К НОВОЙ ОФИЦИАЛЬНОЙ ВЕРСИИ

ЕГЭ 2020

О. И. Громцева

ФИЗИКА

100 БАЛЛОВ

- Теоретический материал
- Обобщающие таблицы
- Указания к решению задач
- Алгоритмы решения задач
- Задачи для самостоятельного решения
- Ответы

эффективный тренинг

Издательство ЭКЗАМЕН®

О. И. Громцева

ЕГЭ 100 БАЛЛОВ

ФИЗИКА

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К ЕГЭ

Теоретический материал
Обобщающие таблицы
Указания к решению задач
Алгоритмы решения задач
Задачи для самостоятельного решения
Ответы

Издательство
«ЭКЗАМЕН»
МОСКВА, 2020

УДК 372.8:53
ББК 74.262.22
Г87

Громцева О. И.

Г87 ЕГЭ 2020. 100 баллов. Физика: Самостоятельная подготовка к ЕГЭ / О. И. Громцева. — М. : Издательство «Экзамен», 2020. — 383, [1] с. (Серия «ЕГЭ. 100 баллов»)

ISBN 978-5-377-14953-8

Данное пособие охватывает весь школьный курс физики, начиная с «Механики» и заканчивая «Квантовой физикой». Оно содержит определения, законы, формулы, алгоритмы решения физических задач и «слова-указания» к их решению, в которых иногда скрывается ключ самого решения.

В книге приведено большое количество задач в формате ЕГЭ для самостоятельного решения, которые подобраны по принципу от простого к сложному.

Пособие предназначено для старшеклассников, готовящихся к выпускному экзамену по физике.

Приказом № 699 Министерства образования и науки Российской Федерации учебные пособия издательства «Экзамен» допущены к использованию в общеобразовательных организациях.

УДК 372.8:53
ББК 74.262.22

Формат 60x90/16. Гарнитура «Таймс».
Бумага газетная. Уч.-изд. л. 12,09. Усл. печ. л. 24.
Тираж 8000 экз. Заказ № 1600.

ISBN 978-5-377-14953-8

© Громцева О. И., 2020
© Издательство ***«ЭКЗАМЕН»***, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 6

1. КИНЕМАТИКА

Механическое движение и его характеристики 7
Равномерное прямолинейное движение 11
Относительность механического движения 17
Средняя скорость 25
Равноускоренное прямолинейное движение 28
Свободное падение 45
Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью 55

2. ДИНАМИКА

Три закона Ньютона 60
Сила всемирного тяготения 66
Сила тяжести 68
Сила упругости 74
Силы трения 76
Применение законов Ньютона 80
Вес тела 89
Динамика движения по окружности с постоянной по модулю скоростью 93

3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Импульс тела 97
Реактивное движение 102
Закон сохранения импульса 104
Механическая работа 109
Механическая энергия. Ее виды 112
Мощность 115
Закон сохранения механической энергии 121

4. СТАТИКА

Момент силы. Правило моментов 141
Давление твердого тела. Сила давления 151

5. ГИДРОСТАТИКА

Давление в жидкостях и газах. Сила давления 152
Сообщающиеся сосуды 154
Архимедова сила 159

6. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ

Основные положения молекулярно-кинетической теории и их опытное обоснование 167
Идеальный газ. Основное уравнение МКТ идеального газа 172
Уравнение состояния идеального газа 176
Объединенный газовый закон 179
Закон Дальтона 184
Испарение и конденсация. Влажность воздуха 189

7. ТЕРМОДИНАМИКА

Внутренняя энергия вещества 193
Внутренняя энергия идеального газа 207
Работа идеального газа 209
Первое начало термодинамики 211
Тепловые машины 216

8. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электрический заряд. Закон сохранения заряда. Электрическое поле 221
Закон Кулона 223
Характеристики электрического поля 225
Электростатическое поле точечного заряда 227
Принцип суперпозиции сил и полей 229
Электростатическое поле заряженной сферы 234
Однородное электростатическое поле 237
Работа однородного электрического поля 240
Конденсаторы 241

9. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Электрический ток в металлах 257
Соединения проводников 263
Полная цепь 267
Работа и мощность электрического тока 269
Электрический ток в жидкостях, полупроводниках, в вакууме, в газах 274

10. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Вектор магнитной индукции. Линии магнитной индукции 279
Принцип суперпозиции полей 284

Сила Ампера 286
Сила Лоренца 292
Магнитный поток 303
Правило Ленца 304
Закон электромагнитной индукции 306

11. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Свободные колебания 312
Превращение энергии 322
Вынужденные колебания 326
Переменный электрический ток 327
Волны 330

12. ОПТИКА

Законы геометрической оптики 335
Линзы 339
Формула тонкой линзы 348
Волновые свойства света 352
Элементы теории относительности 358

13. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Тепловое излучение 360
Фотоэффект 361
Световые кванты 365
Строение атома 367
Постулаты Бора 368
Атомное ядро 371
Радиоактивность 373

ОТВЕТЫ 378

ПРЕДИСЛОВИЕ

Это пособие предназначено для старшеклассников, готовящихся к выпускному экзамену по физике за курс средней школы в формате ЕГЭ. Оно будет полезно и для самообразования.

Здесь вы найдете необходимый теоретический материал, изложенный простым и понятным языком, много математических и физических формул, необходимых для решения задач. Особое внимание уделяется единицам физических величин и связям между ними. Важная особенность этой книги — советы о «словах-подсказках», в которых подчас скрывается ключ к решению задач.

В пособии содержится много обобщающих таблиц, которые облегчают понимание и запоминание материала. Особый интерес представляют алгоритмы решения задач и многочисленные чертежи.

Достоинство этой книги — охват всего учебного материала, изучаемого на уроках физики, начиная с «Механики» и заканчивая «Квантовой физикой». Пользуясь пособием как справочником, вы сможете легко возвращаться к ранее изученному материалу.

К каждому пункту даются задачи, подобранные по принципу от простого к сложному. Задачи на построение изображения в тонких линзах можно выполнять прямо в книге. Это позволит значительно сэкономить время.

Желаем удачи!

1. КИНЕМАТИКА

Механическое движение и его характеристики

Изучение курса физики принято начинать с механики. Механика изучает самый простой и наглядный вид движения — механическое движение.

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

По характеру движения точек различают три вида движения:

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

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

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

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

Основная задача механики — определять положение тела в пространстве в любой момент времени.

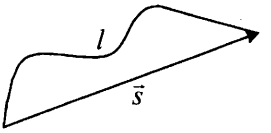
Материальная точка — это тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи. Тело можно принять за материальную точку, если оно движется поступательно или если его размеры много меньше расстояний, которые тело проходит.

Систему отсчета вводят для того, чтобы задать положение материальной точки в пространстве. В нее входят: тело отсчета (любое тело), система координат (одномерная, двухмерная или трехмерная) и часы (начало отсчета времени совпадает с началом движения тела).

Решить основную задачу механики — определить координаты тела в любой момент времени.

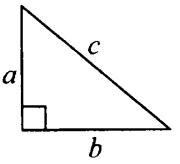
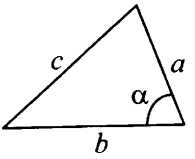
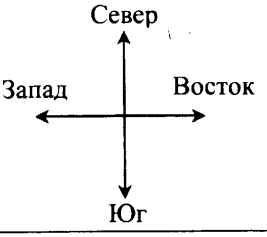
Траектория — линия, вдоль которой движется тело.

Путь l (м) — длина траектории.



Перемещение $\vec{s}$ (м) — это вектор, соединяющий начальное положение тела с конечным. Обычно $l > |\vec{s}|$; $l = |\vec{s}|$, если тело движется по прямой в одну сторону.

Подсказки к задачам

Длина гипотенузы по теореме Пифагора $c = \sqrt{a^2 + b^2}$	
Сторона треугольника по теореме косинусов $c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\alpha}$	
Длина окружности $l = 2\pi R = \pi d$	R, d — радиус и диаметр окружности
Длина дуги $l = \frac{\pi R}{180^\circ} \cdot \alpha^\circ$, или $l = \eta 2\pi R$	η — часть окружности
Направления движения	

ЗАДАЧИ

1. Два тела, брошенные с поверхности земли вертикально вверх, достигли высот 10 м и 20 м и упали на землю. На сколько отличаются пути, пройденные этими телами?

Ответ: ____ м

2. Два тела, брошенные с поверхности земли вертикально вверх, достигли высот 10 м и 20 м и упали на землю. Во сколько раз путь, пройденный первым телом, меньше пути, пройденного вторым?

Ответ: в ____ раза

3. Человек обошел круглое озеро диаметром 1 км. Выберите ***два*** верных утверждения, укажите их номера.

1) Путь равен 3,14 км, модуль перемещения равен 1 км.
2) Путь равен 3,14 км, модуль перемещения равен нулю.
3) Путь равен нулю, модуль перемещения равен 3,14 км.
4) Путь и модуль перемещения совпадают.
5) Траекторией движения человека является окружность.

Ответ: ☐☐

4. Точка движется по окружности радиусом 2 м, и ее перемещение равно по модулю диаметру. Чему равен путь, пройденный телом?

Ответ: ____ м

Проекции вектора перемещения на оси координат

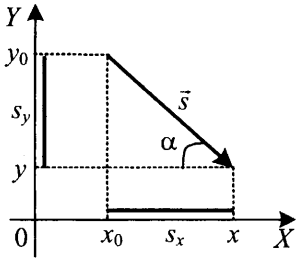
Проекция вектора перемещения на ось $0X$:

$$s_x = x - x_0 .$$

Проекция вектора перемещения на ось $0Y$:

$$s_y = y - y_0 .$$

Проекция вектора на ось равна нулю, если вектор перпендикулярен оси.



Знаки проекций перемещения: проекцию считают *положительной,* если движение от проекции начала вектора к проекции конца происходит по направлению оси, и *отрицательной,* если против оси. В данном примере $s_x > 0$; $s_y < 0$.

Модуль перемещения — это длина вектора перемещения*:

$$|\vec{s}| = s .$$

По теореме Пифагора

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \text{ или } s = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} .$$

Проекции перемещения и угол наклона

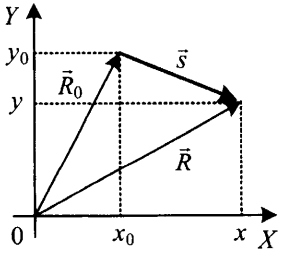
$$s_x = \pm s \cos\alpha ; \; s_y = \pm s \sin\alpha .$$

В данном примере $s_x = s\cos\alpha$; $s_y = -s\sin\alpha$.

Уравнение координаты (в общем виде):

$$x = x_0 + s_x \text{ или } y = y_0 + s_y .$$

Радиус-вектор — вектор, начало которого совпадает с началом координат, а конец — с положением тела в данный момент времени. Проекции радиуса-вектора на оси координат определяют координаты тела в данный момент времени.



* В дальнейшем модуль любого вектора будем обозначать просто буквой без вектора.

