивление	
Обычное сопротивление в цепи переменного тока ведёт себя так же, как и в цепи постоянного тока — на нём создаётся падение напряжения, и электрическая энергия переходит в джоулево тепло. Такое сопротивление называется <i>активным</i> .	
Колебания напряжения и силы тока совпадают по фазе. Если $u = U_{\max} \cos \omega t$, то $i = I_{\max} \cos \omega t$.	
Мощность переменного тока (средняя за период), выделяющаяся на активном сопротивлении, равна	$P = \frac{I_{\max} U_{\max}}{2}$
Индуктивное сопротивление	
В катушке индуктивности в цепи переменного тока вследствие электромагнитной индукции наводится ЭДС, препятствующая изменению тока в цепи. Поэтому индуктивность сглаживает резкие изменения тока. Таким образом, чем больше частота тока, тем большим сопротивлением обладает данная катушка.	
Для постоянного тока катушка не является сопротивлением. Колебания напряжения опережают по фазе колебания силы тока на четверть периода. Если $i = I_{\max} \cos \omega t$, то	
$u = U_{\max} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = -U_{\max} \sin \omega t.$	
Связь между амплитудами: $I_{\max} = \frac{U_{\max}}{X_L}$. Величина $X_L = \omega L$ называется <i>индуктивным сопротивлением</i> .	
Ёмкостное сопротивление	
Конденсатор не проводит постоянный ток. Для переменного тока конденсатор является сопротивлением, в том смысле, что он влияет на связь между амплитудами тока и напряжения в цепи. Это влияние обусловлено ЭДС, возникающей на конденсаторе при его зарядке.	
Колебания напряжения отстают по фазе от колебаний силы тока на четверть периода. Если $i = I_{\max} \cos \omega t$, то	
$u = U_{\max} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = U_{\max} \sin \omega t.$	
Связь между амплитудами: $I_{\max} = \frac{U_{\max}}{X_C}$. Величина $X_C = \frac{1}{\omega C}$ — <i>ёмкостное сопротивление</i> .	

Окончание таблицы

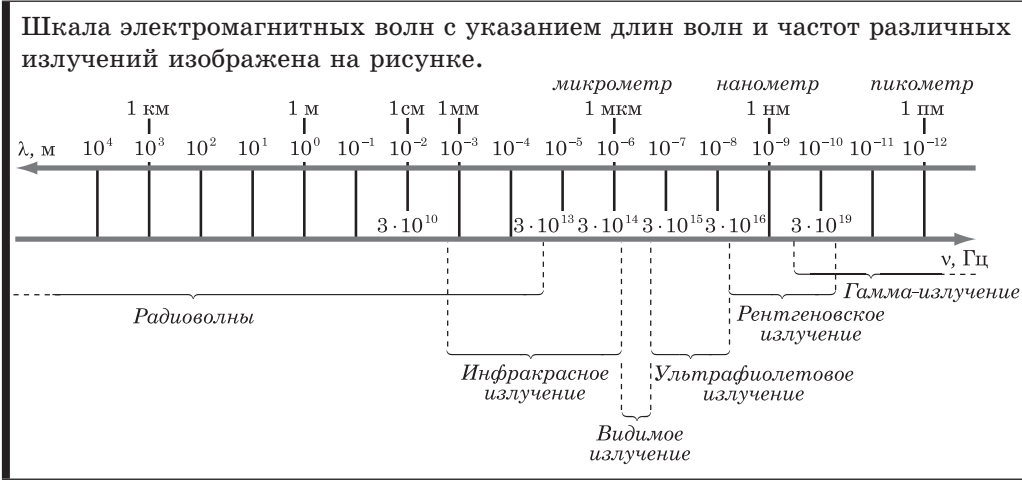
Индуктивное и ёмкостное сопротивления носят названия «реактивные сопротивления».	
Полное сопротивление цепи переменного тока	
<p>Полное сопротивление цепи переменного тока содержит как активные, так и реактивные сопротивления и зависит от частоты:</p> $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2},$ <p>где R — активное сопротивление,</p> $X_L = \omega L, X_C = \frac{1}{\omega C} \text{ — реактивное сопротивление.}$	
Электромагнитные явления широко используются в современной технике при генерации и преобразовании электрического тока в измерительных приборах и в электродвигателях.	
<p>Электродвигатель</p> <p>В электродвигателях используется сила Ампера, действующая со стороны магнитного поля на проводник с постоянным током. Простейшей моделью электродвигателя служит рамка с током, которая помещена в магнитное поле постоянного магнита. На противоположные стороны рамки действуют силы Ампера противоположного направления, поэтому рамка начинает вращаться. Наряду с постоянными магнитами в электродвигателях используются также электромагниты. Двигатели могут также работать на переменном токе.</p>	<p>Электрогенератор</p> <p>Если рамку вращать в поле магнита, то наблюдается обратный эффект: в рамке генерируется ток. Это явление — явление электромагнитной индукции — используется в <i>генераторах</i> электрического тока. При вращении рамки в магнитном поле магнитный поток в рамке будет постоянно меняться. Это приведёт к возникновению напряжения индукции, которое будет меняться со временем. Такое напряжение называется переменным напряжением, а ток — <i>переменным током</i>.</p>
<p>Электрогенераторы устанавливаются на электростанциях, где они приводятся в действие различными силами. На <i>гидроэлектростанциях</i> генераторы приводятся во вращение силой падающей с высоты воды. На <i>атомных</i> электростанциях генераторы вращаются <i>паровыми турбинами</i>, использующими энергию пара, нагретого за счёт энергии реакций деления ядер. На теплоэлектростанциях генераторы вращаются паровыми турбинами, использующими энергию пара, нагретого за счёт сгорания ископаемых топлив (уголь, газ, мазут). На <i>приливных</i> электростанциях используется энергия морских приливов, а на <i>ветряных</i> — энергия ветра.</p>	
<p>Для дальнейшей передачи электроэнергии потребителю необходимо преобразовать полученный на генераторе электрический ток. Для этой цели служат <i>трансформаторы</i>.</p>	

<p>Трансформатор — устройство для преобразования напряжения переменного тока, состоящее из <i>двух катушек (обмоток)</i> на <i>общем</i> ферромагнитном сердечнике. Трансформаторы используются для <i>повышения</i> напряжения при <i>передаче</i> электроэнергии по линиям электропередач и для <i>понижения</i> напряжения при <i>распределении</i> электроэнергии потребителям.</p>	
<p>Отношение количества витков в обмотках называется коэффициентом трансформации:</p>	$k = \frac{n_1}{n_2}$
<p>Сердечник концентрирует магнитное поле так, что все витки первичной и вторичной обмоток пронизываются практически одинаковым переменным магнитным потоком. Следовательно, в каждом витке наводится одинаковая ЭДС индукции:</p> $\frac{U_1}{U_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{n_1}{n_2} = k .$ <p>Если $k > 1$, то трансформатор <i>понижающий</i>, если $k < 1$ — трансформатор <i>повышающий</i>.</p>	

3.5.5. Электромагнитные волны

<p>Электромагнитная волна — процесс распространения переменных магнитного и электрического полей.</p>		
<p>Согласно закону об электромагнитной индукции, изменяющееся магнитное поле создаёт вихревое электрическое поле. Это электрическое поле тоже будет переменным и так же, как переменное поле движущихся зарядов, будет создавать магнитное поле. Такие взаимные превращения электрического и магнитного полей приводят к распространению в пространстве электромагнитного поля.</p>		
<p>Свойства электромагнитных волн</p>		
<p>1) излучаются ускоренно движущимися электрическими зарядами; 2) являются поперечными: $\vec{E} \perp \vec{v}$ и $\vec{B} \perp \vec{v}$ (\vec{v} — вектор скорости движения волны); 3) поглощаются; 4) преломляются; 5) отражаются.</p>		

3.5.6. Шкала электромагнитных волн. Применение электромагнитных волн

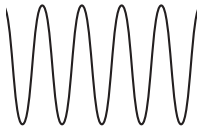


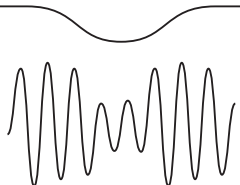
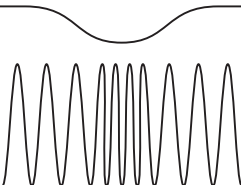
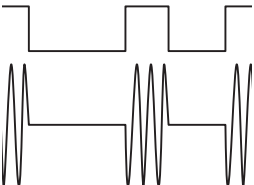
Виды излучений
Тепловое излучение — излучение, которое испускают атомы за счёт энергии теплового движения (лампы накаливания).
Электролюминесценция — излучение, возникающее при прохождении электрического разряда в газе (Северное сияние).
Катодолюминесценция — свечение твёрдых тел вследствие бомбардировки электронными пучками (экран телевизора).
Хемилюминесценция — свечение холодных тел вследствие химических реакций (светлячки).
Фотолюминесценция — свечение тел под действием падающего на них света.

Влияние электромагнитных излучений на живые организмы
Рассмотрим влияние на живые организмы прежде всего волн с самой большой энергией (или с самыми короткими длинами волн).
1. <i>Кванты электромагнитного излучения</i> (γ -кванты), летящие из космоса (космические лучи). Очень вредны для здоровья людей. Практически полностью поглощаются в атмосфере. Требуется дополнительная защита космических аппаратов и самолётов от этих лучей.
2. <i>Гамма-излучение</i> . Кванты из радиоактивных и рентгеновских источников обладают сильной ионизирующей способностью. Они ионизируют биологические молекулы и тем самым нарушают их деятельность, приводя к онкологическим заболеваниям. Требуется строгое соблюдение всех правил поведения с источниками ионизирующего излучения и разумное количество рентгеновских медицинских исследований.

Окончание таблицы

3. <i>Ультрафиолетовое излучение.</i> В больших дозах может вызвать болезни кожи и глаз человека. В малых дозах необходимо человеку для поддержания жизнедеятельности. Используется для дезинфекции больничных помещений.
4. <i>Инфракрасное излучение.</i> Приводит к согревающему эффекту, вплоть до возможных тепловых ударов.
5. <i>Радиоизлучение волн различной длины.</i> Некоторые радиоволны безусловно вредны для человека. Например, микроволновое излучение сильно нагревает воду, которая находится в биологических тканях. Этот эффект используется для приготовления пищи в микроволновых (СВЧ) печах. Поскольку это излучение опасно для человека, нужно аккуратно пользоваться такими печами. О влиянии на человека волн диапазона мобильной связи до сих пор ведутся научные споры, проводятся исследования, и однозначный ответ отсутствует.

Принципы радиосвязи и телевидения	
С помощью радиоволн можно передавать информацию. Для этого их необходимо каким-либо образом <i>модулировать</i> . Обычная синусоидальная волна не несёт информации, поэтому её изменяют в соответствии с тем сигналом, который нужно передать.	Сигнал не несёт информации 

Модуляция бывает <i>амплитудной, частотной, фазовой</i> — в зависимости от того, какой параметр волны несёт информацию. С помощью высокочастотных волн возможна также передача дискретных сигналов, которые используются в компьютерных сетях.		
Амплитудная модуляция	Частотная модуляция	Модуляция дискретными сигналами
		

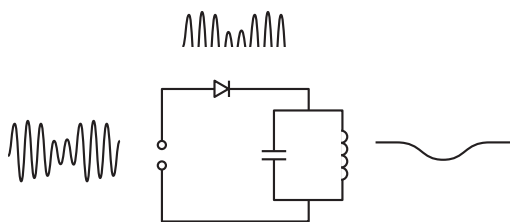
Распространение радиоволн		
Длинные и средние волны ($\lambda > 100$ м) распространяются на большие расстояния, так как способны огибать выпуклую поверхность Земли за счёт дифракции и рефракции.	Короткие волны ($10\text{ м} < \lambda < 100\text{ м}$) распространяются на большие расстояния благодаря способности многократно отражаться от ионосферы.	Ультракороткие волны ($\lambda < 10$ м) распространяются в пределах прямой видимости антенны передатчика.

Окончание таблицы

Модулированная волна передаётся радиопередатчиком и может быть принята соответствующим приёмником.

Принятый радиосигнал нужно *демодулировать*, т. е. выделить в нём полезный сигнал. Для этой цели служат детекторы.

Детектор — устройство, преобразующее модулированные высокочастотные (ВЧ) колебания в низкочастотные (НЧ). Простейший детектор состоит из диода, который выпрямляет ток, и колебательного контура, играющего роль фильтра сигнала определённой частоты.



Диод выпрямляет ток.

Контур сглаживает сигнал.

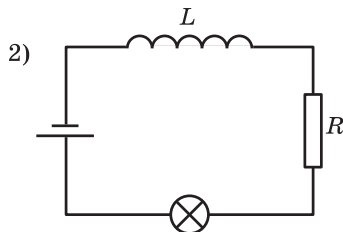
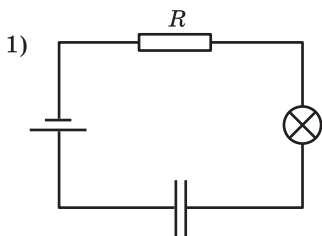
На аналогичном принципе передачи модулированных сигналов основана передача видеосигналов в телевидении. Различие лишь в том, что для передачи качественного видеосигнала необходимо передать гораздо большее количество информации, чем при передаче звука. В этой связи основные телепрограммы транслируются в диапазоне УКВ (ультракоротких волн). Однако поскольку эти волны распространяются только в пределах прямой видимости, для телевизионных передатчиков сооружают высокие антенны или используют космические спутники (спутниковое телевидение).