Радиус-вектор позволяет задать положение материальной точки в заданной системе отсчета:

$$\vec{s} = \Delta\vec{R} = \vec{R} - \vec{R}_0.$$

Равномерное прямолинейное движение

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

Скорость при равномерном прямолинейном движении

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

В векторном виде:

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

В проекциях на ось *OX:*

$$v_x = \frac{s_x}{t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

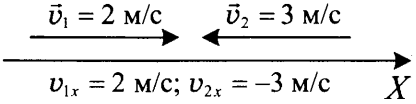
Дополнительные единицы измерения скорости:

1 км/ч = 1000 м / 3600 с 1 см/с = 0,01 м/с

1 км/с = 1000 м/с 1 м/мин = 1 м / 60 с

Измерительный прибор — *спидометр* — показывает модуль скорости.

Знак проекции скорости зависит от направления вектора скорости и оси координат:



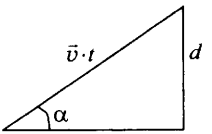
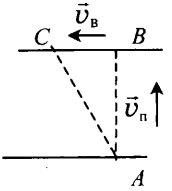
Задание. Переведите в СИ: 72 км/ч; 108 км/ч; 90 км/ч; 54 км/ч; 36 км/ч; 60 км/ч; 100 км/ч; 8 км/с; 12 км/с; 20 см/с; 5 см/с; 30 мм/с; 60 м/мин; 120 м/мин.

Советы и подсказки для решения задач на определение параметров равномерного прямолинейного движения

• Если в условии задачи скорость тела выражена в метрах в секунду, то время необходимо переводить в секунды, путь выражать в метрах. Если скорость — в километрах в час, то время следует переводить в часы, а путь — в километры.

Путь и проекция перемещения: $l = s_x$; $s_x = \upsilon_x t$.

Уравнение координаты: $x = x_0 + \upsilon_x t$.

Задачи	*Подсказки*
1. Пешеход переходил дорогу со скоростью $\vec{\upsilon}$ по прямой, составляющей угол α с направлением дороги, в течение времени t. Определите ширину дороги d.	 Надо воспользоваться свойством прямоугольного треугольника $d = \upsilon \cdot t \cdot \sin\alpha$
2. Поезд, длина которого $l_п$, равномерно движется по мосту со скоростью $\vec{\upsilon}$. За какое время поезд пройдет мост, если его длина $l_м$?	 *Учтите*: движение по мосту начинается, когда головной вагон заезжает на мост, а заканчивается, когда хвостовой вагон с моста съезжает $t = \dfrac{l_п + l_м}{\upsilon}$
3. Вагон шириной AB, движущийся со скоростью $\vec{\upsilon}_в$, был пробит пулей, летевшей перпендикулярно направлению движения вагона. Смещение отверстий в стенах вагона относительно друг друга BC. Найдите скорость пули $\vec{\upsilon}_п$.	 *Учтите*: время полета пули внутри вагона равно времени движения поезда $\dfrac{AB}{\upsilon_п} = \dfrac{BC}{\upsilon_в}$

ЗАДАЧИ

5. Тело, двигаясь равномерно и прямолинейно, за 10 с перемещается из точки A с координатами (0; 2) в точку B с координатами (4; –1). Чему равен модуль скорости?

Ответ: ____ м/с

6. Тело, двигаясь равномерно и прямолинейно, за 10 с перемещается из точки A с координатами (1; 2) в точку B с координатами (4; –1). Под каким углом к оси 0X направлена скорость тела?

Ответ: ____°

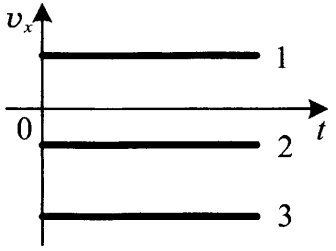
7. Координата тела изменяется с течением времени согласно формуле $x = 15 - 3t$. Чему равна координата этого тела через 3 с после начала движения?

Ответ: ____ м

8. Координата тела изменяется с течением времени согласно формуле $x = 10 - 4t$. Чему равен модуль скорости тела через 5 с после начала движения?

Ответ: ____ м/с

График проекции скорости представляет собой график зависимости проекции скорости от времени. Проекция скорости при равномерном прямолинейном движении не изменяется: $\upsilon_x = \text{const}$.



Как выглядит график?	График скорости *при равномерном прямолинейном движении* — прямая, параллельная оси времени (1, 2, 3).
Как по графику определить направление движения?	Если график лежит над осью времени (1), то тело движется по направлению оси $0X$. Если график расположен под осью времени, то тело движется против оси $0X$ (2, 3).
Как по графику сравнить модули скорости?	Чем дальше график от оси времени, тем больше модуль скорости (3).

Геометрический смысл перемещения. При равномерном прямолинейном движении перемещение определяется по формуле $\vec{s} = \vec{\upsilon} \cdot t$. Такой же результат получается, если вычислить площадь фигуры под графиком скорости в осях (υ_x, t). Значит, для определения пути и модуля перемещения при прямолинейном движении необходимо вычислять площадь фигуры под графиком скорости в осях (υ_x, t):

$$s = S_{\text{фигуры}}.$$

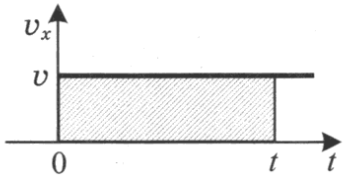
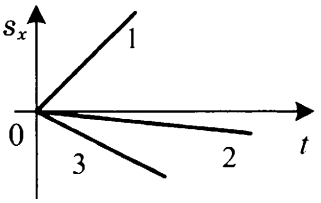
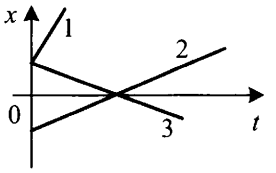


График проекции перемещения — график зависимости проекции перемещения от времени. Проекция перемещения при равномерном прямолинейном движении: $s_x = \upsilon_x t$.



Как выглядит график?	График проекции перемещения *при равномерном прямолинейном движении* — прямая, выходящая из начала координат (1, 2, 3).
Как по графику определить направление движения?	Если прямая (1) лежит над осью времени, то тело движется по направлению оси $0X$, а если под осью (2, 3), то против оси $0X$.
Как по графику сравнить модули скоростей?	Чем больше тангенс угла наклона (1) графика к оси t, тем больше модуль скорости.

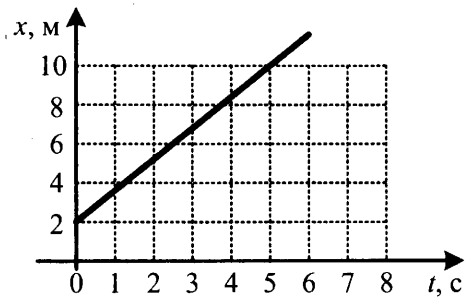
График координаты — график зависимости координаты тела от времени. Уравнение координаты при равномерном прямолинейном движении: $x = x_0 + v_x t$.



Как выглядит график?	График координаты при равномерном прямолинейном движении — прямая (1, 2, 3).
Как по графику определить направление движения?	Если с течением времени координата увеличивается (1, 2), то тело движется по направлению оси $0X$; если координата уменьшается (3), то тело движется против направления оси $0X$.
Как по графику сравнить модули скоростей?	Чем больше тангенс угла наклона графика к оси t (1), тем больше модуль скорости.
Как по графику определить модуль скорости тела за некоторый интервал времени Δt ?	$v = \left\|\frac{\Delta x}{\Delta t}\right\|$, где Δx — изменение координаты тела за некоторый интервал времени Δt.
Как по графику определить время и место встречи двух тел?	Если графики координат двух тел пересекаются, то из точки пересечения следует опустить перпендикуляры на ось времени и ось координат.

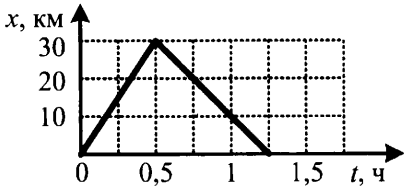
ЗАДАЧИ

9. На рисунке представлен график движения тела. Определите значение скорости его движения в момент времени 5 с.



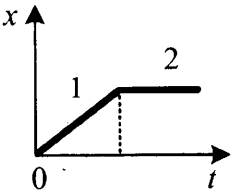
Ответ: ____ м/с

10. На рисунке представлен график движения автобуса из пункта А в пункт В и обратно. Пункт А находится в точке $x = 0$, а пункт В — в точке $x = 30$ км. Чему равна максимальная скорость автобуса на всем пути следования туда и обратно?



Ответ: ____ км/ч

11. Бусинка может свободно скользить по неподвижной горизонтальной спице. На графике изображена зависимость ее координаты от времени.



Выберите ***два*** утверждения, которые можно сделать на основании графика.

1) Скорость бусинки на участке 1 постоянна, а на участке 2 равна нулю.
2) Проекция ускорения бусинки на участке 1 положительна, а на участке 2 отрицательна.
3) Участок 1 соответствует равномерному движению бусинки, а на участке 2 бусинка неподвижна.
4) Участок 1 соответствует равноускоренному движению бусинки, а на участке 2 — равномерному.
5) Проекция ускорения бусинки на участке 1 отрицательна, а на участке 2 — положительна.

Ответ: | | |

Относительность механического движения

Под относительностью понимают зависимость чего-либо от выбора системы отсчета. Например, покой относителен; движение относительно и положение тела относительно.

Правило сложения перемещений

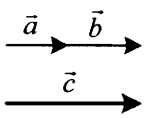
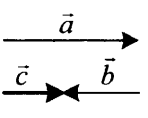
Векторная сумма перемещений

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

где $\vec{s}_1$ — перемещение тела относительно подвижной системы отсчета (ПСО); $\vec{s}_2$ — перемещение ПСО относительно неподвижной системы отсчета (НСО); $\vec{s}'$ — перемещение тела относительно неподвижной системы отсчета (НСО).

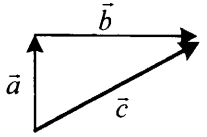
Векторное сложение

$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b} .$$

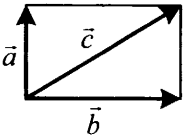
Сложение векторов, направленных вдоль одной прямой	
$\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{b}$  $c = a + b$	$\vec{a} \downarrow\uparrow \vec{b}$  $c = \lvert a - b \rvert$

Сложение векторов, перпендикулярных друг другу $\vec{a} \perp \vec{b}$

Правило треугольника



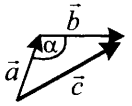
Правило параллелограмма



По теореме Пифагора

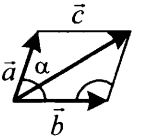
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Сложение векторов, расположенных под углом α друг к другу



По теореме косинусов

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\alpha}$$



По теореме косинусов

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos(180° - \alpha)}$$

Правило сложения скоростей

Векторная сумма скоростей $\vec{v}' = \vec{v} + \vec{u}$, где $\vec{v}$ — скорость тела относительно подвижной системы отсчета (ПСО); $\vec{u}$ — скорость ПСО относительно неподвижной системы отсчета (НСО); $\vec{v}'$ — скорость тела относительно неподвижной системы отсчета (НСО).

Частные случаи сложения скоростей

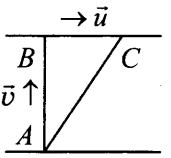
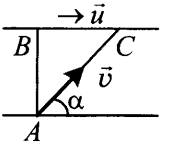
Тело плывет по течению $\vec{v} \uparrow\uparrow \vec{u}$ $v' = v + u$	Тело плывет против течения $\vec{v} \uparrow\downarrow \vec{u}$ $v' = v - u$	Тело плывет перпендикулярно течению $\vec{v} \perp \vec{u}$ $v' = \sqrt{v^2 + u^2}$
Катер движется по озеру $v' = v$, так как $u = 0$	Лодка плывет в стоячей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

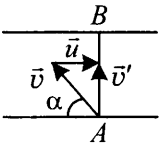
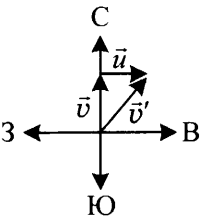
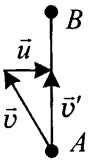
Советы и подсказки для решения задач на правило сложения скоростей

• При решении задач на правило сложения скоростей можно не переводить единицы измерения в СИ, но в рамках одной задачи время, скорость и путь должны быть согласованы между собой.

• Если тело проходит одинаковое расстояние, двигаясь с разной скоростью, то пройденный путь:

$$l = (v+u)t_1 = (v-u)t_2 = vt_3 = ut_4.$$

Задачи	*Подсказки*
1. Катер двигался со скоростью $\vec{v}$ перпендикулярно течению реки в системе отсчета, связанной с водой. На сколько будет снесен катер течением, если скорость течения реки $\vec{u}$ и ее ширина AB?	**Переправа**  *Учтите*: время движения лодки и течения одинаково: $\frac{AB}{v} = \frac{BC}{u} \Rightarrow BC = \frac{AB \cdot u}{v}$
2. Моторная лодка развивает скорость $\vec{v}$. За какое минимальное время лодка может пересечь реку шириной AB при скорости реки $\vec{u}$?	**Минимальное время**  *Учтите*: время движения лодки $t = \frac{AB}{v \sin\alpha}$; оно минимально, если $\alpha = 90°$, т. е. $\vec{v} \perp AB$, поэтому $t_{\min} = \frac{AB}{v}$

Задачи	*Подсказки*
3. Моторная лодка, имеющая собственную скорость $\vec{v}$, должна переправиться через реку по кратчайшему пути. Под каким углом к берегу следует направлять лодку, если скорость течения реки $\vec{u}$?	**Кратчайший путь *AB***  $\vec{v}' \uparrow\uparrow AB$, $v' = \sqrt{v^2 - u^2}$, собственная скорость лодки направлена под углом α к берегу $\cos\alpha = \frac{u}{v}$
4. Вертолет летел на север со скоростью $\vec{v}$ относительно земли. С какой скоростью относительно земли будет лететь вертолет, если подует западный ветер со скоростью $\vec{u}$?	 *Учтите*: название ветра говорит о том, откуда он дует $v' = \sqrt{v^2 + u^2}$
5. В безветренную погоду самолет затрачивает t ч на перелет между городами A и B. На сколько увеличится время полета, если будет дуть боковой ветер со скоростью $\vec{u}$ перпендикулярно линии полета? Скорость самолета относительно воздуха $\vec{v}$.	 *Учтите:* самолет не должен отклоняться от заданного курса $t = \frac{AB}{v}$, $t' = \frac{AB}{v'} = \frac{AB}{\sqrt{v^2 - u^2}}$

ЗАДАЧИ

12. Катер, двигаясь вдоль по реке, проходит 2 км по течению, разворачивается (мгновенно) и возвращается в пункт отправления. Скорость катера относительно воды 36 км/ч, а скорость течения реки 4 км/ч. Чему равно полное время движения катера туда и обратно?

Ответ: ____ мин

13. Пловец плывет перпендикулярно направлению течения реки. Чему равна скорость пловца относительно берега реки, если его скорость относительно воды 0,4 м/с, а скорость течения 0,3 м/с?

Ответ: ____ м/с

14. Пловец переплывает реку по кратчайшему пути. Скорость пловца относительно воды 5 км/ч, скорость течения 3 км/ч. Чему равна скорость пловца относительно берега?

Ответ: ____ км/ч

15. Самолет летит из города A в город B со скоростью 328 км/ч относительно воздуха. На трассе полета со скоростью 72 км/ч дует ветер, направление которого перпендикулярно отрезку, соединяющему эти города. Определите модуль скорости самолета относительно земли.

Ответ: ____ км/ч

16. В безветренную погоду самолет затрачивает на перелет между городами 6 часов. Если во время полета дует боковой ветер со скоростью 20 м/с перпендикулярно линии полета, то самолет затрачивает на перелет на несколько минут больше. Определите, на какое время увеличивается время полета, если скорость самолета относительно воздуха постоянна и равна 328 км/ч.

Ответ: ____ мин

Относительная скорость

Векторная разность скоростей

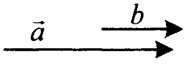
$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2 = \vec{v}_{12},$$

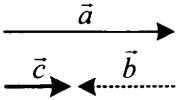
где $\vec{v}_{\text{отн}}$ — скорость первого тела относительно второго (относительная скорость); $\vec{v}_1$ — скорость первого тела; $\vec{v}_2$ — скорость второго тела.

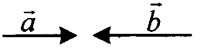
Учтите: $v_{21x} = v_{2x} - v_{1x}$ — проекция скорости второго тела относительно первого.

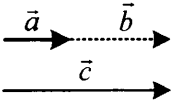
Векторное вычитание

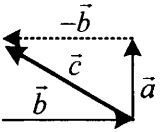
$$\vec{c} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b}).$$

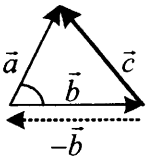
<table>
<tr><th colspan="2">Вычитание векторов, направленных по одной прямой</th></tr>
<tr><td>$\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{b}$


Построение:


$c = \lvert a - b \rvert$</td><td>$\vec{a} \downarrow\uparrow \vec{b}$


Построение:


$c = a + b$</td></tr>
<tr><td>Вычитание векторов, перпендикулярных друг другу
$\vec{a} \perp \vec{b}$


По теореме Пифагора
$c = \sqrt{a^2 + b^2}$</td><td>Вычитание векторов, расположенных под углом α друг к другу


По теореме косинусов
$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\alpha}$</td></tr>
</table>

Частные случаи определения относительной скорости

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

ЗАДАЧИ

17. Два автомобиля движутся по прямой дороге в одном направлении: один — со скоростью 110 км/ч, а второй — со скоростью 60 км/ч. Чему равен модуль скорости первого автомобиля в системе отсчета, связанной со вторым автомобилем?

Ответ: ____ км/ч

18. Два велосипедиста едут в одном направлении по прямому шоссе с одинаковыми скоростями 18 м/с. Чему равна относительная скорость велосипедистов?

Ответ: ____ м/с

19. Два автомобиля едут по прямому шоссе в одном направлении: первый — со скоростью 40 км/ч, а второй — со скоростью 120 км/ч. Определите скорость второго автомобиля относительно первого.

Ответ: ____ км/ч

20. Два автомобиля движутся по прямому шоссе навстречу друг другу: первый — со скоростью 50 км/ч, второй — со скоростью 110 км/ч. Определите модуль скорости второго автомобиля относительно первого.

Ответ: ____ км/ч

21. Два самолета, пассажирский и истребитель, летят во взаимно перпендикулярных направлениях. Скорость пассажирского лайнера равна по модулю 330 км/ч, а модуль скорости истребителя

равен 440 км/ч. Вычислите модуль скорости истребителя относительно пассажирского лайнера.

Ответ: ____ км/ч

22. Два автомобиля движутся по взаимно перпендикулярным дорогам. Скорость первого автомобиля относительно дороги по модулю равна 60 км/ч, а модуль скорости второго относительно первого равен 75 км/ч. Определите модуль скорости второго автомобиля относительно дороги.

Ответ: ____ км/ч

Советы для решения задач на определение относительной скорости

• При решении задач на определение относительной скорости можно не переводить единицы измерения в СИ, но в рамках одной задачи время, скорость и путь должны быть согласованы между собой.

Задачи	*Подсказки*
1. В течение какого времени пассажир, стоящий у окна поезда, идущего со скоростью $\vec{v}_1$, будет видеть проходящий *мимо* него встречный поезд, скорость которого $\vec{v}_2$, а длина l?	**Время движения мимо окна (или пассажира)** $t = \dfrac{l}{v_1 \pm v_2}$ «+» встречный поезд, «–» попутный поезд В этой задаче $t = \dfrac{l}{v_1 + v_2}$
2. По параллельным железнодорожным путям в одном направлении следует товарный поезд длиной l_1 со скоростью $\vec{v}_1$ и электропоезд длиной l_2 со скоростью $\vec{v}_2$. В течение какого времени электропоезд будет *обгонять* товарный? Движение поездов считайте равномерным.	**Время движения одного поезда мимо другого** $t = \dfrac{l_1 + l_2}{v_{\text{отн}}}$ *Учтите:* обгон начинается, когда головной вагон электропоезда достигает хвостового вагона товарного, а заканчивается, когда хвостовой вагон электропоезда «покидает» головной вагон товарного. В этой задаче $t = \dfrac{l_1 + l_2}{v_2 - v_1}$

УПРАЖНЕНИЯ

1. Два поезда идут навстречу друг другу по параллельным путям со скоростью 20 м/с и 15 м/с. Определите время, в течение которого мимо пассажира, находящегося в первом поезде, будет проходить второй поезд, длина которого 175 м. **(5 с)**

2. Сколько времени пассажир, сидящий у окна поезда, идущего со скоростью 36 км/ч, будет видеть обгоняющий поезд длиной 120 м, движущийся со скоростью 72 км/ч? **(12 с)**

3. Два поезда идут навстречу друг другу со скоростями 36 км/ч и 54 км/ч. Пассажир в первом поезде замечает, что второй поезд проходит мимо него в течение 8 с. Какова длина второго поезда? **(200 м)**

4. Пассажир поезда, идущего со скоростью 30 м/с, видит в окне товарный поезд попутного направления, который движется с меньшей скоростью, в течение 10 с. Определите скорость товарного поезда, если его длина 250 м. **(5 м/с)**

5. В течение какого времени скорый поезд длиной 300 м, идущий со скоростью 72 км/ч, будет проходить мимо встречного товарного поезда длиной 600 м, идущего со скоростью 36 км/ч? **(30 с)**

6. По параллельным железнодорожным путям в одном направлении следует товарный поезд длиной 420 м со скоростью 10 м/с и электропоезд длиной 120 м со скоростью 30 м/с. В течение какого времени электропоезд будет обгонять товарный? Движение поездов считайте равномерным. **(27 с)**

Средняя скорость

Неравномерное движение — движение с переменной скоростью. Это самый распространенный вид движения.