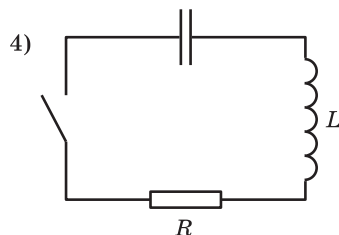
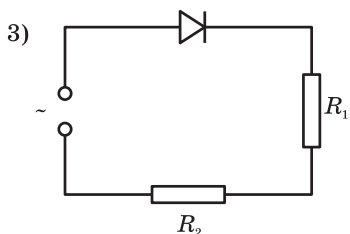
Телевидение [*теле* + лат. *visio*] — букв.: далековидение, представляет собой передачу на расстояние изображений с помощью электромагнитных волн.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 3.5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Ответами к заданиям 1–9 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** На каком из приведённых ниже рисунков изображён колебательный контур: *первом, втором, третьем, четвёртом*? В ответе укажите номер.





Ответ: _____ .

2

В электрическом колебательном контуре колеблющимися величинами являются

- | | |
|--------------------------|--|
| 1) заряд конденсатора | 4) сопротивление проводов |
| 2) индуктивность катушки | 5) полная энергия электромагнитного поля контура |
| 3) ёмкость конденсатора | 6) сила тока |

Выберите *два* правильных ответа из предложенного перечня.

Ответ: ☐ ☐

3

Свободные колебания *определяются и проявляются* как

- 1) периодически изменяющиеся характеристики системы
- 2) колебания, совершаемые в электрическом колебательном контуре при $R = 0$
- 3) колебания ветвей деревьев на ветру
- 4) приливы и отливы рек и морей
- 5) колебания системы, совершающиеся только за счёт первоначально сообщённой энергии при отсутствии внешних воздействий

Выберите *два* правильных ответа из предложенного перечня.

Ответ: ☐ ☐

4

Как изменится период свободных колебаний в электрическом колебательном контуре, если пластины конденсатора раздвинуть: *уменьшится, увеличится, не изменится*? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____ .

5

Частота электрических колебаний в колебательном контуре при введении железного сердечника в катушку индуктивности: *уменьшится, увеличится, не изменится*? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____ .

6

В цепи переменного тока между током и напряжением на активном сопротивлении **имеется** или **не имеется** сдвиг фаз? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____ .

7

Ёмкостное сопротивление цепи переменного тока, X_C , после уменьшений ёмкости конденсатора в два раза, и частоты генерируемого тока в 4 раза, стало X_{C1} . Найдите отношение X_{C1}/X_C .

Ответ: _____ .

- 8** Как меняется резонансная частота колебаний и амплитуда тока на частоте резонанса электрического колебательного контура при увеличении активного сопротивления контура? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1) увеличится 2) уменьшится 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

РЕЗОНАНСНАЯ ЧАСТОТА	АМПЛИТУДА

- 9** Индуктивность электрического колебательного контура соответствует в механической колебательной системе: *координате, скорости, массе тела, жёсткости пружины*? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

Ответами к заданиям 10–12 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

- 10** Сколько колебаний происходит в электромагнитной волне с длиной волны 30 м в течение одного периода звуковых колебаний с частотой 200 Гц?

Ответ: _____ .

- 11** Зная уравнение изменения со временем разности потенциалов на обкладках конденсатора $U = 50 \cos 10^4 \pi t$ В, найти длину волны, соответствующую этому контуру.

Ответ: _____ м.

- 12** Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью $C = 0,9$ нФ и катушки с индуктивностью $L = 0,002$ Гн. На какую длину волны настроен контур?

Ответ: _____ м.

3.6. ОПТИКА

3.6.1. Прямолинейное распространение света в однородной среде.

Луч света

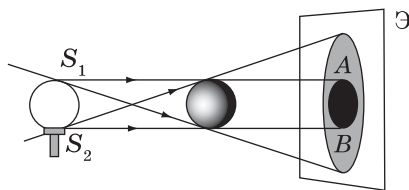
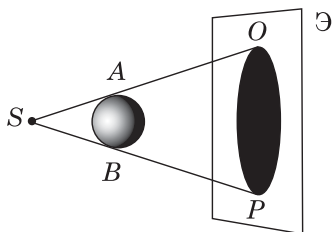
Геометрическая оптика — раздел физики, изучающий законы распространения света на основе представления о световых лучах:

1. Прямолинейность распространения света в однородной среде.
2. Независимость распространения световых лучей.

Световой луч — линия, вдоль которой распространяется энергия световых электромагнитных волн.

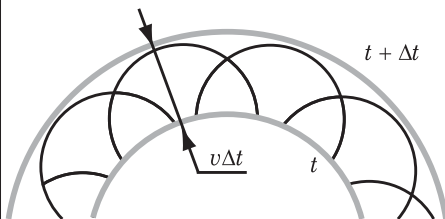
Тень. Одним из доказательств прямолинейного распространения света является образование тени при освещении предмета точечным источником света. Если бы лучи распространялись не прямолинейно, а, скажем, огибали предмет, тень могла бы не образоваться.

Полутень. Благодаря всё тому же прямолинейному распространению света от источника больших размеров (сравнимых с размерами предмета и расстоянием до него и до экрана) образуются тень и полутень. Тень (чёрный круг на рисунке) образуется в том месте на экране Э, куда не доходят лучи ни от одной из точек источника. Полутень (серый круг на рисунке) образуется в местах, куда доходят лучи только от некоторых точек источника (протяжённый источник света всегда можно представить себе состоящим из множества точечных источников).



Принцип Гюйгенса — Френеля — основной постулат волновой теории, описывающий и объясняющий механизм распространения волн, в частности световых.

Принцип Гюйгенса. Согласно принципу Гюйгенса каждая точка среды, до которой дошло световое возмущение, является, в свою очередь, центром вторичных волн; поверхность, огибающая в некоторый момент времени эти вторичные волны, указывает положение к этому моменту фронта действительно распространяющейся волны.

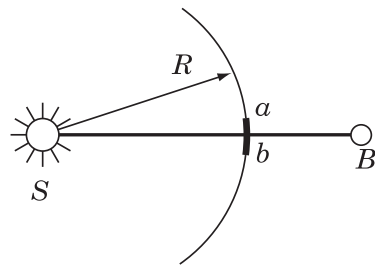


Окончание таблицы

Для того чтобы, зная положение волновой поверхности в момент времени t , найти её положение в следующий момент времени $t + \Delta t$, нужно каждую точку волновой поверхности рассматривать как источник вторичных волн. Поверхность, касательная ко всем вторичным волнам, представляет собой волновую поверхность в следующий момент времени.

О. Френель объединил принцип Гюйгенса с идеей интерференции вторичных волн. Согласно идее Френеля, волновая поверхность в любой момент времени представляет собой не просто огибающую вторичных волн, а результат их интерференции. Для того чтобы вычислить амплитуду световой волны в любой точке пространства, надо мысленно окружить источник света сферической поверхностью. Интерференция волн от вторичных источников, расположенных на этой поверхности, определяет амплитуду в рассматриваемой точке пространства.

Такого рода расчёты показали, что результат интерференции вторичных волн в точке B от источников, расположенных на сферической поверхности радиуса R , оказывается таким, как если бы лишь вторичные источники на малом сферическом сегменте ab посылали свет в точку B . Вторичные волны, испускаемые источниками, расположенными на остальной части поверхности, гасят друг друга в результате интерференции. Поэтому всё происходит так, как если бы свет распространялся лишь вдоль прямой SB , то есть прямолинейно. Этот принцип справедлив для распространения волн любой природы, хотя Гюйгенсом он был сформулирован именно для световых волн.



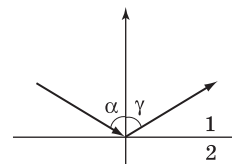
3.6.2. Законы отражения света

Отражение света — явление, возникающее на границе двух сред. Состоит в том, что часть света, падающего на границу двух сред, не проходит во вторую среду, а возвращается в первую.

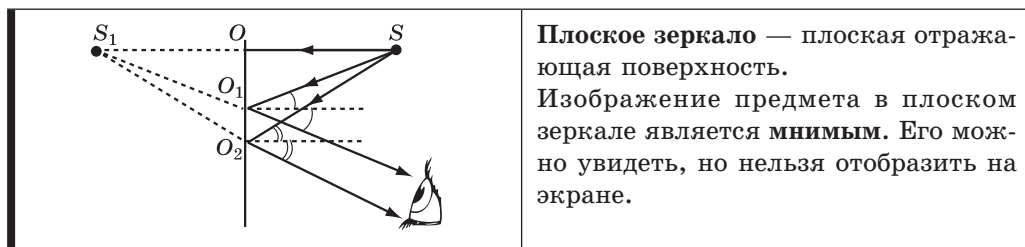
Закон отражения: луч падающий, отражённый луч и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости, угол отражения равен углу падения:

$$\alpha = \gamma.$$

Внимание! Угол падения и угол отражения отсчитываются от нормали.



3.6.3. Построение изображений в плоском зеркале



3.6.4. Закон преломления света

<p>Преломление света — явление, возникающее на границе двух сред. Состоит в том, что часть света, падающего на границу двух сред, проходит во вторую среду, при этом изменяется направление движения луча.</p>	
<p>Закон преломления: <i>луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к границе раздела двух сред лежат в одной плоскости, причём отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред — относительный показатель преломления n_{21}:</i></p> $n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$	
<p>Внимание! Углы падения, отражения и преломления отсчитываются от нормали, проведённой к границе раздела.</p>	
<p>Относительный показатель преломления равен отношению скоростей света в данных средах:</p> $n_{21} = \frac{v_1}{v_2}.$	<p>Абсолютный показатель преломления — показатель преломления относительно вакуума, определяющий, во сколько раз скорость света в данной среде меньше скорости света в вакууме:</p> $n = \frac{c}{v}.$

Оптическая плотность среды	
<p>Луч из оптически более плотной среды переходит в оптически менее плотную среду, т. е.</p> $n_1 > n_2, \alpha < \beta.$	<p>Луч из оптически менее плотной среды переходит в оптически более плотную среду, т. е.</p> $n_1 < n_2, \alpha > \beta.$

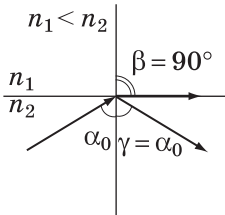
3.6.5. Полное внутреннее отражение

Предельный угол полного отражения α_0 — угол падения, при котором наступает полное отражение света:

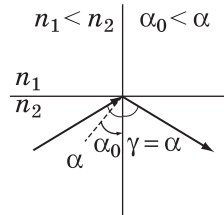
$$\alpha_0 = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad \text{где } n_1 > n_2.$$

Если луч из оптически более плотной среды переходит в оптически менее плотную среду, то при углах падения $\alpha \geq \alpha_0$ падающий свет полностью отражается внутрь более плотной среды.

Угол равен критическому углу



Угол больше критического

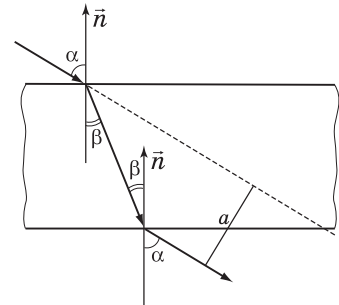


Строго говоря, *вдали* от границы существуют только падающий и отражённый лучи и не существует прошедшего луча.

Прохождение света через плоско-параллельную пластину

При прохождении через плоско-параллельную пластину луч света дважды преломляется. Из построения хода луча видно, что луч смещается в сторону, но направление его движения не изменяется. Величина смещения определяется углом между пластиной и направлением движения луча.

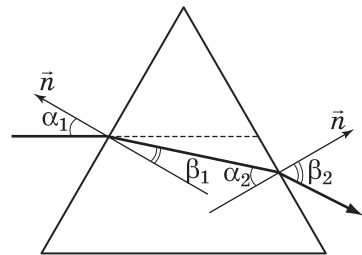
Величина a — смещение луча после прохождения плоско-параллельной пластины.



Прохождение света через треугольную призму

При прохождении через призму свет дважды преломляется на границах и может один раз отразиться от стенки призмы. Если нет полного внутреннего отражения, то луч света после выхода из призмы «поворачивает» к основанию призмы.

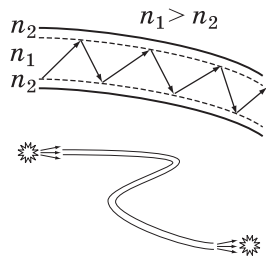
При полном отражении (или зеркальном слое на поверхности призмы) сохраняется расстояние между различными лучами светового пучка. Следовательно, призма поворачивает пучок света, не искажая изображения.



Волоконная оптика

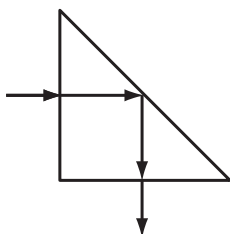
Благодаря полному внутреннему отражению свет может распространяться в *световодах*! Световод представляет собой прозрачное волокно, более плотное у поверхности. Вследствие этого свет, отражаясь от внутренней поверхности, всё время возвращается в световод и не выходит наружу. Таким образом, свет распространяется вдоль световода, повторяя все его изгибы, и даже может вернуться назад — к источнику. Волоконно-оптический кабель состоит из большого количества волокон, по каждому из которых проходит свет. Это позволяет передавать изображения по кабелю.

Использование волоконной оптики позволяет увеличить *объёмы* и *скорость* передаваемой информации в десятки раз по сравнению с обычными способами, при которых используются провода или радиоволны. Поэтому основные объёмы данных, например в Интернете, передаются по волоконным оптическим системам.