Средняя скалярная (путевая) скорость

$$v_{ср} = \frac{l}{t},$$

где l — весь путь; t — все время.

Средняя векторная скорость

$$\vec{v}_{ср} = \frac{\vec{s}}{t},$$

где $\vec{s}$ — все перемещение; t — все время.

Средняя скалярная скорость и модуль средней векторной скорости

$$v_{ср} \geq \left|\vec{v}_{ср}\right|$$

Советы и подсказки для решения задач на определение средней скорости

• В рамках одной задачи единицы измерения следует согласовать.

Первую треть времени..., оставшееся время... $t_1 = \frac{t}{3};\ t_2 = \frac{2t}{3}$	Три четверти времени..., оставшееся время... $t_1 = \frac{3t}{4};\ t_2 = \frac{t}{4}$	Первую половину пути..., вторую половину пути... $l_1 = \frac{l}{2};\ l_2 = \frac{l}{2}$
40% пути..., оставшийся путь... $l_1 = 0,4l;\ l_2 = 0,6l$	Велосипедист отдыхал $v_п = 0, l_п = 0, t_п \neq 0$	Автомобиль разгружали $v_п = 0, l_п = 0, t_п \neq 0$
Известно время прохождения отдельных участков пути и скорости движения на этих участках $v_{ср} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2}$	Известны значения отдельных участков пути и скорости на этих участках $v_{ср} = \frac{l_1 + l_2}{\frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}}$	Если в задаче речь идет о части времени, то все время обозначаем t. Выражаем весь путь, учитывая скорости движения и интервалы времени $v_{ср} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t}$
Если в задаче речь идет о части пути, то весь путь обозначаем l. Выражаем все время движения, учитывая скорости на отдельных участках $v_{ср} = \frac{l}{\frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}}$	Известны скорости на первой (v_1) и второй половине пути (v_2) $v_{ср} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2}$	1. Тело движется равноускоренно и прямолинейно $v_{ср} = \frac{v_0 + v}{2}$ 2. Известны скорости за равные интервалы времени $v_{ср} = \frac{v_1 + v_2}{2}$

УПРАЖНЕНИЯ

1. В течение первых 5 ч поезд двигался со средней скоростью 60 км/ч, а затем в течение 4 ч — со средней скоростью 15 км/ч. Найдите среднюю скорость поезда за все время движения. **(40 км/ч)**

2. Велосипедист, проехав 4 км со скоростью 12 км/ч, остановился и отдыхал в течение 40 мин. Оставшиеся 8 км пути он проехал со скоростью 8 км/ч. Найдите среднюю скорость велосипедиста на всем пути. **(6 км/ч)**

3. Девочка проезжает на карусели 35 кругов за 3 мин. Радиус карусели 4 м. Определите среднюю скалярную скорость и модуль средней векторной скорости. **(4,88 м/с; 0 м/с)**

4. Первую половину пути человек шел со скоростью 5 км/ч, а вторую — бежал со скоростью 10 км/ч. Определите среднюю скорость человека на всем пути. **(6,7 км/ч)**

5. Половину времени автомобиль движется со скоростью 20 км/ч, оставшуюся половину — со скоростью 80 км/ч. Определите среднюю скорость автомобиля. **(50 км/ч)**

6. Первые 20% всего пути тело двигалось со средней скоростью 10 м/с, следующие 50% — со скоростью 12 м/с, оставшуюся часть пути — со средней скоростью 15 м/с. Найдите среднюю скорость на всем пути. **(12,24 м/с)**

7. Тело две трети времени двигалось со скоростью 6 м/с, а одну треть времени — 9 м/с. Определите среднюю скорость движения тела за весь промежуток времени. **(7 м/с)**

8. Велосипедист проехал 1/3 пути со скоростью 40 км/ч, три четверти оставшегося пути со скоростью 30 км/ч, а оставшийся путь — со скоростью 60 км/ч. Найдите среднюю путевую скорость. **(36 км/ч)**

9. Средняя скорость поезда на всем пути 15 м/с. С какой скоростью он двигался первые 6 с, если за остальные 12 с прошел расстояние 150 м? **(20 м/с)**

10. Тело одну треть пути двигалось со скоростью 5 м/с. Определите скорость движения на остальной части пути, если средняя скорость на всем пути 7,5 м/с. **(10 м/с)**

Равноускоренное прямолинейное движение

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

Ускорение $\vec{a}$ (м/с^2) — векторная физическая величина, показывающая, на сколько изменяется скорость тела за 1 с.

В векторном виде:

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

В проекциях на ось $0X$:

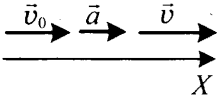
$$a_x = \frac{\upsilon_x - \upsilon_{0x}}{t}.$$

Прибор для измерения ускорения — *акселерометр.*

Знаки проекции ускорения зависят от направления вектора ускорения и оси $0X$. Рассмотрим случай, когда $\vec{\upsilon}_0 \uparrow\uparrow 0X$:

при разгоне

$a_x > 0$



при торможении

$a_x < 0$

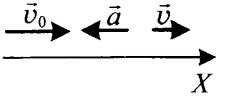
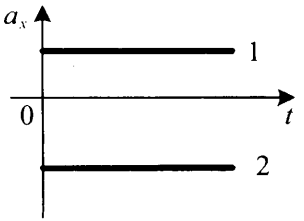


График ускорения — график зависимости проекции ускорения от времени. Проекция ускорения при равноускоренном прямолинейном движении не изменяется: $a_x = \text{const}$.



Как выглядит график?	График ускорения при *равноускоренном прямолинейном движении* — прямая, параллельная оси времени (1, 2).
Как с помощью графика сравнить модули ускорений?	Чем дальше график от оси времени (2), тем больше модуль ускорения.

Мгновенная скорость — скорость в данный момент времени или в данном месте пространства.

Скорость при равноускоренном прямолинейном движении

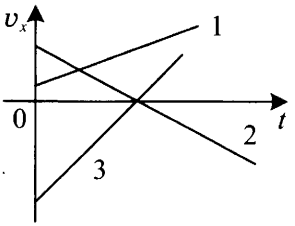
В векторном виде:

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}t \, .$$

С учетом знака ускорения («+» разгон, «–» торможение):

$$\upsilon = \upsilon_0 \pm at \, .$$

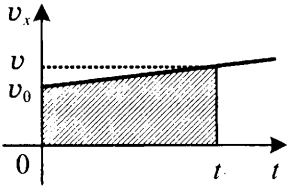
График скорости — график зависимости проекции скорости от времени. Проекция скорости при равноускоренном прямолинейном движении: $\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t$.



Как выглядит график?	График скорости при *равноускоренном прямолинейном движении* — прямая (1, 2, 3).
Как по графику определить направление движения тела?	Если график располагается над осью времени, то тело движется по направлению оси $0X$.
Как с помощью графика сравнить модули ускорений?	Чем больше тангенс угла наклона графика к оси t (3), тем больше модуль ускорения.

Дополнительная информация	Если график пересекает ось времени (2, 3), то на первом этапе тело тормозило, а на втором двигалось ускоренно в противоположную сторону.

Геометрический смысл перемещения. Для определения пути и модуля перемещения при равноускоренном прямолинейном движении следует вычислять площадь фигуры под графиком скорости в осях (υ_x , t).



В данном случае находим площадь трапеции

$$s = S_{\text{трап.}} = \frac{(\upsilon_0 + \upsilon)t}{2}.$$

Советы и подсказки для решения задач на расчет ускорения, скорости и времени движения

• В задачах на равноускоренное прямолинейное движение единицы измерения всех величин следует **сразу** переводить в СИ.

Ускорение:

$$\pm a = \frac{\upsilon - \upsilon_0}{t}.$$

Мгновенная скорость:

$$\upsilon = \upsilon_0 \pm at.$$

Время движения:

$$t = \frac{\upsilon - \upsilon_0}{\pm a}.$$

Советы. Знаки перед ускорением учитывайте **только** в формуле («+» разгон, «–» торможение). Помните, что время всегда положительно.

Подсказки к задачам на равноускоренное прямолинейное движение

Тело движется из состояния покоя	Поезд отходит от станции	Ракета стартует	Пуля в начале ствола винтовки
$v_0 = 0;\ a > 0$			
Тело тормозит	Поезд подходит к станции	Тело совершает аварийную остановку	Скорость тела увеличилась в n раз $v = nv_0$
$v = 0;\ a < 0$			
Скорость уменьшилась в n раз $v = v_0 / n$	Скорость увеличилась на 2 м/с $v = v_0 + 2$	Скорость уменьшилась на 4 м/с $v = v_0 - 4$	Во сколько раз увеличилась скорость? v / v_0
Во сколько раз уменьшилась скорость? v_0 / v	Как изменилась скорость? v / v_0	На сколько увеличилась скорость? $v - v_0$	На сколько уменьшилась скорость? $v_0 - v$
На сколько процентов увеличилась скорость? $\frac{v - v_0}{v_0} \cdot 100\%$	На сколько процентов уменьшилась скорость? $\frac{v_0 - v}{v_0} \cdot 100\%$	Тело покоится $v_0 = 0$ $a = 0$	Модуль ускорения — **всегда** положительная величина

ЗАДАЧИ

23. Лыжник равноускоренно съезжает со снежной горки. Скорость лыжника в конце спуска 15 м/с. Время спуска 30 с. С каким ускорением движется лыжник? Спуск начинается из состояния покоя.

Ответ: ____ м/с^2

24. Лыжник съехал с горы, двигаясь прямолинейно и равноускоренно. За время 20 с скорость лыжника возросла от 4 м/с до 18 м/с. С каким ускорением спускался лыжник?

Ответ: ____ м/с^2

25. Санки съехали с одной горки и въехали на другую. Во время подъема на горку скорость санок, двигавшихся прямолинейно и равноускоренно, за 4 с изменилась от 12 м/с до 2 м/с. Определите модуль ускорения санок.

Ответ: ____ м/с^2

26. Тело начинает двигаться равноускоренно с начальной скоростью 4 м/с и ускорением 5 м/с^2. Найдите увеличение скорости тела за 6 с.

Ответ: ____ м/с

27. Лыжник скатывается с горки, двигаясь прямолинейно и равноускоренно. За время спуска скорость лыжника увеличилась на 7,5 м/с. Ускорение лыжника 0,5 м/с^2. Сколько времени длился спуск?

Ответ: ____ с

28. Лыжник начинает спускаться с горы, имея скорость 4 м/с. Время спуска 30 с. Ускорение лыжника при спуске постоянно и равно 0,5 м/с^2. Какова скорость лыжника в конце спуска?

Ответ: ____ м/с

29. Автомобиль, трогаясь с места, движется с ускорением 3 м/с^2. Чему равна скорость автомобиля через 4 с?

Ответ: ____ м/с

30. Шарик свободно скатывается по наклонному прямому желобу с постоянным ускорением, по модулю равным 3 м/с^2. Определите скорость шарика через 2 с.

Ответ: ____ км/ч

31. Легковой и грузовой автомобили одновременно начинают движение из состояния покоя. Ускорение легкового автомобиля в 3 раза больше, чем у грузового. Во сколько раз большую скорость разовьет легковой автомобиль за то же время?

Ответ: в ____ раз(а)

32. Мотоциклист и велосипедист одновременно начинают равноускоренное движение из состояния покоя. Ускорение мотоциклиста в 3 раза больше, чем у велосипедиста. Во сколько раз больше времени понадобится велосипедисту, чтобы достичь скорости 50 км/ч?

Ответ: в ____ раз(а)

Основные формулы для расчета перемещения

$$s = \upsilon_0 t \pm \frac{at^2}{2} \quad (\textit{без конечной скорости}),$$

$$s = \frac{\upsilon^2 - \upsilon_0^2}{\pm 2a} \quad (\textit{без времени}),$$

$$s = \frac{(\upsilon + \upsilon_0)t}{2} \quad (\textit{без ускорения}).$$

Внимание. Записанные выше формулы «работают» только до тех пор, пока сохраняется направление движения. Если направление движения изменяется (например, $\vec{a} \uparrow\downarrow \vec{\upsilon}_0$), то движение следует разбивать на два этапа:

торможение: $0 = \upsilon_{01} - at_1$; $s_1 = \upsilon_{01} t_1 - \frac{at_1^2}{2}$;

разгон: $t_2 = t - t_1$; $s_2 = \frac{at_2^2}{2}$, $s = |s_1 - s_2|$; $l = s_1 + s_2$.

ЗАДАЧИ

33. Во время игры девочка побежала прямолинейно с постоянным ускорением 1,6 м/с^2. Какой путь она пробежала за первые 4 с?

Ответ: ____ м

34. При прямолинейном равноускоренном движении с начальной скоростью, равной нулю, путь, пройденный телом за три секунды от начала движения, больше пути, пройденного за первую секунду. Во сколько раз?

Ответ: в ____ раз(а)

35. К. Э. Циолковский в книге «Вне Земли», описывая полет ракеты, отмечал, что через 10 с после старта ракета находилась на расстоянии 5 км от поверхности Земли. С каким ускорением двигалась ракета?

Ответ: ____ м/с^2

36. Каретка спускается по наклонной плоскости длиной 15 см в течение 0,26 с. Определите ускорение каретки, если движение начинается из состояния покоя. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ м/с^2

37. Уклон длиной 50 м лыжник прошел за 10 с, двигаясь с ускорением 0,2 м/с^2. Чему равна скорость лыжника в конце уклона?

Ответ: ____ м/с

38. Находящемуся на горизонтальной поверхности стола бруску сообщили скорость 5 м/с. Под действием сил трения брусок движется с ускорением 1 м/с^2. Чему равен путь, пройденный бруском за 6 с?

Ответ: ____ м

39. Автомобиль трогается с места и движется с постоянным ускорением 5 м/с^2. Какой путь прошел автомобиль, если его скорость в конце пути оказалась равной 15 м/с?

Ответ: ____ м

40. Скорость пули при вылете из ствола пистолета равна 250 м/с. Длина ствола 0,1 м. Определите ускорение пули внутри ствола, если считать ее движение равноускоренным.

Ответ: ____ км/с^2

41. На последнем километре тормозного пути скорость поезда уменьшилась на 10 м/с. Определите скорость в начале торможения, если общий тормозной путь поезда составил 4 км, а торможение было равнозамедленным.

Ответ: ____ м/с

Перемещение в *n*-ю секунду равноускоренного прямолинейного движения

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

где $s(n) = v_0 n \pm \frac{an^2}{2}$; $s(n-1) = v_0(n-1) \pm \frac{a(n-1)^2}{2}$.

УПРАЖНЕНИЯ

1. Тело, двигаясь из состояния покоя, за пятую секунду прошло путь 18 м. Какую скорость будет иметь тело в конце пятой секунды? **(20 м/с)**

2. Поезд начинает движение из состояния покоя и проходит за четвертую секунду 7 м. Какой путь пройдет поезд за первые 10 с? **(100 м)**

3. Поезд отошел от станции и в течение 20 с двигался равноускоренно. Найдите путь, пройденный поездом за это время, если известно, что за десятую секунду он прошел путь 19 м. **(400 м)**

4. Поезд, двигаясь от станции, за вторую секунду проходит путь 1 м. Какой путь пройдет поезд за 15 с от начала движения? **(75 м)**

5. При равноускоренном движении за четвертую секунду тело проходит 2,7 м. Определите перемещение тела за седьмую секунду. Начальная скорость тела равна 2 м/с. **(3,3 м)**

6. За пятую секунду прямолинейного движения с постоянным ускорением тело проходит путь 5 м и останавливается. Какой путь пройдет тело за третью секунду? **(25 м)**

Уравнение координаты при равноускоренном прямолинейном движении позволяет определить кинематические величины равноускоренного прямолинейного движения даже в тех случаях, когда направление движения меняется.

Уравнение координаты

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

Уравнение проекции перемещения

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

Уравнение проекции скорости

$$v_x = x'(t) = v_{0x} + a_x t.$$

Помните, что для определения знака проекций начальной скорости и ускорения следует сравнивать направления этих векторов с направлением выбранной оси.

ЗАДАЧИ

42. Зависимость координаты от времени для некоторого тела описывается уравнением $x = 8t - 2t^2$ (м). Чему равна координата тела через 3 с?

Ответ: ____ м

43. Чему равно перемещение материальной точки за 5 с, движение которой вдоль оси $0X$ описывается уравнением $x = 6 - 4t + t^2$ (м)?

Ответ: ____ м

44. Зависимость координаты от времени для некоторого тела описывается уравнением $x = 12t - 2t^2$ (м). В какой момент времени проекция скорости тела на ось $0X$ равна нулю?

Ответ: ____ с

45. Зависимость пути от времени для прямолинейно движущегося тела имеет вид: $s(t) = 2t + 3t^2$, где все величины выражены в СИ. Чему равно ускорение тела?

Ответ: ____ м/с^2

46. Установите соответствие между зависимостью координаты тела от времени (где все величины выражены в СИ) и значениями проекций его начальной скорости и ускорения.

КООРДИНАТА	НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ И УСКОРЕНИЕ
А) $x = 6t^2$	1) $\upsilon_{0x} = -3$ м/с, $a_x = 0$
Б) $x = 6 - 3t$	2) $\upsilon_{0x} = 6$ м/с, $a_x = 3$ м/с^2
	3) $\upsilon_{0x} = 0$, $a_x = 12$ м/с^2
	4) $\upsilon_{0x} = 3$ м/с, $a_x = 6$ м/с^2

Ответ:

А	Б

47. Установите соответствие между зависимостью проекции скорости тела от времени и зависимостью проекции перемещения этого тела от времени для одного и того же движения.

ПРОЕКЦИЯ СКОРОСТИ	ПРОЕКЦИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
А) $\upsilon_x = 3 - 2t$	1) $s_x = 5t + 2t^2$
Б) $\upsilon_x = 5 + 4t$	2) $s_x = 5t + 4t^2$
	3) $s_x = 3t - 2t^2$
	4) $s_x = 3t - t^2$

Ответ:

А	Б

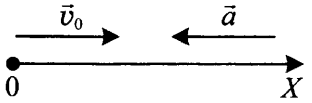
48. Установите соответствие между зависимостью проекции скорости тела от времени и зависимостью координаты этого тела от времени (начальная координата равна 0).

ПРОЕКЦИЯ СКОРОСТИ	КООРДИНАТА
А) $\upsilon_x = -2$	1) $x = -2t$
Б) $\upsilon_x = 5 - t$	2) $x = -2t^2$
	3) $x = 5t - 0{,}5t^2$
	4) $x = 5t + 2t^2$

Ответ:

А	Б

49. Тело движется вдоль оси $0X$ из начала координат с постоянным ускорением. Направления начальной скорости $\vec{v}_0$ и ускорения $\vec{a}$ тела указаны на рисунке



Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) координата x тела в момент времени t	1) $v_0 t + \frac{at^2}{2}$
Б) скорость v_x тела в момент времени t	2) $v_0 t - \frac{at^2}{2}$
	3) $v_0 + at$
	4) $v_0 - at$

Ответ:

А	Б

Совместное движение двух тел

Уравнение координаты позволяет решать задачи на совместное движение двух тел.

Уравнение координаты

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

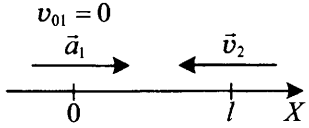
Уравнение координаты при запаздывании

$$x = x_0 + v_{0x}(t - t_{\text{запазд}}) + \frac{a_x (t - t_{\text{запазд}})^2}{2}.$$

Алгоритм решения задач на определение места и времени встречи двух тел, движущихся по прямой

Задача. Из пункта А начинает движение автобус с ускорением $\vec{a}_1$. Одновременно с ним из пункта В навстречу автобусу выезжает автомобиль с постоянной скоростью $\vec{v}_2$. На каком расстоянии от пункта А состоится их встреча? Расстояние между пунктами А и В равно l.

1. Сделать чертеж, на нем указать ось координат, начальные координаты тел, направление начальных скоростей и ускорений.



2. Составить уравнения координат для каждого тела, используя формулу: $x = x_0 + v_{0x}t + \dfrac{a_x t^2}{2}$.

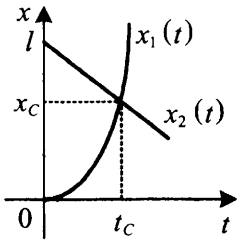
Для первого тела: $x_1 = 0 + v_{01}t + \dfrac{a_1 t^2}{2} = \dfrac{a_1 t^2}{2}$.

Для второго тела: $x_2 = l - v_2 t$.

3. Решить задачу.

а) *Аналитический способ:* приравняв уравнения координат $x_1 = x_2$, найти время встречи t_C. Подставив время встречи в любое уравнение координаты, найти место встречи x_C.

б) *Графический способ:* построить графики координат для двух тел, найти точку их пересечения, определить время встречи t_C и координату встречи x_C.