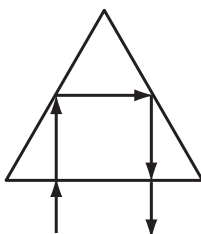


Призмы применяются в различных оптических приборах

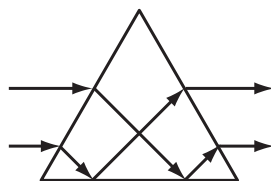
Перископы



Отражатели

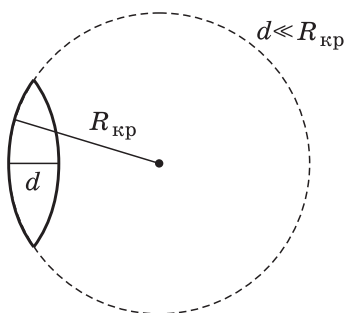


Бинокли

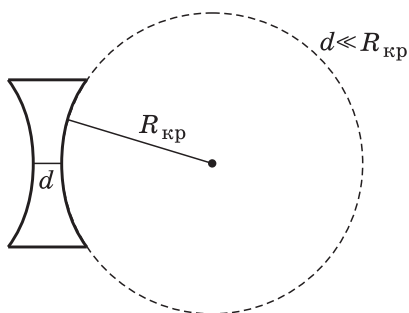


3.6.6. Собирающие и рассеивающие линзы

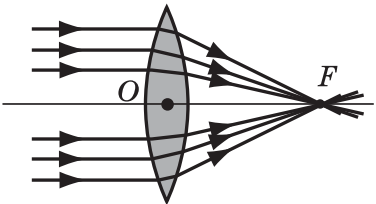
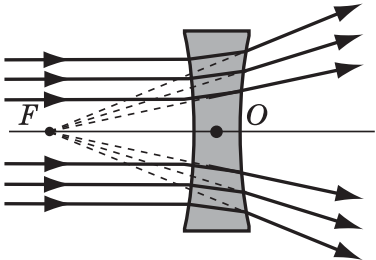


Линза — прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.



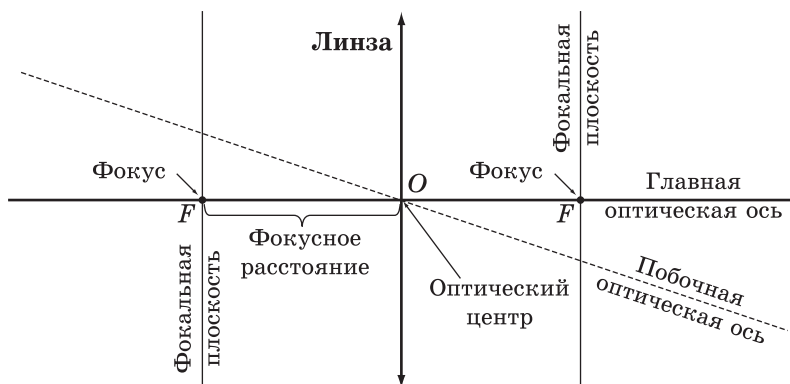
Линза называется **тонкой**, если её толщина мала по сравнению с радиусами кривизны поверхности.



Окончание таблицы

<p>Собирающая линза (оптический центр находится в самом толстом месте линзы). Лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси, после прохождения линзы собираются в её фокусе.</p>	<p>Рассеивающая линза (оптический центр находится в самом тонком месте линзы). Лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси, после прохождения линзы идут так, что их продолжения проходят через фокус, расположенный с той стороны линзы, откуда падают лучи.</p>
	
<p>Обозначение на схемах</p> 	<p>Обозначение на схемах</p> 

Основные элементы линзы



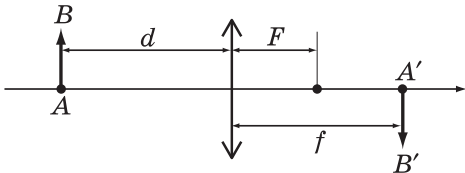
Главная оптическая ось — прямая, проходящая через центры сферических поверхностей линзы.

Оптический центр — пересечение главной оптической оси с линзой.

Побочная оптическая ось — любая прямая, проходящая через оптический центр.

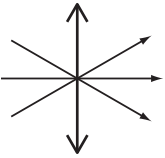
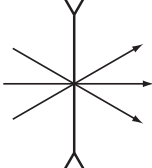
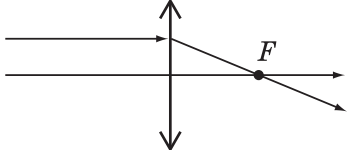
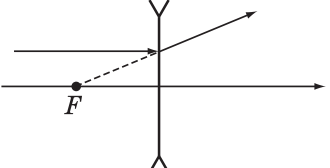
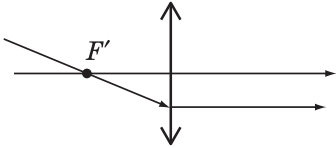
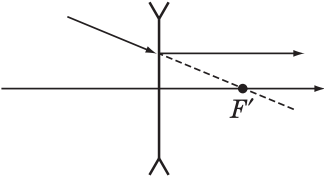
Фокус — точка, в которой после преломления собираются все лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси.	
Фокусное расстояние — расстояние от линзы до её фокуса.	
Оптическая сила линзы — величина, обратная фокусному расстоянию.	$D = \frac{1}{F}$
Фокальная плоскость — плоскость, проведённая через фокус перпендикулярно к главной оси.	

3.6.7. Формула тонкой линзы

$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F},$ <p>где d — расстояние от линзы до источника, f — расстояние от линзы до изображения, F — фокусное расстояние.</p>	
<p>$F > 0$ — для собирающей линзы; $F < 0$ — для рассеивающей; $f > 0$ — для действительного изображения; $f < 0$ — для мнимого; $d > 0$, если на линзу падает расходящийся пучок лучей; $d < 0$, если пучок сходящийся.</p>	
<p>Увеличение линзы: $\Gamma = \frac{H}{h}$, где H — линейный размер изображения, h — линейный размер предмета. Также выполняется соотношение $\Gamma = \left \frac{f}{d} \right$.</p>	
<p>При $d > 0$ возможны следующие случаи.</p>	
<p>$\Gamma < 1$ Рассеивающая линза всегда даёт мнимое и уменьшенное изображение предмета (очки для близоруких).</p>	<p>$\Gamma > 1, d < F$ Собирающая линза формирует мнимое изображение предмета, изображение получается увеличенным (лупа).</p>
<p>$d > F$ — изображение действительное: $d < 2F$ — изображение увеличенное (проекторный аппарат); $d > 2F$ — изображение уменьшенное (фотоаппарат).</p>	

3.6.8. Построение изображений в линзах

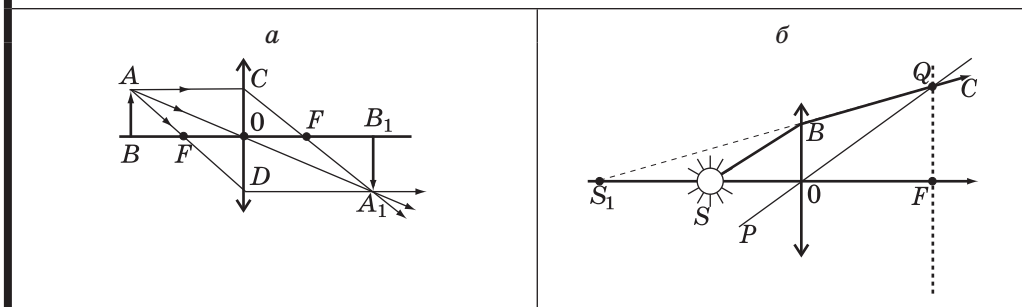
Для построения изображений обычно используют лучи, ход которых после прохождения через линзу известен.

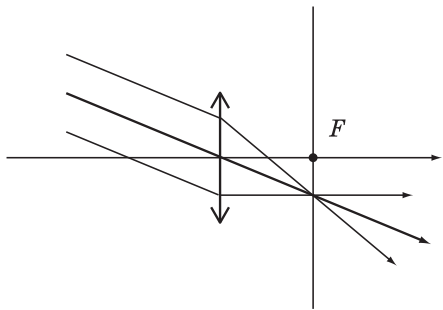
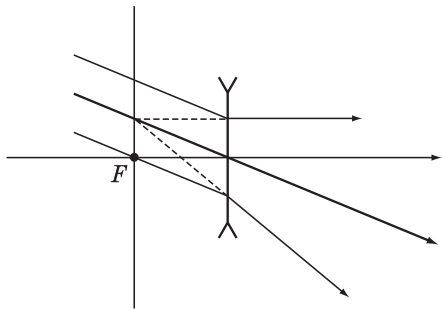
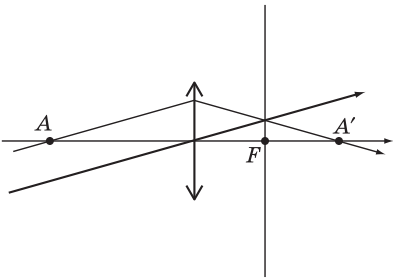
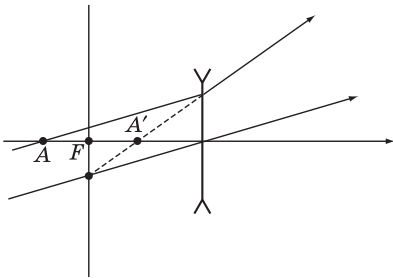
Собирающая линза	Рассеивающая линза
<i>Луч, проходящий через оптический центр</i>	
	
<i>Луч, параллельный главной оптической оси</i>	
	
<i>Луч, проходящий через фокус</i>	
	

Изображение точки, не лежащей на главной оптической оси

Это изображение строится с помощью двух лучей, прохождение которых через линзу известно.

Луч, параллельный главной оптической оси (а), и луч, проходящий через фокус (б).



Ход пучка параллельных лучей, идущих вдоль побочной оптической оси	
1. После прохождения через собирающую линзу лучи пересекаются в одной точке, находящейся в фокальной плоскости линзы.	
2. После прохождения через рассеивающую линзу лучи идут так, что их продолжения пересекаются в одной точке «ближней» фокальной плоскости.	
Эти правила помогают строить изображения точки, лежащей на главной оптической оси.	
	
A' — действительное изображение точки A	A' — мнимое изображение точки A
Действительное изображение — прошедшие через линзу лучи образуют сходящийся пучок и пересекаются в одной точке (действительное изображение может быть получено на экране).	Мнимое изображение — прошедшие через линзу лучи образуют расходящийся пучок ; оно находится в точке пересечения продолжений лучей, прошедших через линзу (мнимое изображение не может быть получено на экране).
<i>Важнейшим свойством всех оптических систем является обратимость хода лучей: источник и его изображение всегда можно менять местами.</i>	

3.6.9. Фотоаппарат как оптический прибор. Глаз как оптическая система

<p>Законы оптической оптики используются при создании разнообразных <i>оптических приборов</i>. Простейшим из таких приборов является <i>лупа</i>. Лупа создаёт мнимое увеличенное изображение предмета, который находится от неё на расстоянии чуть ближе фокуса. Для увеличения изображений очень мелких объектов используется <i>микроскоп</i>. В качестве простейшего однолинзового микроскопа можно использовать обычную лупу.</p>	<p>Самую сложную и самую эффективную оптическую систему создала природа. Это <i>глаза</i> человека и животных. Глаз так же, как и фотоаппарат, служит для создания изображений, которые проецируются на <i>сетчатку</i> глаза. Роль объектива играет хрусталик, который для настройки на резкость изменяет форму — явление <i>аккомодации</i>. Изменение формы приводит к изменению фокусного расстояния хрусталика.</p>
<p>В качестве микроскопа можно также использовать трубу Галилея (состоящую из собирающего объектива и рассеивающего окуляра). В микроскопах собирающий объектив создаёт увеличенное изображение, которое рассматривается уже с помощью окуляра, работающего как лупа. Современные многолинзовые микроскопы позволяют увеличивать изображение в тысячи раз. Сама труба Галилея послужила прообразом и <i>подзорных труб</i>, и <i>телескопов</i>. Телескопы состоят из собирающих оптических систем — объектива и окуляра. Объектив в своём фокусе создаёт перевёрнутое изображение очень далёкого объекта. Это изображение, как и в микроскопе, рассматривается и увеличивается окуляром. В подзорных трубах и <i>биноклях</i> для получения прямого изображения используют различные оптические устройства — системы призм или оборачивающие линзы.</p>	<p>Для создания действительных изображений, которые можно зафиксировать на плёнке или в цифровом виде, а также рассматривать на экранах (например, в кинотеатрах), используют другие оптические приборы. Это <i>фотоаппараты</i> и <i>проекционные аппараты</i>. Фотоаппараты содержат собирающий объектив, создающий уменьшенное действительное изображение. Фотоаппарат можно настраивать на резкость, перемещая объектив. Проекционные аппараты с помощью собирающего объектива позволяют получать увеличенные изображения на экранах. Резкость в них также настраивается путём перемещения объектива.</p>

3.6.10. Интерференция света

<p>Физическая, или волновая оптика — раздел физики, изучающий законы распространения света на основе представления о волновой природе световых лучей.</p>	<p>Волновые свойства света объясняют явления интерференции, дифракции, поляризации и дисперсии.</p>
--	---

Интерференция света — пространственное перераспределение светового потока при наложении двух (или нескольких) когерентных световых волн, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других — минимумы интенсивности (интерференционная картина).