УПРАЖНЕНИЯ

1. Из пунктов А и В, расположенных на расстоянии 120 км друг от друга, одновременно навстречу друг другу начали двигаться два автомобиля. Скорость первого автомобиля 90 км/ч, а второго 110 км/ч. Определите время и место встречи. **(0,6 ч; 54 км)**

2. Из населенных пунктов А и В, расположенных вдоль шоссе на расстоянии 3 км друг от друга, в одном направлении одновременно начали движение велосипедист и пешеход. Велосипедист движется из пункта А со скоростью 15 км/ч, а пешеход со скоростью 5 км/ч. Определите время и место их встречи. **(0,3 ч; 4,5 км)**

3. Товарный поезд едет со скоростью 36 км/ч. Спустя 30 мин с той же станции по тому же направлению выходит экспресс со скоростью 144 км/ч. На каком расстоянии от станции экспресс догонит товарный поезд? **(24 км)**

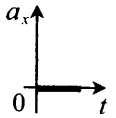
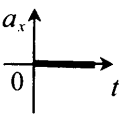
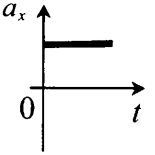
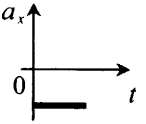
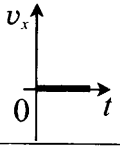
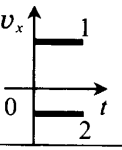
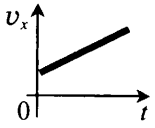
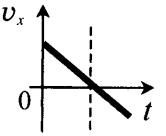
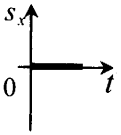
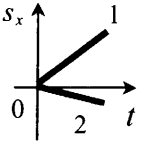
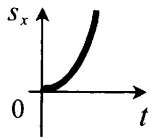
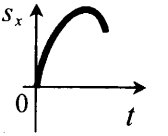
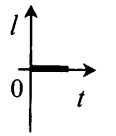
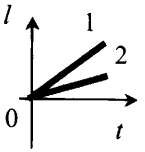
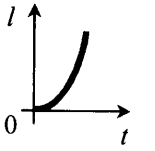
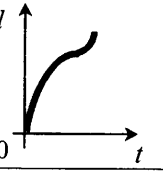
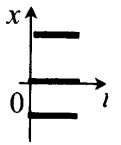
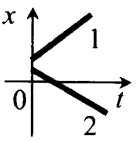
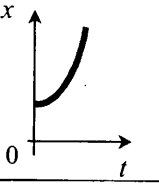
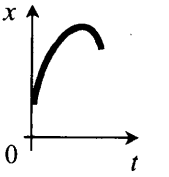
4. По одному направлению из одной точки одновременно начали двигаться два тела: одно равномерно со скоростью 5 м/с, а другое равноускоренно без начальной скорости с ускорением 2 м/с^2. Через сколько секунд второе тело догонит первое? **(5 с)**

5. Мимо остановки по прямой улице проезжает грузовик со скоростью 10 м/с. Через 5 с от остановки вдогонку грузовику отъезжает мотоциклист, движущийся с ускорением 3 м/с^2. На каком расстоянии от остановки мотоциклист догонит грузовик? **(150 м)**

6. Через 40 с после отхода теплохода вдогонку за ним от той же пристани отправился катер с постоянным ускорением 0,5 м/с^2. Определите, на каком расстоянии от пристани катер догонит теплоход, если теплоход двигался равномерно со скоростью 18 км/ч. **(400 м)**

7. Когда пассажиру осталось до двери вагона дойти 25 м, поезд тронулся с места и стал разгоняться с ускорением 0,5 м/с^2. Пассажир побежал с постоянной скоростью. При какой минимальной скорости он догонит свой вагон? **(5 м/с)**

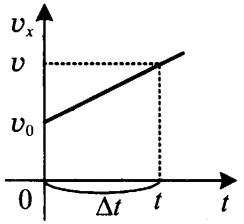
Графики кинематических величин прямолинейного движения

	Покой	**Равномерное движение**	**Равноускоренное движение**	**Равнозамедленное движение**
	$a_x = 0$ $v_x = 0$ $s_x = 0$ $x = x_0$	$a_x = 0$ $v_x = \text{const}$ $s_x = v_x t$ $x = x_0 + v_x t$ $\vec{v}_1 \uparrow\uparrow 0X$ $\vec{v}_2 \uparrow\downarrow 0X$	$a_x = \text{const}$, $\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{v}_0, \vec{v}_0 \uparrow\uparrow 0X$ $v_x = v_0 + at$ $s_x = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ $x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$	$a_x = \text{const}$, $\vec{a} \uparrow\downarrow \vec{v}_0, \vec{v}_0 \uparrow\uparrow 0X$ $v_x = v_0 - at$ $s_x = v_0 t - \frac{at^2}{2}$ $x = x_0 + v_0 t - \frac{at^2}{2}$
$a_x(t)$				
$v_x(t)$				
$s_x(t)$				
$l(t)$				
$x(t)$				

Учтите: путь $l(t)$ — всегда возрастающая функция.

Примеры графических задач

1. По графику скорости определите ускорение тела.

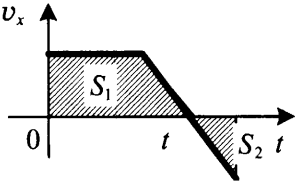


Проекция начальной скорости v_0, проекция конечной скорости v, интервал времени Δt.

Проекция ускорения

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}.$$

2. По графику скорости определите модуль перемещения материальной точки и путь.

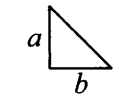
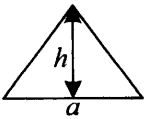
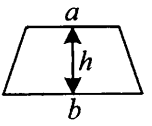


Перемещение при движении вдоль оси $0X$ будет равно площади S_1, перемещение при движении против оси $0X$ — S_2.

Модуль перемещения и путь

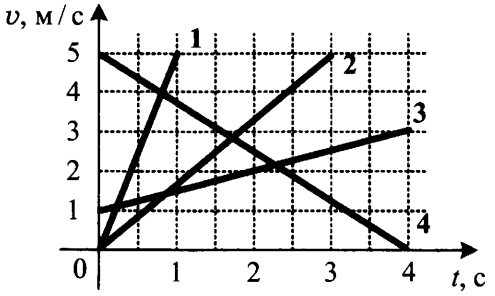
$$s = |S_1 - S_2| \text{ и } l = S_1 + S_2$$

Подсказки к графическим задачам

Площадь прямоугольного треугольника		$S = \frac{1}{2}ab$
Площадь треугольника		$S = \frac{1}{2}ah$
Площадь трапеции		$S = \frac{a+b}{2}h$

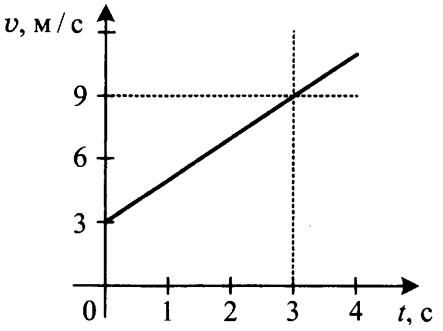
ЗАДАЧИ

50. Четыре тела движутся вдоль оси $0X$. На рисунке изображены графики зависимости проекций скорости v_x от времени t для этих тел. Какое из тел движется с наименьшим по модулю ускорением?



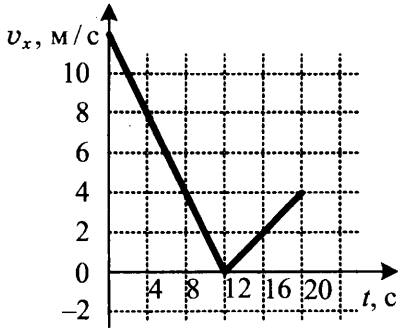
Ответ: ____

51. По графику зависимости модуля скорости от времени, представленному на рисунке, определите ускорение прямолинейно движущегося тела в момент времени 2 с.



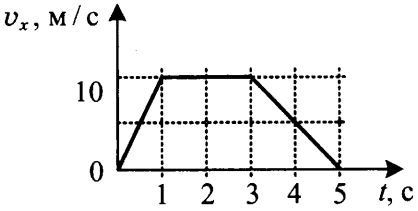
Ответ: ____ м/с^2

52. Тело движется вдоль оси $0X$, причем проекция скорости v_x меняется с течением времени по закону, приведенному на графике. Какой путь прошло тело за время от 4 до 16 с?



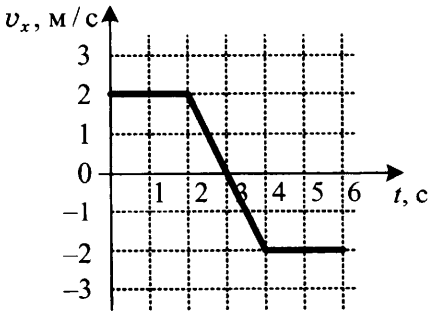
Ответ: ____ м

53. На рисунке представлен график зависимости проекции скорости v_x автомобиля от времени t. Найдите путь, пройденный автомобилем за 5 с.



Ответ: ____ м

54. На графике изображена зависимость проекции скорости тела, движущегося вдоль оси $0X$, от времени. Какой путь прошло тело к моменту времени $t = 5$ с?



Ответ: ____ м

Свободное падение

• Свободное падение происходит под действием только силы тяжести.

• Свободное падение — свободно от сопротивления воздуха.

• Все тела независимо от массы падают в вакууме с одинаковым ускорением.

• Ускорение свободного падения всегда направлено вниз, к центру Земли и равно $g = 9{,}8$ м/с^2; в задачах будем считать $g = 10$ м/с^2.

• Свободное падение по вертикали — пример равноускоренного прямолинейного движения.

Основные формулы для определения кинематических величин при свободном падении (вертикальный бросок)

• В задачах на свободное падение единицы измерения всех величин следует **сразу** переводить в СИ.

Скорость

$$\upsilon = \upsilon_0 \pm gt\,.$$

Перемещение, высота

$$s = h = \frac{(\upsilon + \upsilon_0)t}{2}, \qquad s = h = \upsilon_0 t \pm \frac{gt^2}{2}, \qquad s = h = \frac{\upsilon^2 - \upsilon_0^2}{\pm 2g}.$$

Советы. Знаки перед ускорением учитывайте **только** в формуле («+» движение вниз, «–» движение вверх). Помните, что время всегда положительно.

ЗАДАЧИ

55. Тело свободно падает из состояния покоя. На сколько увеличивается скорость тела за пятую секунду?

Ответ: на ____ м/с

56. От высокой скалы откололся и стал свободно падать камень. Какую скорость он будет иметь через 2 с после начала падения?

Ответ: ____ м/с

57. Тело упало с некоторой высоты с нулевой начальной скоростью и при ударе о землю имело скорость 40 м/с. Чему равно время падения? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: ____ с

58. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Каково время полета тела до точки максимальной высоты?

Ответ: ____ с

59. Тело брошено вертикально вверх. Через 0,5 с после броска его скорость равна 20 м/с. Какова начальная скорость тела? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: ____ м/с

60. Сосулька, упав с края крыши, долетела до земли за 3 с. Чему равен путь сосульки?

Ответ: ____ м

61. Стрела, пущенная вертикально вниз с обрыва высотой 30 м со скоростью 5 м/с, достигает воды. Чему равно время полета стрелы?

Ответ: ____ с

62. В момент времени $t = 0$ камень начинает свободно падать с некоторой высоты h_0 из состояния покоя. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) модуль скорости камня в момент времени $t > 0$	1) $-gt$
Б) путь, пройденный камнем за время от начала движения до момента t	2) $h_0 - gt^2/2$
	3) gt
	4) $gt^2/2$

Ответ:

А	Б

63. Тело, свободно падающее с некоторой высоты, первый участок пути проходит за время 1 с, а такой же последний — за 0,5 с. Найдите полное время падения, если начальная скорость равна нулю. Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____ с

64. Тело, свободно падающее с некоторой высоты без начальной скорости, за время 1 с после начала движения проходит путь в 5 раз меньший, чем за такой же промежуток времени в конце движения. Найдите полное время движения.

Ответ: ____ с

Перемещение в *n*-ю секунду свободного падения ($\upsilon_0 = 0$)

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

УПРАЖНЕНИЯ

1. Какой путь пролетит свободно падающее тело за шестую секунду? Начальная скорость тела равна нулю. **(55 м)**

2. Определите, на сколько метров путь, пройденный свободно падающим телом в десятую секунду, больше пути, пройденного в предыдущую секунду. Начальная скорость тела равна нулю. **(10 м)**

3. Камень свободно падает без начальной скорости. За какое время он пролетит третий метр своего пути? **(0,14 с)**

4. Тело свободно падает с высоты 80 м. Какой путь оно пройдет в последнюю секунду падения? **(35 м)**

5. С какой высоты падало тело, если в последнюю секунду падения оно прошло путь 45 м? **(125 м)**

6. В течение какого времени падало тело, если в последнюю секунду падения оно прошло $\frac{3}{4}$ всего пути? Начальная скорость тела равна нулю. **(2 с)**

Уравнение координаты при свободном падении позволяет определить кинематические величины свободного падения даже в тех случаях, когда направление движения изменяется.

Уравнение координаты позволяет определить высоту тела в любой момент времени $y = y_0 + \upsilon_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$.

Уравнение скорости $\upsilon_y = \upsilon_{0y} + g_y t$.

***Слова-подсказки*:** «в момент падения на землю» — $y = 0$; «тело бросают от земли» — $y_0 = 0$; «тело падает без начальной скорости» или «свободно падает» — $v_0 = 0$; «тело достигло наибольшей высоты» — $v = 0$.

Советы по выполнению чертежа

1) Ось $0Y$ направить вверх (начало координат совпадает с уровнем земли или с самой нижней точкой траектории).

2) Отметить начальные и конечные координаты тела.

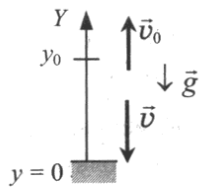
3) Указать направления векторов ускорения свободного падения $\vec{g}$, начальной скорости $\vec{v}_0$ и конечной скорости $\vec{v}$.

Помните: для определения знаков проекций скорости и ускорения надо сравнивать направления этих векторов с направлением оси $0Y$.

1. Свободное падение на землю с некоторой высоты (начальная скорость направлена вверх).

Уравнение координаты: $0 = y_0 + v_0 t_{пад} - \dfrac{g t_{пад}^2}{2}$.

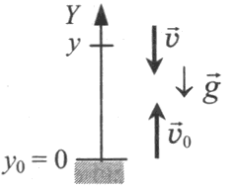
Уравнение скорости: $-v = v_0 - g t_{пад}$



2. Тело подбросили от земли и поймали на некоторой высоте.

Уравнение координаты: $y = v_0 t - \dfrac{g t^2}{2}$.

Уравнение скорости: $-v = v_0 - g t$

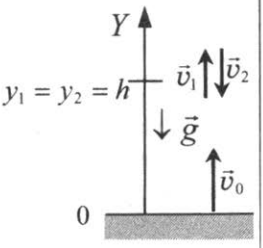


3. Тело подбросили от земли, на одной и той же высоте оно побывало дважды.

Уравнение координаты для первого прохождения h: $y_1 = v_0 t_1 - \dfrac{g t_1^2}{2}$.

Уравнение координаты для второго прохождения h: $y_2 = v_0 t_2 - \dfrac{g t_2^2}{2}$.

Интервал времени между моментами прохождения высоты h: $\Delta t = t_2 - t_1$



ЗАДАЧИ

65. Тело свободно падает из состояния покоя с высоты 50 м. На какой высоте окажется тело через 3 с падения? (Сопротивлением воздуха пренебречь.)

Ответ: ____ м

66. Камень, брошенный вертикально вверх с поверхности земли со скоростью 20 м/с, упал обратно на землю. Сопротивление воздуха мало. Сколько секунд находился в полете камень?

Ответ: ____ с

67. Камень, брошенный вертикально вверх с поверхности земли, упал обратно на землю через 6 с. Сопротивление воздуха мало. Чему равна начальная скорость камня?

Ответ: ____ м/с

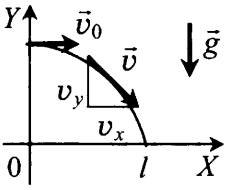
68. Тело бросили с балкона вертикально вверх. Система отсчета связана с поверхностью земли, ось $0Y$ направлена вертикально вверх. Установите соответствие между физическими величинами и характером их изменения в ходе полета тела до поверхности земли.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) координата	1) постоянно возрастает
Б) проекция вектора ускорения	2) постоянно убывает
	3) остается неизменной
	4) сначала возрастает, затем убывает

Ответ:

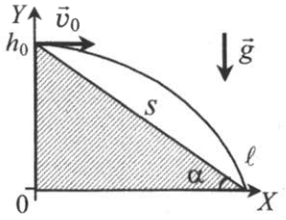
А	Б

Горизонтальный бросок

	
Проекции начальной скорости	$v_{0x} = v_0 ;\ v_{0y} = 0$
Проекции ускорения свободного падения	$g_x = 0 ;\ g_y = -g$
Проекции мгновенной скорости	$v_x = v_0 ;\ v_y = -gt$
Модуль мгновенной скорости $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$	$v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$
Минимальная скорость	$v_{\min} = v_0$
Максимальная скорость (конечная скорость при падении)	$v_{\max} = v$
Горизонтальное смещение $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{g_x t^2}{2}$	$x = v_0 t$
Мгновенная высота $y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$	$y = h_0 - \frac{gt^2}{2}$
Время падения ($y = 0$)	$t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$
Дальность полета	$l = v_0 t_{\text{пад}} = v_0 \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$

Частный случай горизонтального броска

Бросок с горы



α — угол наклона плоскости к горизонту,

s — расстояние от места бросания до места падения.

Из рисунка видно: дальность полета $l = s\cos\alpha$,

начальная высота $h_0 = s\sin\alpha$

УПРАЖНЕНИЯ

1. С башни высотой 45 м горизонтально брошен камень. Через какое время он упадет на землю? **(3 с)**

2. Глыбу льда сбрасывают с крыши с высоты 25 м горизонтально со скоростью 3 м/с. На каком расстоянии от дома упадет глыба? **(6,7 м)**

3. Из окна, расположенного на высоте 5 м от земли, горизонтально брошен камень, упавший на расстоянии 8 м от дома. С какой скоростью брошен камень? **(8 м/с)**

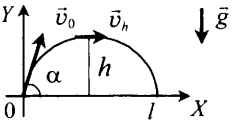
4. Пуля вылетает из ствола в горизонтальном направлении со скоростью 800 м/с. На сколько снизится пуля во время полета, если щит с мишенью находится на расстоянии 400 м? **(1,25 м)**

5. Тело бросили горизонтально со скоростью 40 м/с с некоторой высоты. Определите его скорость через 3 с. **(50 м/с)**

6. Камень, брошенный горизонтально со скоростью 15 м/с, упал на землю со скоростью 25 м/с. Сколько времени длился полет камня? **(2 с)**

7. На горе с углом наклона к горизонту 30° бросают горизонтально мяч с начальной скоростью 15 м/с. На каком расстоянии от точки бросания вдоль наклонной плоскости он упадет? **(30 м)**

Бросок под углом к горизонту

	
Проекции начальной скорости	$v_{0x} = v_0 \cos\alpha$ $v_{0y} = v_0 \sin\alpha$
Проекции ускорения свободного падения	$g_x = 0$ $g_y = -g$
Проекции мгновенной скорости	$v_x = v_0 \cos\alpha$ $v_y = v_0 \sin\alpha - gt$
Модуль мгновенной скорости	$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$
Минимальная скорость, скорость в верхней точке траектории	$v_{\min} = v_0 \cos\alpha = v_h$
Максимальная скорость, начальная скорость, конечная скорость	$v_{\max} = v_0 = v$
Горизонтальное смещение $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{g_x t^2}{2}$	$x = v_0 \cos\alpha t$
Мгновенная высота $y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$	$y = v_0 \sin\alpha t - \frac{gt^2}{2}$
Время подъема ($v_y = 0$)	$t_{\text{под}} = \frac{v_0 \sin\alpha}{g}$
Полное время (время полета)	$t_{\text{полн}} = 2t_{\text{под}} = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$
Наибольшая высота подъема	$h = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g}$
Дальность полета	$l = \frac{v_0^2 2\sin\alpha\cos\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

Частный случай броска под углом к горизонту

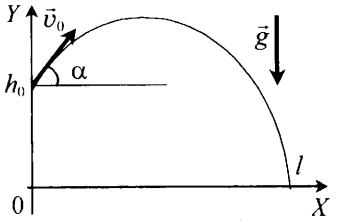
Бросок с некоторой высоты

Уравнение координаты x

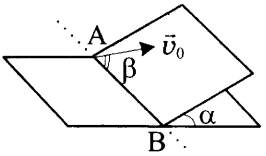
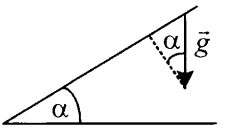
$$x = v_0 \cos \alpha t$$

Уравнение координаты y

$$y = h_0 + v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$$



Подсказки к задачам

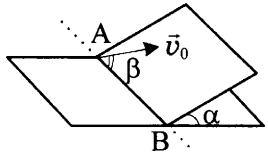
Задача	*Подсказка*
1. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой AB. Угол между плоскостями α. Маленькая шайба начинает движение вверх по наклонной плоскости из точки A с начальной скоростью v_0 под углом β к прямой AB. В ходе движения шайба съезжает на прямую AB в точке B. Пренебрегая трением между шайбой и наклонной плоскостью, найдите расстояние AB.  	*Учтите:* проекция ускорения свободного падения на плоскость, по которой происходит движение, равна $g \sin \alpha$  **Ответ:** $\mathrm{AB} = \frac{2v_0^2 \sin \beta \cos \beta}{g \sin \alpha}$
2. С высоты H свободно падает стальной шарик. Через время t после начала падения он сталкивается с неподвижной плитой, плоскость которой наклонена под углом α к горизонту. На какую высоту h над поверхностью земли поднимется шарик после удара? (Удар шарика о плиту считать абсолютно упругим.)	*Учтите:* после столкновения с плитой шарик движется под углом к горизонту $\beta = 90° - 2\alpha$. **Ответ:** $h = H - \frac{gt^2}{2} + \frac{(gt)^2 \sin^2 \beta}{2g}$

ЗАДАЧИ

69. Небольшой камень бросили с ровной горизонтальной поверхности земли под углом к горизонту. На какую максимальную высоту поднялся камень, если ровно через 1 с после броска его скорость была направлена горизонтально?