Условие интерференционных максимумов:

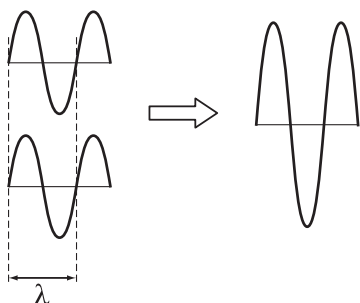
$$\Delta l = \pm k\lambda$$

Условие интерференционных минимумов:

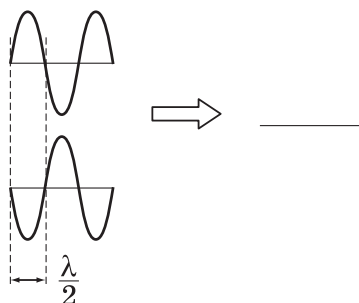
$$\Delta l = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Δl — разность хода двух волн, возбуждающих колебания в данной точке, λ — длина волны, $k = 0, 1, 2, \dots$

Нет сдвига или сдвиг на целое число длин волн



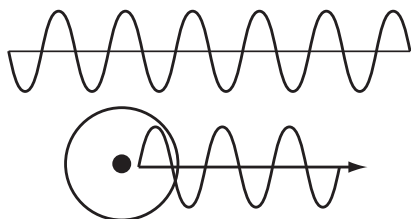
Сдвиг на полуцелое число длин волн



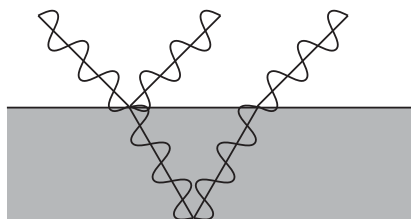
Внимание! При интерференции волны не уничтожаются. Энергия волн переходит из мест интерференционных минимумов в места максимумов.

Когерентные волны — волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную разность фаз. Существует несколько способов создания когерентных волн.

1. Если в электромагнитной волне находится возбуждённый атом, то он может излучить волну, когерентную исходной. Такое явление называется *усилением света* и используется в *лазерах* (усилителях света).

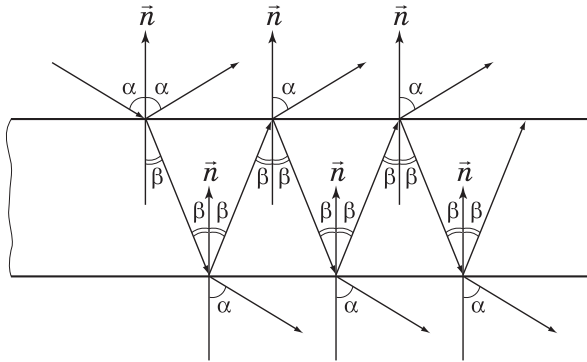


2. Когерентную волну можно получить, разделив исходную на две части, например с помощью отражения от двух поверхностей. Это приводит к *интерференции в тонких плёнках* и используется, например, при просветлении оптики.



Интерференция в тонких плёнках

Световые волны, отражённые двумя поверхностями тонкой плёнки, проходят различные пути, т. е. возникает разность хода Δl .



3.6.11. Дифракция света

Дифракция света — явление отклонения света от прямолинейного распространения при прохождении препятствий, размеры которых сравнимы с длиной световой волны.

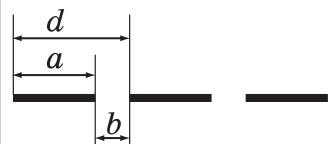
Пример: при прохождении света через малое круглое отверстие на экране вокруг центрального светлого пятна наблюдаются чередующиеся тёмные и светлые кольца.

Объяснение Френеля: световые волны, приходящие в результате дифракции из разных точек отверстия в одну точку на экране, интерferируют между собой.



Дифракционная решётка

Решётка представляет собой прозрачную пластинку с нанесённой системой параллельных непрозрачных полос (щелей), расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга.



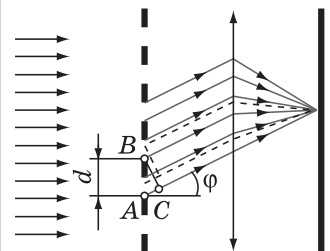
Постоянная (период) решётки: $d = a + b$, где b — ширина щели, a — ширина промежутка.

На решётку падает монохроматическая волна с плоским волновым фронтом; разность хода $\Delta l = d \sin \varphi$.

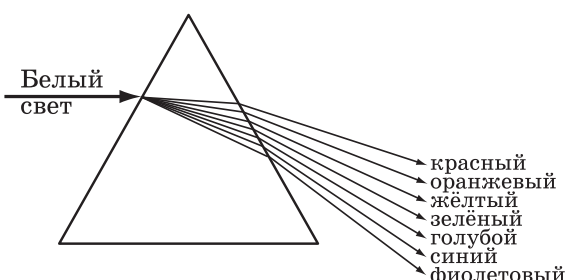
Интерференционный максимум наблюдается под углом φ , определяемым условием: $d \sin \varphi = k\lambda$ (формула дифракционной решётки), где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ — порядок максимума,

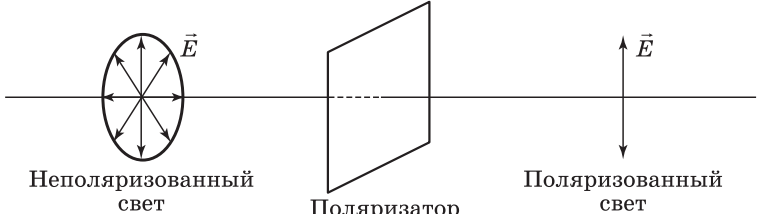
$$\Delta l = AC = AB \cdot \sin \varphi = d \sin \varphi,$$

λ — длина волны света.



3.6.12. Дисперсия света

Дисперсия света — зависимость показателя преломления от длины волны.	
Белый свет — совокупность электромагнитных монохроматических волн.	В вакууме скорость света равна: $c = 299\,792\,458$ м/с и не зависит от длины волны, а в веществе — зависит от длины волны .
Вследствие дисперсии пучок белого света при прохождении его через призму разлагается в спектр . Одно из самых красивых явлений, обусловленных дисперсией, — радуга!	

Поляризация света	
Неполяризованный свет — естественный свет, содержащий волны со всевозможными направлениями колебаний вектора \vec{E} , перпендикулярными к направлению распространения волны.	Поляризованный свет — свет, содержащий световые волны с колебаниями вектора \vec{E} , лежащими только в одной плоскости.
Поляризаторы — <i>поляроиды</i> — обладают способностью пропускать световые волны с колебаниями вектора \vec{E} , лежащими только в одной плоскости.	
	

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 3.6. ОПТИКА

Ответами к заданиям 1–6 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** Каким является изображение, которое мы видим, разглядывая себя в обычном плоском зеркале?
- 1) действительным неувеличенным
 - 2) уменьшенным мнимым
 - 3) увеличенным мнимым

4) не увеличенным

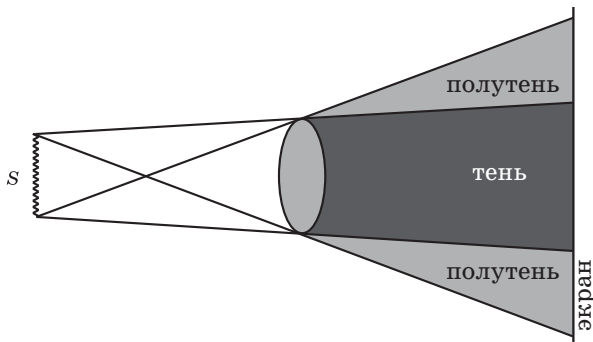
5) действительным увеличенным

Выберите *два* правильных ответа из предложенного перечня.

Ответ: ☐ ☐

2

Образование полутени, изображённой на рисунке, является следствием



1) прямолинейности распространения света

3) протяжённости источника света S

2) дифракции света

4) преломления света

Выберите *два* правильных ответа из предложенного перечня.

Ответ: ☐ ☐

3

Для какой среды справедлив закон прямолинейного распространения света: *оптически однородной, оптически неоднородной*? Ответ запишите словами.

Ответ: _____ .

4

Что описывает и на какой идее основан основной постулат волновой теории — принцип Гюйгенса — Френеля?

1) основан на идее об интерференции волн от вторичных источников, расположенных на волновой поверхности источника света

2) идее о дифракции вторичных волн

3) идее рассеянии света на волновом фронте

4) описывает механизм прямолинейного распространения света

5) описывает дисперсию волн

Выберите *два* правильных ответа из предложенного перечня.

Ответ: ☐ ☐

5

Часто наблюдаемые на лужах цветные пятна тонких плёнок, как правило, разлитого машинного масла, бензина, керосина являются результатом: *дифракции, интерференции, преломления, рассеяния* света в тонких плёнках? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

6

Глядя на Солнце через ресницы полузакрытых век, можно наблюдать радужную картинку. Она является результатом *дифракции, интерференции, преломления, рассеяния* света? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

Ответами к заданиям 7–9 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

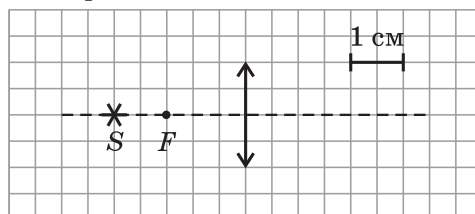
- 7** Какова скорость распространения света в стекле с показателем преломления $n = 1,7$? Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с.

Ответ: _____ м/с.

- 8** Определите период дифракционной решётки, если максимум первого порядка для длины волны 400 нм наблюдается под углом 30° .

Ответ: _____ мкм.

- 9** Постройте изображение точки, лежащей на главной оптической оси собирающей линзы, определите расстояние от оси линзы до изображения. Расстояние выразите в см.



Ответ: _____ см.



4. ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Специальная теория относительности Эйнштейна (СТО) — раздел релятивистской механики, в котором рассматривается частный (специальный) случай инерциальных систем отсчёта. СТО является системой современных взглядов на пространство-время.

Релятивистская механика рассматривает движения со скоростями, близкими к скорости света: $v \leq c$.

Классическая (ньютоновская) механика рассматривает движения со скоростями, значительно меньшими скорости света: $v \ll c$.

Релятивистские явления — явления, описываемые СТО, но необъяснимые с точки зрения классической физики.

Специальная теория относительности изучает инерциальные системы отсчёта. Неинерциальные системы отсчёта являются предметом общей теории относительности.

4.1. Постулаты СТО и её следствия

Принцип относительности Эйнштейна

Любые физические процессы протекают одинаково в различных инерциальных системах отсчёта (ИСО) при одинаковых начальных условиях.

Принцип одинаковости скорости света: скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО.

В теории относительности время не абсолютно, оно является одной из четырёх равноправных координат: трёх пространственных и одной временной. Иными словами, мы существуем не в трёхмерном пространстве, а в четырёхмерном пространстве-времени.

Скорость света в вакууме является **максимально возможной** скоростью передачи взаимодействий.

Относительность расстояний. Длина l движущегося предмета сокращается в направлении движения:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow l < l_0,$$

где l_0 — длина покоящегося предмета, v — скорость его движения в данной ИСО. Размеры предметов в направлении, перпендикулярном к направлению движения, не изменяются.

Относительность промежутков времени. Ход движущихся часов замедляется:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \tau > \tau_0,$$

где τ_0 — интервал времени, измеренный часами, покоящимися относительно системы отсчёта, где оба события произошли в одной и той же точке пространства, τ — интервал времени между двумя событиями, измеренный движущимися часами.

Окончание таблицы

Относительность одновременности. Два пространственно разделённых события, одновременные в одной ИСО, могут быть не одновременными в другой ИСО.

Релятивистский закон сложения скоростей, направленных вдоль одной прямой:

$$v_2 = \frac{v + v_1}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}},$$

где v_1 — скорость тела в первой системе отсчёта, v_2 — скорость того же тела во второй системе отсчёта, v — скорость движения первой системы отсчёта относительно второй.

Пример. Два пучка света, летящие со скоростью c навстречу друг другу, сближаются не со скоростью $2c$, как это можно ожидать с точки зрения классической механики и здравого смысла, а со скоростью c :

$$v_2 = \frac{c + c}{1 + \frac{c \cdot c}{c^2}} = c!$$

4.2. ЭНЕРГИЯ И ИМПУЛЬС СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ

Полная энергия свободной частицы:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где m — масса тела та же, что и в классической механике.

Внимание! Современная физика не использует понятие массы движения и массы покоя, как это делалось на заре теории относительности. Используется понятие массы покоя m .

Импульс движущегося тела:

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Уравнение движения:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F},$$

где \vec{F} — сила, действующая на тело.

4.3. СВЯЗЬ МАССЫ И ЭНЕРГИИ СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ

Основные уравнения релятивистской механики:

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4;$$

$$\vec{p} = \frac{\vec{v} E}{c^2}.$$

Связь между массой и энергией:

$$E_0 = mc^2,$$

где E_0 — энергия покоящегося тела (энергия покоя), а масса — та же, что и в уравнениях Ньютона (в разных книгах и статьях её называют также массой покоя).

Согласно Эйнштейну «... *Масса тела есть мера содержащейся в нём энергии*». Таким образом, любое тело уже только благодаря факту своего существования обладает энергией, которая пропорциональна его массе m .

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМАМ 4.1–4.3. ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Ответами к заданиям 1–7 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** Специальная теория относительности рассматривает физические процессы, происходящие:
- 1) в любых системах отсчёта
 - 2) в гравитационном поле
 - 3) только в неинерциальных системах отсчёта
 - 4) только в инерциальных системах отсчёта
 - 5) в отсутствии гравитационных полей
- Выберите *два* верных утверждения, касающихся специальной теории относительности.

Ответ:

- 2** Одним из выводов специальной теории относительности является относительность расстояний, измеренных в двух системах отсчёта, движущихся друг относительно друга с постоянной скоростью. Пусть с одной из этих систем (неподвижной) связано тело. В какой из систем (*неподвижной* или *движущейся* относительно неё) длина тела будет больше? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

- 3** Следствием постулатов специальной теории относительности является «относительность одновременности», означающая, что
- 1) промежуток времени между двумя событиями, отсчитываемый в разных инерциальных системах отсчёта, не зависит от их относительной скорости
 - 2) длительность события оказывается наименьшей в неподвижной системе отсчёта
 - 3) длительность события оказывается наибольшей в неподвижной системе отсчёта
 - 4) чем больше относительная скорость движения двух систем, тем больше разница в длительности событий, измеренных в этих системах отсчёта

Выберите *два* верных утверждения из предложенного перечня.

Ответ:

- 4** Формула Эйнштейна $W = mc^2$ устанавливает связь между скоростью света, массой тела и его *кинетической энергией*, *полной энергией*, *энергией покоя*? Ответ запишите словами.

Ответ: _____ .

- 5** Постулат специальной теории относительности о постоянстве скорости света в вакууме — скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчёта — в частности означает, что
- 1) скорость света во всех веществах одинакова
 - 2) скорость света не зависит от длины световой волны

- 3) любые сигналы в природе распространяются со скоростями, не превышающими скорость света
 4) вместо мгновенного действия на расстоянии или дальнего действия с бесконечной скоростью распространения должно существовать дальнее действие со скоростью света

Выберите два верных утверждения из предложенного перечня.

Ответ: ☐ ☐

- 6 Два тела движутся навстречу друг другу со скоростями $v_1 = v_2 = 2 \cdot 10^5$ км/с относительно неподвижного наблюдателя. Во сколько раз отличаются скорости их движения относительно друг друга, вычисленные по классической v_k и релятивистской v_p формулам сложения скоростей: v_p / v_k ?

Ответ: _____ .

- 7 Самолёт движется со скоростью v навстречу световому лучу, излучаемому неподвижным источником. С какой скоростью v' сближается самолёт с фотоном этого света: со скоростью *большой, меньшей* или *равной* скорости света? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

Ответами к заданиям 8–12 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

- 8 При какой относительной скорости движения v/c размеры тела сокращаются на 10%?

Ответ: _____ .

- 9 Солнце ежеминутно излучает энергию, равную $6,5 \cdot 10^{21}$ кв.ч. Считая излучение Солнца постоянным, найдите, за какое время масса Солнца уменьшится в 2 раза.

Ответ: _____ лет.

- 10 При какой скорости полная энергия свободной частицы вдвое больше его энергии покоя?

Ответ: _____ м/с.

- 11 Во сколько раз увеличивается продолжительность существования нестабильной частицы по часам неподвижного наблюдателя, если она начинает двигаться со скоростью, составляющей 99% скорости света?

Ответ: _____ .

- 12 Какую часть скорости света должна составлять скорость частицы, чтобы её кинетическая энергия была равна энергии покоя? Ответ дайте «в единицах» c .

Ответ: _____ c .



5. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

5.1. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

5.1.1. Гипотеза М. Планка о квантах

Гипотеза Планка: свет излучается и поглощается отдельными «порциями» — *квантами (фотонами)*.

Энергия каждого кванта определяется формулой

$$E = h\nu,$$

где ν — частота света.

Постоянная Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Квант энергии — минимальное количество энергии, которое может поглотить или излучить система.

5.1.2. Фотоны. Энергия фотона. Импульс фотона

Фотон (обозначение — γ) — элементарная частица, квант электромагнитного поля.

Развивая идею Планка об излучении электромагнитных волн квантами, А. Эйнштейн ввёл гипотезу, согласно которой электромагнитное излучение само состоит из таких квантов, позднее названных *фотонами*. Это свойство света было названо *корпускулярным*.

Масса покоя фотона равна нулю, следовательно, согласно СТО скорость его равна скорости света c , а энергия:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = pc; \quad p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Импульс фотона направлен по световому лучу. Чем больше частота, тем больше энергия и импульс фотона и тем отчётливее выражены корпускулярные свойства света.

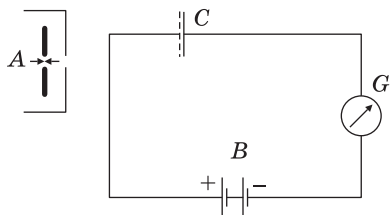
5.1.3. Фотоэффект. Опыты А. Г. Столетова. Законы фотоэффекта

Фотоэффект — явление испускания электронов веществом под действием электромагнитного излучения.

Фотоэффект был открыт в 1887 г. Г. Герцем, который установил, что длина искры в разряднике увеличивается при попадании на его металлические электроды света от искры второго разрядника. Первые исследования фотоэффекта были выполнены русским учёным А. Г. Столетовым (1888 г.). Ф. Ленард и Дж. Томсон (1889 г.) доказали, что при фотоэффекте испускаются электроны.

Схема опытов Столетова по наблюдению фотоэффекта

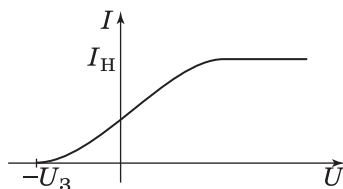
C — два металлических диска, установленных параллельно друг другу (один — латунная или железная металлическая сетка, второй диск — сплошной). Диски соединены между собой проволокой, в которую введены гальваническая батарея B и чувствительный гальванометр с большим сопротивлением (5212 Ом), A — источник света (лампа с вольтовой дугой).



Таким образом, две металлические пластины представляют собой конденсатор, причём металлическая сетка является положительной обкладкой конденсатора. Свет от дуги A через сетку попадает на отрицательно заряженную сплошную металлическую пластину. Из опытов Столетова следовало, что фототок через гальванометр сильнее всего растёт при освещении ультрафиолетовыми лучами, сила фототока пропорциональна интенсивности освещения, и под действием света освобождаются только отрицательные заряды.

Законы фотоэффекта

1. Сила тока насыщения прямо пропорциональна интенсивности светового излучения, падающего на поверхность тела.
2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света и не зависит от его интенсивности.
3. Если частота света меньше некоторой определённой для данного вещества минимальной частоты, то фотоэффект не происходит (красная граница фотоэффекта).

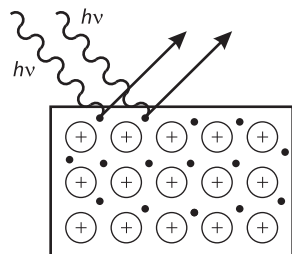


5.1.4. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

Квантовая теория: свет — поток особых частиц — фотонов с энергией $E = h\nu$,

и импульсом $p = \frac{h\nu}{c}$. Фотоны поглощаются как единое целое.

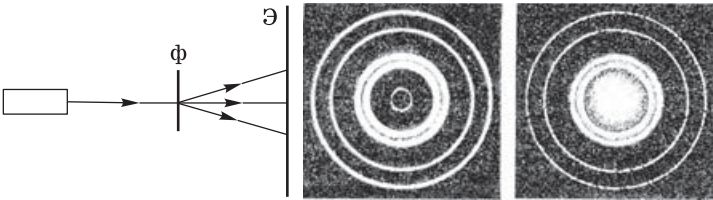
Поглощая фотон, электрон увеличивает свою энергию на $h\nu$; эта энергия идёт на совершение работы выхода электрона из металла $A_{\text{вых}}$ и на увеличение кинетической энергии фотоэлектрона.



Уравнение Эйнштейна:	$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A_{\text{вых}}$
Если $h\nu < A_{\text{вых}}$, то фотоэффект не происходит. Красная граница фотоэффекта равна:	$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}$

5.1.5. Волновые свойства частиц. Волны де Бройля

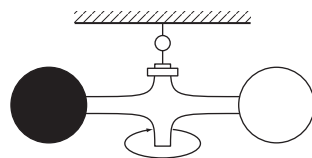
Корпускулярно-волновой дуализм — проявление светом как волновых, так и корпускулярных свойств.	
Природа света очень сложна: в одних условиях свет обнаруживает свойства электромагнитной волны, а в других — свойства корпускул (частиц). Ниже, в левом столбце перечислены явления, указывающие на корпускулярные свойства света, в правом — на волновые.	
Фотоэффект	Интерференция
Фотолюминесценция	Дифракция
Фотохимические превращения	Поляризация и дисперсия
Эффект Комптона	Дисперсия

Согласно гипотезе де Бройля любая частица с энергией E и импульсом p может быть описана волной с $\lambda = \frac{h}{p}$.	
Для частиц с $v \ll c$: $\lambda = \frac{h}{mv}$.	
Эксперименты по дифракции электронов на монокристаллах подтвердили гипотезу де Бройля.	
 <p>The diagram shows an electron beam (represented by an arrow) passing through a slit (labeled 'Ф') and hitting a screen (labeled 'Э'). To the right of the diagram are two circular diffraction patterns, each showing concentric rings of varying intensity, characteristic of wave interference.</p>	

5.1.6. Давление света

Свет — поток частиц (фотонов), которые обладают импульсом $p = \frac{E}{c}$, (где c — скорость света) и передают его телу при отражении или поглощении. При отражении фотона переданный импульс в два раза больше, чем при поглощении.
--

Использованный в опыте **Лебедева** прибор состоял из лёгкого стержня, подвешенного в вакууме на тонкой нити. По краям стержня были закреплены две тонкие пластинки — одна отражающая, другая поглощающая. При освещении пластинки она поворачивалась. Измерение угла поворота позволяло вычислить световое давление.



Химическое действие света

Фотография — выделение молекул серебра при падении света на кристаллы бромистого серебра.

Фотосинтез — под действием света из углекислого газа и воды в хлоропластах растений образуются кислород и органические вещества.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 5.1. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

Ответами к заданиям 1–6 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

1 Выберите *два* определения слова «фотон» в физике.

- 1) прибор для фотографирования
- 2) луч света
- 3) единица измерения интенсивности света
- 4) элементарная частица
- 5) квант электромагнитного излучения

Ответ:

2 Постоянная Планка это: *единица измерения энергии, квант действия, элементарная частица*? Ответ запишите словами.

Ответ: _____ .

3 Чему равен импульс фотона красного цвета с длиной волны $\lambda = 630$ нм? Как он отличается от фотона фиолетового света ($\lambda = 400$ нм)? Выберите *два* правильных ответа.

- 1) $p_k = 1 \cdot 10^{-27}$
- 3) $p_k = 1 \cdot 10^{-26}$
- 5) $p_k = 5 \cdot 10^{-27}$
- 7) $p_k = 3 \cdot 10^{-27}$
- 2) $p_k/p_\phi = 0,63$
- 4) $p_k/p_\phi = 0,5$
- 6) $p_k/p_\phi = 2$
- 8) $p_k/p_\phi = 1,5$

Ответ:

4 Определите, волна какой длины в спектре излучения ртутной лампы: 436 нм, 546 нм, 577 нм или 579 нм — может вызвать фотоэффект в металле с красной границей фотоэффекта $\lambda_k = 500$ нм?

Ответ: _____ нм.

5 Чему равна длина волны де Бройля электрона с энергией 100 эВ. Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Ответ: _____ нм.

- 6** Чему равна длина волны де Бройля шарика массой 1 г, движущегося со скоростью 1 см/с?

Ответ: _____ см.

Ответами к заданиям 7–13 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

- 7** Определите энергию пучка синего света с длиной волны $\lambda = 450$ нм, состоящего из 10 фотонов.

Ответ: _____ Дж.

- 8** Какой массе эквивалентна энергия фотона рентгеновского излучения с $\lambda = 10$ нм?

Ответ: _____ кг.

- 9** Какова длина волны де Бройля α -частицы, движущейся со скоростью 30 000 км/с? Импульс частицы можно вычислять по классической формуле.

Ответ: _____ м.

- 10** Какова красная граница фотоэффекта для платины, если работа выхода электронов $A = 1 \cdot 10^{-18}$ Дж?

Ответ: _____ м.

- 11** Красная граница фотоэффекта для вольфрама $\lambda_k = 275$ нм. Найдите наибольшую скорость фотоэлектронов, вылетающих из вольфрама при освещении его светом с $\lambda = 180$ нм.

Ответ: _____ м/с.

- 12** Найдите работу выхода электронов из металла, если фотоэффект начинается при частоте падающего света $6 \cdot 10^{-14}$ с⁻¹.

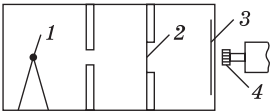
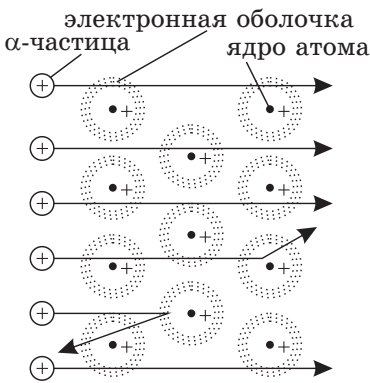
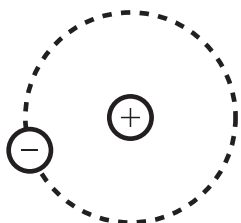
Ответ: _____ Дж.

- 13** Заряженная частица, прошедшая разность потенциалов 200 В, имеет длину волны де Бройля, равную 0,0202 Å. Заряд частицы равен заряду электрона. Какова масса частицы?

Ответ: _____ кг.

5.2. ФИЗИКА АТОМА

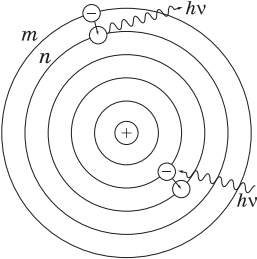
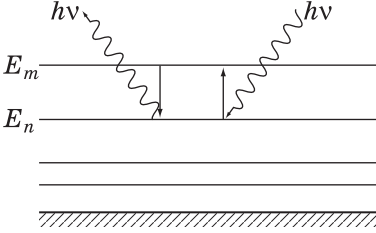
5.2.1. Планетарная модель атома

Схема опыта Резерфорда	
<p>1 — радиоактивное вещество (испускает α-частицы, ядра изотопов ${}^4_2\text{He}$);</p> <p>2 — тонкая металлическая пластинка;</p> <p>3 — экран, покрытый слоем кристаллов сульфида цинка, способных светиться под ударами быстрых заряженных частиц;</p> <p>4 — микроскоп.</p>	
	<p>Большинство α-частиц отклоняется от прямолинейной траектории на $1-2^\circ$, но небольшая доля α-частиц испытывает отклонения на большие углы, что свидетельствует о существовании массивного атомного ядра, размер которого в 10^4-10^5 раз меньше размера атома (размер атома 10^{-10} м, размер ядра $10^{-14}-10^{-15}$ м).</p>
 <p>Атом водорода</p>	<p>В результате этих экспериментов в 1911 г. Резерфорд предложил следующую модель строения атома.</p> <p>Атом состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого обращаются электроны, каждый на своей орбите, подобно планетам Солнечной системы, обращающимся вокруг Солнца. Поэтому модель называют <i>планетарной</i>.</p>

5.2.2. Постулаты Бора. Излучение и поглощение фотонов при переходе атома с одного уровня энергии на другой

1. Атомная система может находиться в особых квантовых **стационарных состояниях**, каждому из которых соответствует **определённая энергия E_n** .
2. **При переходе** атома из одного стационарного состояния в другое происходит испускание или поглощение квантов электромагнитного излучения.

Энергия фотона равна разности энергии атома в двух стационарных состояниях: $\Delta E = h\nu = E_m - E_n$.

	
<p>Правило квантования Бора (третий постулат Бора):</p> $mvR = n \frac{h}{2\pi},$ <p>где m — масса электрона, v — скорость электрона, R — радиус круговой орбиты, n — номер энергетического состояния (целое число).</p>	
<p>Все стационарные состояния атома, кроме одного, являются стационарными условно. Бесконечно долго атом может находиться в стационарном состоянии с минимальной энергией.</p>	
<p>Основное состояние атома — стационарное состояние с минимальной энергией.</p>	<p>Возбуждённое состояние атома — стационарное состояние атома с любыми значениями энергии, кроме минимального.</p>
<p>Время жизни атома в возбуждённом состоянии — $10^{-8} - 10^{-7}$ с.</p>	
<p>Изменения, внесенные в физику Бором:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Отказ от представлений о непрерывности физических величин.2. Идея квантования физических величин: существует дискретный ряд значений — радиуса круговой орбиты, энергии и импульса.	

5.2.3. Оптические спектры

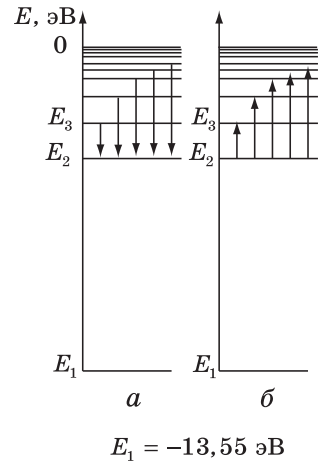
<p>Спектральный состав света — набор частот излучений, входящих в состав данного света.</p>	
<p>Спектральный анализ — метод определения химического состава вещества по виду его спектра испускания или поглощения.</p>	<p>Спектроскоп, спектрограф — приборы для определения спектрального состава света.</p>
<p>Спектры испускания</p> <p><i>Сплошной</i> (непрерывный) — сплошная цветная полоса, переходящая от красного цвета к фиолетовому. Источник излучения — раскалённые твёрдые и жидкие тела, горячая плазма.</p> <p><i>Линейчатый</i> — отдельные светлые линии различных цветов на тёмном фоне. Источник излучения — раскалённые одноатомные газы, например водород.</p> <p><i>Полосатый</i> — отдельные светлые полосы, разделённые тёмными промежутками. Источник излучений — раскалённые многоатомные газы.</p>	

Спектральные закономерности в спектре атома водорода. Все частоты излучений атома водорода составляют ряд серий, каждая из которых образуется при переходе атома в одно из энергетических состояний из всех верхних энергетических состояний, т. е. состояний с большей энергией, пользуясь терминологией спектроскопии — переходов электрона с верхних возбуждённых уровней энергии на нижние уровни.

На рисунке изображены переходы на второй возбуждённый энергетический уровень, составляющие *серию Бальмера*, частоты излучения которой лежат в видимой области спектра. Серия названа по имени швейцарского учителя И. Бальмера, который ещё в 1885 г. на основе экспериментальных результатов вывел простую формулу для определения частот видимой части спектра водорода:

$$\nu = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right),$$

где $n = 3, 4, 5, \dots$; R — постоянная Ридберга, определённая из спектральных данных и позднее вычисленная на основе теории атома Бора. В этой формуле ν — не частота, измеряемая в с^{-1} , а волновое число, равное обратному значению длины волны $1/\lambda$ и измеряемое в м^{-1} .



Для определения частот излучения других серий атома водорода вместо двойки в знаменателе первой дроби в формуле нужно поставить числа 1, 3, 4, 5. В таблице приведены номера нижних энергетических уровней, при переходе на которые с верхних уровней излучаются соответствующие серии.

Номер нижнего уровня	Название серии (фамилия учёного) и год её открытия	Область спектра излучения
1	Лаймана, 1916	Ультрафиолетовая
2	Бальмера, 1885	Видимая
3	Пашена, 1908	Инфракрасная
4	Брекета, 1922	Инфракрасная
5	Пфунда, 1924	Инфракрасная

Энергии этих уровней, представляющих собой спектр уровней энергий атома водорода, можно определить, умножив обе части уравнения на hc и приравняв первый член нулю (что означает переход на ∞ или ионизацию атома, см. рисунок):

$$h \frac{c}{\lambda} = E_n = -hcR \frac{1}{n^2}.$$

Окончание таблицы

Спектр уровней энергии атома водорода:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ эВ.}$$

Спектр поглощения

Спектр поглощения — тёмные линии на фоне сплошного спектра, соответствующие тем же частотам, что и линии спектра испускания. Атомы газа наиболее интенсивно поглощают свет тех частот, которые они испускают в возбуждённом состоянии.

5.2.4. Лазер

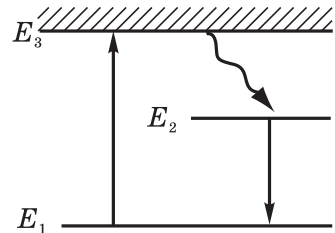
Лазер (*оптический квантовый генератор*, аббревиатура английской фразы *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, означающей «усиление света вынужденным излучением») — это устройство, преобразующее различные виды энергии (электрическую, световую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного электромагнитного излучения оптического диапазона.

Принцип действия рубинового лазера

Рубин, используемый в качестве активного элемента в лазере, представляет собой монокристалл Al_2O_3 , в котором часть ионов алюминия замещена ионами Cr^{3+} .

С помощью лампы-вспышки (оптической накачки) ионы хрома переводятся из основного состояния E_1 в возбуждённое — E_3 . Через 10^{-8} с ионы, передавая часть энергии кристаллической решётке, переходят из возбуждённого состояния E_3 в метастабильное состояние $E_2 < E_3$, в котором начинают накапливаться. Малая вероятность перехода с этого уровня на основной приводит к инверсной заселённости ($n_2 > n_1$) этого уровня. Случайный фотон с энергией $h\nu = E_2 - E_1$ может вызвать лавину индуцированных когерентных фотонов. Индуцированное излучение, распространяющееся вдоль оси цилиндрического монокристалла рубина, многократно отражается от его торцов и быстро усиливается.

Один из торцов рубинового стержня делают зеркальным, а другой — частично прозрачным. Через него выходит мощный импульс когерентного монохроматического излучения красного цвета с длиной волны 694,3 нм. В настоящее время существует много различных типов и конструкций лазеров.



Лазерное излучение обладает следующими особенностями:

- исключительной монохроматичностью и когерентностью;
- пучок света лазера имеет очень малый угол расхождения (около 10^{-5} рад);
- лазер — наиболее мощный искусственный источник света.

Напряжённость электрического поля в электромагнитной волне, излучаемой лазером, превышает напряжённость поля внутри атома.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 5.2. ФИЗИКА АТОМА

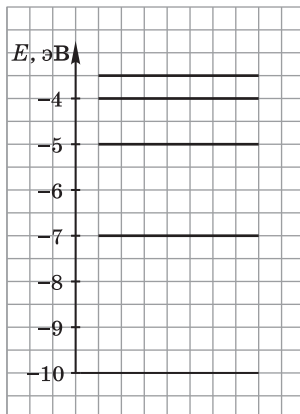
Ответами к заданиям 1–5 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

1

На рисунке изображены энергии квантовых состояний (уровни энергии) E_n в эВ атомной системы.

Проанализируйте рисунок и выберите *два* значения энергий фотонов $h\nu_{kn}$, не противоречащих второму постулату Бора применительно к этой системе.

- 1) 7 эВ 3) 3 эВ 5) -11 эВ
2) 1,2 эВ 4) 1 эВ 6) -5,5 эВ



Ответ:

2

Главной отличительной особенностью излучения лазера по сравнению с естественными источниками света является: *большая интенсивность, спектральный состав, длительность, когерентность*? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____ .

3

Во сколько раз кулоновская сила больше силы тяготения электрона и ядра в атоме водорода (радиус атома водорода $\sim 0,5 \cdot 10^{-10}$ м)?

Ответ: _____ .

4

Установите соответствие между видом спектра излучения и источником такого спектра.

ВИД СПЕКТРА

- А) линейчатый
Б) полосатый

ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ

- 1) Солнце
2) молекулы веществ
3) атомы
4) сильно нагретое тело

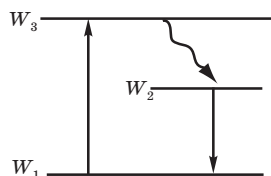
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б

5

Условием, необходимым для возникновения индуцированного излучения по трёхуровневой схеме, представляющей уровни электрона в атоме, является:



- 1) большое значение $W_3 - W_2$
- 2) большое время жизни уровня W_3
- 3) наличие метастабильного уровня W_2
- 4) большая интенсивность света лампы накачки
- 5) инверсная населенность метастабильного уровня по отношению к уровню W_2

Выберите *два* верных ответа из предложенного перечня.

Ответ: ☐ ☐

Ответами к заданиям 6–8 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

- 6** Найдите значение постоянной Ридберга в формуле Бальмера, зная, что наименьшая частота излучения в видимой части спектра водорода равна $4,6 \cdot 10^{14}$ Гц. Ответ дайте в м^{-1} .

Ответ: _____ м^{-1} .

- 7** Определите наибольшую длину волны в ультрафиолетовой серии атома водорода.

Ответ: _____ м.

- 8** Каково изменение энергии атомов водорода при излучении им линии с частотой $4,57 \cdot 10^{14}$ Гц?

Ответ: _____ Дж.

5.3. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

5.3.1. Нуклонная модель ядра Гейзенберга — Иваненко

Согласно модели Гейзенберга — Иваненко, ядро атома состоит из протонов и нейтронов .	
Протон	Нейтрон
$p = +e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг.	n — заряд равен нулю, масса $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг.
Общее название протонов и нейтронов — нуклоны . Между нуклонами действуют короткодействующие силы притяжения — ядерные силы .	
Число протонов в ядре атома обозначается Z и совпадает с порядковым номером элемента в таблице Менделеева.	Число нейтронов в ядре атома обозначается N .

Заряд ядра равен Ze	
Общее число нейтронов и протонов в ядре равно массовому числу A : $A = Z + N.$	Обозначение ядер: ${}_Z^AX$, где X — обозначение химического элемента. Например: ${}_{92}^{235}\text{U}$ — ядро урана , в котором содержится 92 протона и $235 - 92 = 143$ нейтрона.

Изотопы — атомы, имеющие <i>одинаковый заряд ядра Z</i> , но <i>разную массу A</i> , т. е. число протонов одинаково, а число нейтронов различно.	
Все изотопы одного и того же элемента обладают <i>одинаковыми химическими свойствами</i> , но <i>различными физическими свойствами</i> (например, радиоактивностью).	Изотопы есть у всех элементов: вещество представляет собой смесь изотопов в определённой пропорции. У некоторых ядер есть только один стабильный изотоп, а остальные радиоактивные; начиная с $Z = 84$ все изотопы элементов радиоактивны.
Применение изотопов Метод меченых атомов — биология, физиология, медицина, промышленность, археология. Источники γ-лучей — «кобальтовая пушка» с изотопом ${}_{27}^{60}\text{Co}$. Ускорение мутаций для искусственного отбора в сельском хозяйстве.	

5.3.2. Энергия связи нуклонов в ядре. Ядерные силы

Энергия связи — минимальная энергия, которую необходимо затратить для разделения атомного ядра на составляющие его нуклоны, и которая расходуется на совершение работы против действия ядерных сил притяжения между нуклонами.

Энергия связи:

$$\Delta E = \Delta m c^2,$$

где $\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{ядра}}$ — **дефект массы ядра**.

Удельная энергия связи — энергия связи, приходящаяся на **один нуклон**.

Наибольшую удельную энергию связи (8,6 МэВ/нуклон) имеют элементы с номерами от 50 до 60, поэтому ядра этих элементов наиболее устойчивы.

Внесистемная единица измерения энергии — электрон-вольт:

$$1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

5.3.3. Дефект массы ядра

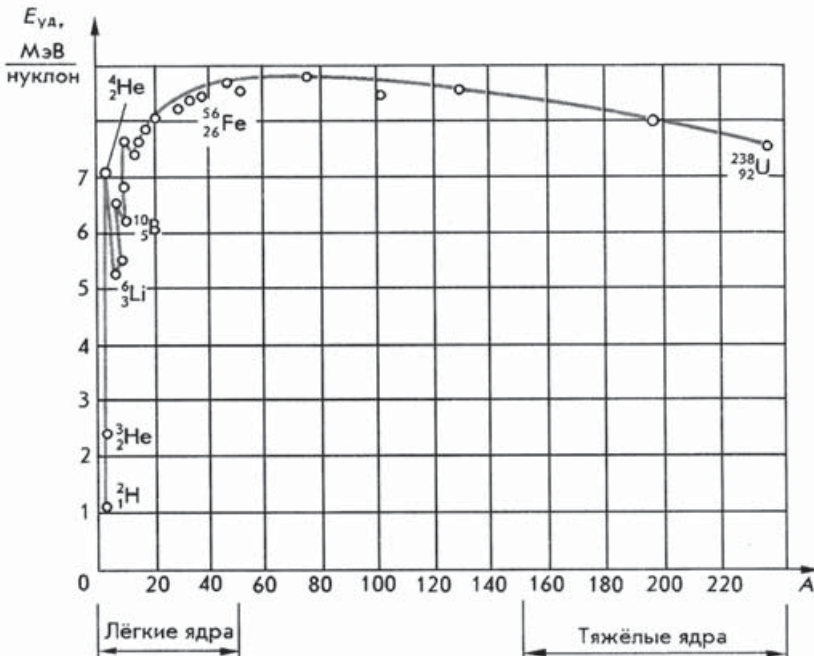
Точнейшие измерения показывают, что масса покоя ядра $M_{\text{я}}$ всегда меньше суммы масс покоя составляющих её протонов и нейтронов: $M_{\text{я}} < Zm_p + Nm_n$. Существует положительная разность масс, называемая **дефектом массы**:

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}.$$

Для гелия масса ядра на 0,75 % меньше суммы масс двух протонов и двух нейтронов. Для одного моля гелия $\Delta M = 0,03 \text{ г}$.

Уменьшение массы при образовании ядра из нуклонов означает, что при этом уменьшается энергия этой системы нуклонов на значение энергии связи $E_{\text{св}}$:

$$E_{\text{св}} = \Delta M c^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2.$$



5.3.4. Радиоактивность

Радиоактивность — испускание ядрами некоторых элементов различных частиц (α , β , γ -квантов), сопровождающееся переходом их в другое состояние и изменением параметров. Момент времени, когда данное ядро испытает такое превращение, непредсказуем, однако каждую секунду распадается определённая доля ядер.

Активность — число распадов ядер в единицу времени.

Радиоактивный распад — естественное радиоактивное превращение ядер, происходящее самопроизвольно.

Виды радиоактивного распада

α -распад: самопроизвольный распад атомного ядра на α -частицу (ядро гелия ${}^4_2\text{He}$) и ядро-продукт. Масса ядра уменьшается на 4 единицы, а заряд — на 2 единицы (α -радиоактивны ядра тяжёлых элементов $Z > 82$).

Правило смещения для α -распада: ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$.

β -распад (электронный): самопроизвольное превращение атомного ядра путём испускания электрона. В основе β -распада лежит способность протонов и нейтронов к взаимному превращению:

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu},$$

где $\bar{\nu}$ — антинейтрино.

Правило смещения:

электронный β -распад: ${}^M_Z\text{X} \rightarrow {}^M_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}_e$ (β^- -распад).

позитронный β -распад: ${}^M_Z\text{X} \rightarrow {}^M_{Z-1}\text{Y} + {}^0_{+1}e + \nu_e$ (β^+ -распад).

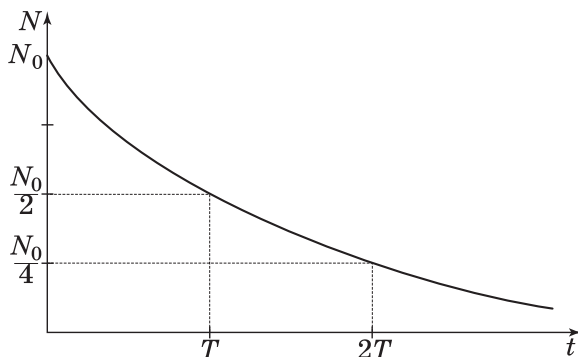
- **γ -излучение при α -распаде:** иногда часть энергии идёт на возбуждение ядра-продукта, который испускает γ -кванты, после чего переходит в нормальное состояние;
- **γ -излучение при β -распаде:** иногда часть энергии идёт на возбуждение ядра-продукта, который испускает γ -кванты; β -частицы имеют различные энергии, так как часть энергии уносит частица **нейтрино**.

Распавшееся ядро обычно также радиоактивно, т. е. происходит цепочка последовательных радиоактивных превращений.

5.3.5. Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}},$$

где N — число нераспавшихся атомов в момент времени t , N_0 — число таких атомов в начальный момент времени, T — период полураспада — промежуток времени, в течение которого число радиоактивных атомов уменьшается вдвое (т. е. T — константа, зависящая от типа радиоактивного изотопа).



Закон радиоактивного распада является **статистическим** законом: он справедлив только при $N \gg 1$. Предсказать момент распада данного конкретного ядра невозможно: это случайное событие.

Экспериментальные методы регистрации заряженных частиц

Методы основаны на использовании систем, которые находятся в долгоживущем неустойчивом состоянии. Под действием пролетающих заряженных частиц в таких системах происходит переход в устойчивое состояние.

Счётчик Гейгера — основан на ударной ионизации газа; он фиксирует только факт пролёта частицы.

В камере Вильсона используется пересыщенный пар. Камера фиксирует траекторию заряженной частицы: вдоль траектории возникают ионы, на которых конденсируются капельки жидкости.

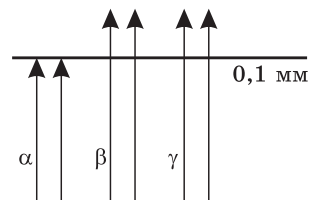
Пузырьковая камера — содержит перегретую жидкость. Частицы хорошо тормозятся жидкостью, что позволяет наблюдать несколько последовательных реакций.

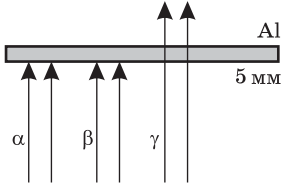
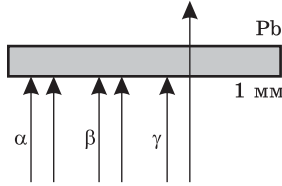
В толстослойных фотоэмульсиях пролетающие частицы образуют скрытое изображение. После проявления видны все события, происшедшие за время наблюдения.

Биологическое действие радиоактивных излучений

Проходя через вещество, заряженные частицы сталкиваются с атомными электронами и оставляют за собой цепочку ионов — происходит разрушение или повреждение молекул живой ткани.

α -частицы — полностью поглощаются листом бумаги толщиной 0,1 мм.



<p>β-частицы — полностью поглощаются алюминиевым экраном толщиной 4–5 мм.</p>	
<p>γ-лучи — слой свинца толщиной порядка 1 см ослабляет их интенсивность в 2 раза.</p>	
<p>Поглощённая доза излучения:</p> $D = \frac{E}{m},$ <p>где E — поглощённая энергия излучения, m — масса облучаемого вещества,</p> $[D] = \text{Гр (грэй)} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$	<p>Естественный фон радиации соответствует годовой дозе, равной $2 \cdot 10^{-3}$ Гр.</p> <p>Предельно допустимая доза — 0,05 Гр за год. Разовая доза в 3–10 Гр смертельна.</p>
<p>На практике широко применяется внесистемная единица рентген (Р). Приближенно можно считать $1 \text{ Р} = 0,01 \text{ Гр}$.</p>	

5.3.6. Ядерные реакции. Деление и синтез ядер

<p>Ядерные реакции — это превращения атомных ядер при взаимодействии с элементарными частицами, в том числе с γ-квантами или друг с другом.</p>	
<p>Для осуществления таких реакций необходимо сближение ядер и частиц на расстояние порядка 10^{-15} м (размеры ядра). В случае реакции между ядрами требуется большая энергия для преодоления действующего между ними кулоновского отталкивания. Эту энергию можно сообщить ядрам с помощью ускорителей или путём нагрева до очень высоких температур. При бомбардировке нейтронами высокая энергия не нужна, потому что кулоновское отталкивание отсутствует.</p>	<p>Энергетический выход ядерной реакции</p> $\Delta E = (\Sigma M_i - \Sigma M_j)c^2,$ <p>где ΣM_i — сумма масс частиц, вступающих в реакцию, ΣM_j — сумма масс продуктов реакции.</p> <p>$\Delta E < 0$ — энергия поглощается, $\Delta E > 0$ — энергия выделяется.</p>
<p>Законы сохранения электрических зарядов и массовых чисел: сумма зарядов (массовых чисел) ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равна сумме зарядов (массовых чисел) конечных продуктов реакции.</p>	

Реакция деления ядра — реакция, при которой тяжёлое ($Z > 82$) ядро под действием нейтронов (или других частиц) делится на несколько более лёгких ядер, близких по массе.

Цепная реакция — ядерная реакция, в которой частицы, вызывающие реакцию, образуются как продукты этой реакции.

Необходимое условие цепной реакции: $K \geq 1$, где K — коэффициент размножения нейтронов, т. е. отношение числа нейтронов в данном поколении к числу нейтронов в предыдущем поколении.

Критическая масса — минимальная масса урана, в которой может возникнуть цепная реакция. При делении 1 г урана выделяется такая же энергия, как при сгорании 3 т угля.

Термоядерная реакция — реакция синтеза лёгких атомных ядер, происходящая при сверхвысокой температуре (порядка 10^7 К).

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 5.3. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

Ответами к заданиям 1–10 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

1 α -лучи представляют собой поток *нейтронов, позитронов, ядер атома гелия*? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____ .

2 β -частицы, возникающие при радиоактивном распаде ядер атомов, это: *электромагнитное излучение, космические лучи, электроны*? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: _____ .

3 γ -лучи представляют собой:

1) электромагнитные волны

2) кванты электромагнитного излучения с длиной волны $10^{-9} - 10^{-11}$ см

3) поток нейтронов

4) поток кварков

Выберите *два* верных утверждения.

Ответ: ☐ ☐

4 Количество радиоактивного радона уменьшилось в 8 раз за 11,4 дня. Каков период полураспада радона?

Ответ: _____ дней.

5 Сколько нейтронов и сколько протонов содержится в ядре кюрия ${}_{96}^{247}\text{Cm}$?

ЧИСЛО НЕЙТРОНОВ	ЧИСЛО ПРОТОНОВ

- 6** В реакции ${}^{55}_{25}\text{Mn} + ? \rightarrow {}^{55}_{26}\text{Fe} + {}^1_0n$ вместо знака «?» следует записать символ ядра гелия ${}^4_2\text{He}$, водорода ${}^1_1\text{H}$, дейтерия ${}^2_1\text{H}$? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

- 7** К какому типу взаимодействия относятся ядерные силы: *гравитационному, сильному, слабому, электромагнитному*? Ответ запишите словом.

Ответ: _____ .

- 8** Чему равно число электронов и число протонов в нейтральном атоме ${}^{40}_{20}\text{Ca}$?

ЧИСЛО ЭЛЕКТРОНОВ	ЧИСЛО ПРОТОНОВ

- 9** Чему равна энергия связи, приходящаяся на один нуклон изотопа ${}^{15}_7\text{N}$?
 Ответ: _____ МэВ.

- 10** Какое количество α - и β -распадов изотопов урана ${}^{238}_{92}\text{U}$ приводит к образованию свинца ${}^{206}_{82}\text{Pb}$?

ЧИСЛО α -РАСПАДОВ	ЧИСЛО β -РАСПАДОВ

Ответами к заданиям 11–14 является число. Запишите это число в поле ответа в тексте работы.

- 11** Активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза за 8 дней. Найдите период полураспада. Ответ дайте в днях.

Ответ: _____ дней.

- 12** При упругом центральном столкновении нейтрона с неподвижным ядром замедляющего вещества кинетическая энергия нейтрона уменьшилась в 1,4 раза, а направление скорости изменилось на обратное. Какова масса ядер замедляющего вещества? Ответ дайте в а.е.м.

Ответ: _____ а.е.м.

- 13** Определите энергетический выход ядерной реакции:
 ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$. Ответ дайте в МэВ.

Ответ: _____ МэВ.

- 14** Неподвижный нейтральный π -мезон, распадаясь, превращается в два одинаковых фотона. Определите энергию каждого фотона, если масса покоя π -мезона $M = 264,2 m_e$. Ответ дайте в МэВ.

Ответ: _____ МэВ.



ОТВЕТЫ К ПРИМЕРАМ ЗАДАНИЙ ЕГЭ

РАЗДЕЛ 1.1. КИНЕМАТИКА

№ задания	1	2	3
Ответ	5	a	24,8 км/ч
№ задания	4	5	6
Ответ	1,8	$1,74 \cdot 10^{-3}$	равнозамедленное
№ задания	7		
Ответ	10,5		

РАЗДЕЛ 1.2. ДИНАМИКА

№ задания	1	2	3
Ответ	сила трения	вверх	800
№ задания	4	5	6
Ответ	32	5	32
№ задания	7	8	9
Ответ	31	$\mu = \operatorname{tg} \alpha$	0,4
№ задания	10	11	
Ответ	71 110	14	

РАЗДЕЛ 1.3. СТАТИКА

№ задания	1	2	3
Ответ	3	7,5	по часовой стрелке
№ задания	4	5	6
Ответ	одинаково	2	35
№ задания	7	8	9
Ответ	понижается	155	7,2
№ задания	10	11	12
Ответ	20	0,04	0,73

РАЗДЕЛ 1.4. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

№ задания	1	2	3
Ответ	1,6	20	0
№ задания	4	5	6
Ответ	одинакова	500	41
№ задания	7	8	9
Ответ	3,3	2	3,5
№ задания	10		
Ответ	34		

$$11. \quad v'_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2} = 1,16 \text{ м/с}; \quad v'_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2} = 0,66 \text{ м/с}.$$

РАЗДЕЛ 1.5. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

№ задания	1	2	3	4
Ответ	13	72	невозможно выполнить задачу	увеличить вдвое
№ задания	5	6	7	8
Ответ	2	2	32	да
№ задания	9	10		
Ответ	0	7,4		

РАЗДЕЛ 2.1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

№ задания	1	2	3
Ответ	число молей	42	диффузии
№ задания	4	5	6
Ответ	уменьшится	573	$6,21 \cdot 10^{-21}$
№ задания	7	8	9
Ответ	не изменится	24	21
№ задания	10	11	
Ответ	0,3	83	

РАЗДЕЛ 2.2. ТЕРМОДИНАМИКА

№ задания	1	2	3
Ответ	25	уменьшится в 4 раза	42
№ задания	4	5	6
Ответ	1,7	удвоилась	1
№ задания	7	8	9
Ответ	5	16	4
№ задания	10		
Ответ	74		

РАЗДЕЛ 3.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

№ задания	1	2	3
Ответ	разноимённые	45	51
№ задания	4	5	6
Ответ	0	одинакова	–3
№ задания	7	8	9
Ответ	уменьшится вдвое	400	1,8
№ задания	10	11	
Ответ	6	0,036	

РАЗДЕЛ 3.2. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

№ задания	1	2	3
Ответ	увеличится в 6 раз	13	2
№ задания	4	5	6
Ответ	45	на четвёртом	<i>n</i> -типа
№ задания	7	8	9
Ответ	65	0,064	21
№ задания	10	11	
Ответ	1,67	0,3	

РАЗДЕЛ 3.3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

№ задания	1	2	3
Ответ	Южного географического полюса	51	0,5
№ задания	4	5	6
Ответ	от читателя	$4,8 \cdot 10^{-14}$	5
№ задания	7	8	9
Ответ	10^5	0,05	12

РАЗДЕЛ 3.4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

№ задания	1	2	3
Ответ	35	противоположно	параллельно
№ задания	4	5	6
Ответ	15	0,2	0,4
№ задания	7	8	9
Ответ	31,2	31,2	31
№ задания	10		
Ответ	21		

РАЗДЕЛ 3.5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

№ задания	1	2	3
Ответ	четвёртом	16	52
№ задания	4	5	6
Ответ	уменьшится	уменьшится	не имеется
№ задания	7	8	9
Ответ	8	32	массе
№ задания	10	11	12
Ответ	$5 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	2520

РАЗДЕЛ 3.6. ОПТИКА

№ задания	1	2	3
Ответ	45	13	Оптически однородной
№ задания	4	5	6
Ответ	14	интерференции	дифракции
№ задания	7	8	9
Ответ	$1,76 \cdot 10^8$	0,8	3,75

РАЗДЕЛ 4.1–4.3.**ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

№ задания	1	2	3
Ответ	45	в неподвижной	24
№ задания	4	5	6
Ответ	энергией покоя	34	0,69
№ задания	7	8	9
Ответ	равной скорости света	0,436	$7 \cdot 10^{12}$
№ задания	10	11	12
Ответ	$2,6 \cdot 10^8$	7,1	0,866

13. ${}_{5}^{11}\text{B} + {}_{2}^{4}\text{He} = {}_{0}^{1}n + {}_{7}^{14}\text{N}$

РАЗДЕЛ 5.1. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

№ задания	1	2	3
Ответ	45	квант действия	12
№ задания	4	5	6
Ответ	436	1,24	$6,6 \cdot 10^{-27}$
№ задания	7	8	9
Ответ	$4,4 \cdot 10^{-18}$	$2,2 \cdot 10^{-18}$	$3,3 \cdot 10^{-15}$
№ задания	10	11	12
Ответ	$2 \cdot 10^{-7}$	$9,1 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^{-19}$
№ задания	13		
Ответ	$1,67 \cdot 10^{-27}$		

РАЗДЕЛ 5.2. ФИЗИКА АТОМА

№ задания	1	2	3
Ответ	34	когерентность	$2 \cdot 10^{39}$
№ задания	4	5	6
Ответ	35	32	$1,1 \cdot 10^7$
№ задания	7	8	
Ответ	$3 \cdot 10^{-19}$	$1,21 \cdot 10^{-7}$	

РАЗДЕЛ 5.3. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

№ задания	1	2	3
Ответ	ядер атома гелия	электроны	12
№ задания	4	5	6
Ответ	3,8	15196	водорода
№ задания	7	8	9
Ответ	сильному	2020	7,7
№ задания	10	11	12
Ответ	86	4	-12
№ задания	13	14	
Ответ	17,3	67,5	



СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица 1. Основные единицы Международной системы (СИ)

Величина	Размер- ность	Единица СИ			Обозначение соответствующих величин в формулах
		Наимено- вание	Обозначение		
			между- народное	русское	
Длина	L	метр	m	м	L, l
Масса	M	килограмм	kg	кг	m
Время	T	секунда	s	с	t, τ
Сила электрического тока	I	ампер	A	А	I
Термодинамическая температура	Θ	кельвин	K	К	T
Количество вещества	N	моль	mol	моль	ν
Сила света	J	кандела	cd	кд	I, r

Таблица 2. Дополнительные единицы СИ

Величина	Размер- ность	Единица СИ			Обозначение соответствующих величин в формулах
		Наимено- вание	Обозначение		
			междуна- родное	русское	
Плоский угол	—	радиан	rad	рад	$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varphi$
Телесный угол	—	стерадиан	sr	ср	$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varphi$

Таблица 3. Производные единицы СИ

Величина	Обозначение в формулах соответствующих величин	Наименование	Русское обозначение	Размерность
Площадь	S	квадратный метр	м^2	м^2
Объём	V	кубический метр	м^3	м^3
Скорость	v	метр в секунду	м/с	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Ускорение	a	метр на секунду в квадрате	м/с^2	$\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Частота вращения	n	секунда в минус первой степени	с^{-1}	с^{-1}
Частота периодического процесса	ν, f	герц	Гц	с^{-1}
Угловая скорость	ω	радиан в секунду	рад/с	$\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}$
Плотность	ρ	килограмм на кубический метр	кг/м^3	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Сила	F	ньютон	Н	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Работа	A	джоуль	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Энергия	W, E	джоуль	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность	P, N	ватт	Вт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Момент силы	M	ньютон-метр	$\text{Н} \cdot \text{м}$	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Давление	p	паскаль	Па	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$

Продолжение таблицы

Величина	Обозначение в формулах соответствующих величин	Наименование	Русское обозначение	Размерность
Количество теплоты	Q	джоуль	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Удельная теплоёмкость	c	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг · К)	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$
Теплоёмкость	C	джоуль на кельвин	Дж/К	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$
Удельная теплота сгорания	q	джоуль на килограмм	Дж/кг	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Электрический заряд	Q, q	кулон	Кл	$\text{А} \cdot \text{с}$
Поверхностная плотность электрического заряда	σ	кулон на квадратный метр	Кл/м ²	$\text{м}^{-2} \cdot \text{с} \cdot \text{А}$
Электрическое напряжение	U	вольт	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Напряжённость электрического поля	E	вольт на метр	В/м	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Потенциал электрический	φ	вольт	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Электродвижущая сила	E	вольт	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$

Окончание таблицы

Величина	Обозначение в формулах соответствующих величин	Наименование	Русское обозначение	Размерность
Электрическая ёмкость	C	фарад	Ф	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Электрическое сопротивление	R, r	ом	Ом	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Удельное электрическое сопротивление	ρ	ом-метр	Ом·м	$\text{м}^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Магнитная индукция	B	тесла	Тл	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитный поток	Φ	вебер	Вб	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Индуктивность	L	генри	Гн	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Поглощённая доза излучения	G	грей	Гр	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Активность нуклида в радиоактивном источнике	J	беккерель	Бк	с^{-1}
Экспозиционная доза фотонного излучения (экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучения)	Q	кулон на килограмм	Кл/кг	$\text{кг}^{-1} \cdot \text{с} \cdot \text{Кд}$

Таблица 4. Внесистемные единицы, допускаемые к применению в специальных областях

Величина	Наименование	Русское обозначение	Значение в единицах СИ
Длина	астрономическая единица	а.е.	$1,49598 \cdot 10^{11}$ м
	световой год	св. год	(среднее значение радиуса орбиты Земли)
	парсек	пк	$9,4605 \cdot 10^{15}$ м
Время	минута	мин	$3,0857 \cdot 10^{16}$ м
	час	ч	60 с
	сутки	сут	3600 с
	сутки	сут	86 400 с
Масса	тонна	т	10^3 кг
	центнер	ц	10^2 кг
Температура	градус Цельсия	°C	°C = T°K – 273,15
Плоский угол	градус	°	$\pi/180$ рад = $1,745 \dots \cdot 10^{-2}$ рад
	минута	'	$\pi/10\,800$ рад = $2,908 \dots \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	"	$\pi/648\,000$ рад = $4,848 \dots \cdot 10^{-6}$ рад
Площадь	гектар	га	$10\,000$ м ²
Объём	литр	л	$0,001$ м ³
Скорость	километр в час	км/ч	$10/36$ м/с = $0,2777$ м/с
Работа, энергия	киловатт-час	кВт·ч	$3\,600\,000$ Дж
	электрон-вольт	эВ	$1,60219 \cdot 10^{-19}$ Дж
Количество электричества	ампер-час	А·ч	$3\,600$ Кл

Таблица 5. Основные физические постоянные

Величина	Обозначение	Значение
Гравитационная постоянная	G	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Скорость света в вакууме	c	$2,9979 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Скорость звука в воздухе в нормальных условиях	v_3	$331,46 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1} = 1,2566 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$
Магнетон Бора	μ_B	$9,2741 \cdot 10^{-24} \text{ Дж} \cdot \text{Тл}^{-1}$
Магнитный момент электрона	μ_e	$9,2848 \cdot 10^{-24} \text{ Дж} \cdot \text{Тл}^{-1}$
Магнитный момент протона	μ_p	$1,4106 \cdot 10^{-26} \text{ Дж} \cdot \text{Тл}^{-1}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Постоянная Планка	h $\hbar = h/2\pi$	$6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ $1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $5,4858 \cdot 10^{-4} \text{ а. е. м.}$
Масса покоя протона	m_p	$1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $1,0073 \text{ а. е. м.}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $1,0087 \text{ а. е. м.}$
Заряд электрона (абс. значение)	e	$1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Атомная единица массы	а. е. м.	$1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Отношение заряда электрона к его массе	e / m_e	$1,7588 \cdot 10^{11} \text{ Кл} \cdot \text{кг}^{-1}$
Отношение массы протона к массе электрона	m_p / m_e	$1836,1515$

Окончание таблицы

Величина	Обозначение	Значение
Постоянная Авогадро	N_A	$6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Фарадея	F	$96484,56 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R	$8,3144 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k_B	$1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Нормальный (молярный) объём идеального газа при нормальных условиях ($t = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 101,325 \text{ кПа}$)	V_0	$2,241 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{моль}$
Нормальное атмосферное давление	$p_{\text{атм.н}}$	101 325 Па
Ускорение свободного падения (нормальное)	g_n	$9,80665 \text{ м/с}^2$
Энергия покоя электрона	$m_e c^2$	0,5110034 МэВ
Энергия покоя протона	$m_p c^2$	938,2796 МэВ
Энергия покоя нейтрона	$m_n c^2$	939,5731 МэВ
Масса атома водорода	^1H	$1,07825036 \text{ а. о. м.}$
Масса атома дейтерия	^2H	$2,014101795 \text{ а. о. м.}$
Масса атома гелия-4	^4He	$4,002603267 \text{ а. о. м.}$
Радиус первой бортовой орбиты	a_0	$5,2917706 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Классический радиус электрона	r_e	$2,8179380 \cdot 10^{-15} \text{ м}$

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Справочное издание
анықтамалықбаспа

Для старшего школьного возраста
мектепжасындағыересекбалаларғаарналған

ПОЛНЫЙ ШКОЛЬНЫЙ КУРС В ТАБЛИЦАХ И СХЕМАХ

Бальва Ольга Павловна

ФИЗИКА

(орыстілінде)

Ответственный редактор А. Жилинская
Ведущий редактор Т. Судакова
Художественный редактор И. Успенский

В оформлении обложки использована иллюстрация:

© SERASOOT / Shutterstock.com

Используется по лицензии от Shutterstock.com

ООО «Издательство «Эксмо»

123308, Россия, Москва, ул. Зорге, д. 1. Тел.: 8 (495) 411-68-86.

Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru

Өндіруші: «ЭКМО» АҚБ Баспасы, 123308, Мәскеу, Ресей, Зорге көшесі, 1 үй.

Тел.: 8 (495) 411-68-86.

Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru.

Тауар белгісі: «Эксмо»

Интернет-магазин : www.book24.ru

Интернет-магазин : www.book24.kz

Интернет-дүкен : www.book24.kz

Импортёр в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».

Қазақстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.

Дистрибьютор и представитель по приему претензий на продукцию,

в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»

Қазақстан Республикасында дистрибьютор және өнім бойынша арыз-талаптарды

қабылдаушының өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС,

Алматы қ., Домбровский көш., 3«а», литер Б, офис 1.

Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz

Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.

Сертификация туралы ақпарат сайтта: www.eksmo.ru/certification

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ

о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»

www.eksmo.ru/certification

Өндірген мемлекет: Ресей. Сертификация қарастырылған

Продукция соответствует требованиям ТР ТС 007/2011

Дата изготовления / Подписано в печать 20.03.2020. Формат 70x100¹/₁₆.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,26.

Тираж

экз. Заказ

ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ К НАМ!



eksmo.ru

МЫ В СОЦСЕТЯХ:



eksmove



eksmo



eksmove



eksmo.ru



eksmo_live



eksmo_live

ISBN 978-5-04-110761-1



9 785041 107611 >



ПОЛНЫЙ ШКОЛЬНЫЙ КУРС

в таблицах

и схемах

Справочник содержит наглядное и доступное изложение теории в таблицах и схемах, а также тренировочные задания в формате ЕГЭ с ответами для оперативного контроля знаний.

Книга поможет:

- повторить все темы, проверяемые на экзамене;
- выработать навыки выполнения заданий разных типов;
- обобщить и систематизировать знания.



#эксмодетство

ISBN 978-5-04-110761-1



9 785041 110761 >

www.vk.com/eksmo_kids