Ответ: ____ м

70. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой AB. Угол между плоскостями $\alpha = 30°$. Маленькая шайба начинает движение вверх по наклонной плоскости из точки A с начальной скоростью $v_0 = 2$ м/с под углом $\beta = 60°$ к прямой AB. Найдите максимальное расстояние, на которое шайба удалится от прямой AB в ходе подъема по наклонной плоскости. Трением между шайбой и наклонной плоскостью пренебречь. Ответ округлите до десятых.



Ответ: ____ м

71. С высоты $H = 30$ м над землей свободно падает стальной шарик. При падении он сталкивается с неподвижной плитой, плоскость которой наклонена под углом 30° к горизонту, и взлетает на высоту $h = 15$ м над поверхностью земли. Каково время падения шарика до удара о плиту? Удар шарика о плиту считать абсолютно упругим.

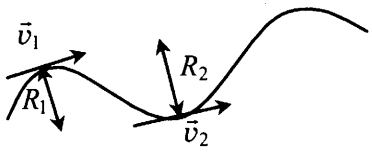
Ответ: ____ с

72. Маленький шарик падает сверху на наклонную плоскость и упруго отражается от нее. Угол наклона плоскости к горизонту равен 30°. На какое расстояние по горизонтали перемещается шарик между первым и вторым ударами о плоскость? Скорость шарика в момент первого удара направлена вертикально вниз и равна 1 м/с. Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____ м

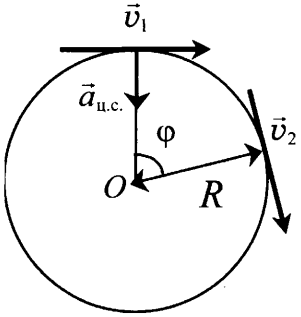
Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью

Криволинейное движение — движение, траекторией которого является кривая линия. Вектор скорости в любой момент времени направлен по касательной к траектории.



Любой участок криволинейного движения можно представить в виде движения по дуге окружности или по участку ломаной.

Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью — простейший вид криволинейного движения. Это движение с переменным ускорением.



- Траектория движения — окружность.
- Вектор скорости всегда направлен по касательной к окружности.
- Направление скорости постоянно изменяется.
- Ускорение, которое изменяет направление скорости, называют центростремительным.
- Центростремительное ускорение не меняет модуля скорости.
- Центростремительное ускорение направлено к центру окружности.

Величины, характеризующие движение по окружности с постоянной по модулю скоростью

Период T (с) — время одного полного оборота:

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

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

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

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

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

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

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\upsilon = \frac{2\pi N}{t} = \frac{\upsilon}{R}.$$

Центростремительное ускорение $a_{\text{ц.с.}}$ (м/с^2) изменяет направление вектора скорости:

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

Число оборотов N — число полных оборотов за время t:

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

Учтите: все единицы следует **сразу** переводить в единицы СИ.

Подсказки к задачам на движение по окружности

Радиус тела, выраженный через диаметр	$R = \frac{d}{2}$
Период вращения Земли вокруг оси — 1 сутки	24 ч · 3600 с
Период обращения Земли вокруг Солнца — 1 год	≈ 365 сут · 24 ч · 3600 с
У прижатых вращающихся цилиндров, у сцепленных шестерен на поверхности совпадают линейные скорости	$\upsilon_1 = \upsilon_2$
Все точки вращающегося твердого тела имеют одинаковые угловые скорости, частоты и периоды	$\omega_1 = \omega_2$; $\upsilon_1 = \upsilon_2$; $T_1 = T_2$

ЗАДАЧИ

73. Материальная точка, двигаясь равномерно по окружности, за 1 с прошла четверть окружности. Определите частоту обращения точки.

Ответ: ____ Гц

74. Период обращения Земли вокруг Солнца равен одному году, радиус орбиты Земли равен 150 млн км. Чему примерно равна скорость движения Земли по орбите? Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ км/с

75. На кольцевой гонке два автомобиля движутся так, что все время радиус движения второго автомобиля в 2 раза больше радиуса первого, а периоды движения равны. Определите отношение скоростей υ_2 / υ_1.

Ответ: ____

76. Диск радиусом 20 см равномерно вращается вокруг своей оси. Скорость точки, находящейся на расстоянии 15 см от центра диска, равна 1,5 м/с. Определите скорость крайних точек диска.

Ответ: ____ м/с

77. Две шестерни, сцепленные друг с другом, вращаются вокруг неподвижных осей. Большая шестерня радиусом 20 см делает 20 оборотов за 10 с. Сколько оборотов в секунду делает шестерня радиусом 10 см?

Ответ: ____

78. Материальная точка движется по окружности с постоянной по модулю скоростью. Во сколько раз увеличится модуль центростремительного ускорения, если скорость точки увеличить втрое?

Ответ: в ____ раз(а)

79. Шарик движется по окружности радиусом r со скоростью υ. Во сколько раз уменьшится его центростремительное ускорение, ес-

ли радиус окружности увеличить в 3 раза, оставив скорость шарика прежней?

Ответ: в ____ раз(а)

80. Точка движется с постоянной по модулю скоростью v по окружности радиуса R. Во сколько раз увеличится центростремительное ускорение точки, если ее скорость увеличить вдвое, а радиус окружности вдвое уменьшить?

Ответ: в ____ раз(а)

81. Два спутника движутся по разным круговым орбитам вокруг Земли. Скорость первого из них в 2 раза больше, а радиус орбиты в 4 раза меньше, чем у второго. Центростремительное ускорение первого спутника a_1, а второго a_2. Чему равно отношение a_1 / a_2?

Ответ: ____

82. Тело движется по окружности с периодом обращения T. Во сколько раз уменьшится центростремительное ускорение, если период обращения увеличить в 2 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

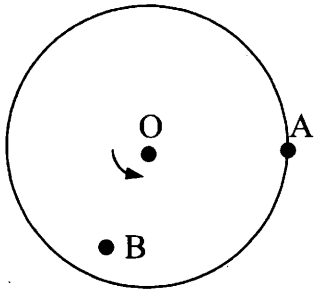
83. Рассчитайте центростремительное ускорение льва, спящего на экваторе, в системе отсчета, две оси координат которой лежат в плоскости экватора и направлены на неподвижные звезды, а начало координат совпадает с центром Земли. Ответ округлите до двух значащих цифр. Радиус Земли 6400 км, а период вращения вокруг оси равен 1 суткам.

Ответ: ____ м/с^2

84. Шарик движется по окружности радиусом R с угловой скоростью ω. Во сколько раз увеличится центростремительное ускорение, если угловую скорость увеличить в 2 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

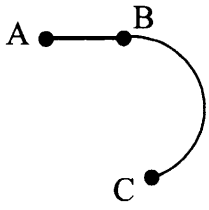
85. На вращающемся с постоянной угловой скоростью диске из точки A в точку B ползет жук. Выберите ***два*** верных утверждения. Укажите их номера.



1) Линейная скорость жука уменьшилась.
2) Центростремительное ускорение жука увеличилось.
3) Период вращения жука не изменился.
4) Радиус траектории движения жука увеличился.
5) Частота вращения жука уменьшилась.

Ответ: ☐☐

86. Стартуя из точки A (см. рисунок), спортсмен движется равноускоренно до точки B, после которой модуль скорости спортсмена остается постоянным вплоть до точки C. Во сколько раз время, затраченное спортсменом на участок BC, больше, чем на участок AB, если модуль ускорения на обоих участках одинаков? Траектория BC — полуокружность. Ответ округлите до сотых.



Ответ: в ____ раз

2. ДИНАМИКА

Три закона Ньютона

Динамика изучает причины движения тел и способы определения ускорения.

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

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

Первый закон Ньютона: *существуют такие системы отсчета, называемые инерциальными, относительно которых тела движутся равномерно и прямолинейно или находятся в состоянии покоя, если на них не действуют другие тела или их действия скомпенсированы.*

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

Проявление инертности чаще всего наблюдается в движущемся транспорте. Например, при резком увеличении скорости все пассажиры отклоняются назад, при торможении — вперед, при повороте направо все отклоняются влево и т.п.

Масса m (кг) — физическая величина, являющаяся мерой инертности тела.

$$m = \rho \cdot V,$$

где $\rho\left(\text{кг/м}^3\right)$ — плотность, V (м^3) — объем.

Измерительный прибор — *весы*.

Дополнительные единицы измерения:

$$1\ \text{т} = 10^3\ \text{кг},\ 1\ \text{г} = 10^{-3}\ \text{кг},\ 1\ \text{мг} = 10^{-6}\ \text{кг}.$$

Сила $\vec{F}$ (Н) — количественная характеристика действия одного тела на другое. Сила — *векторная величина,* которая имеет числовое

значение, направление в пространстве, точку приложения. Точкой приложения всех сил в динамике (кроме веса) является *центр тяжести тела.* Измерительный прибор — *динамометр.*

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

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

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

ЗАДАЧИ

1. Поставьте в соответствие физическую величину и единицу ее измерения в СИ.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ЕДИНИЦА ВЕЛИЧИНЫ В СИ
А) плотность	1) $м/с^2$
Б) сила	2) $\frac{кг \cdot м}{с^2}$
	3) $кг/м^3$
	4) м/с
	5) $м^3$

Ответ:

А	Б

2. В инерциальной системе отсчета (ИСО) за время Δt под действием постоянной силы скорость тела массой m изменилась с $\vec{v}_1$ на $\vec{v}_2$. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) ускорение тела в ИСО	1) $\frac{m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Delta t}$
Б) сила, действующая на тело	2) $m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$
	3) $(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$
	4) $\frac{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Delta t}$

Ответ:

А	Б

3. Легкоподвижную тележку массой 3 кг толкают силой 6 Н. Чему равно ускорение тележки в инерциальной системе отсчета?

Ответ: ____ м/с^2

4. В инерциальной системе отсчета сила F сообщает телу массой m ускорение a. Во сколько раз увеличится ускорение тела, если массу тела в 2 раза уменьшить, а действующую на него силу вдвое увеличить?

Ответ: в ____ раз(а)

5. В инерциальной системе отсчета сила F сообщает телу массой m ускорение a. Во сколько раз надо уменьшить силу, чтобы при уменьшении массы тела вдвое его ускорение стало в 4 раза меньше?

Ответ: в ____ раз(а)

6. В инерциальной системе отсчета сила F сообщает телу массой m ускорение a. Во сколько раз надо уменьшить массу тела, чтобы вдвое меньшая сила сообщала ему в 4 раза большее ускорение?

Ответ: в ____ раз(а)

7. В инерциальной системе отсчета на два тела действуют одинаковые силы. Тела однородны и сделаны из одинакового материала, но объем первого тела в 2 раза больше объема второго. Чему равно отношение ускорений этих тел a_2 / a_1?

Ответ: ____

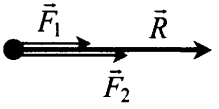
8. Молоток массой 800 г ударяет по небольшому гвоздю и забивает его в доску. Скорость молотка перед ударом равна 5 м/с, после удара она равна 0, продолжительность удара 0,2 с. Чему равна средняя сила удара молотка?

Ответ: ____ Н

Равнодействующая сила — векторная сумма всех сил, действующих на тело: $\vec{R} = \Sigma \vec{F}_i$.

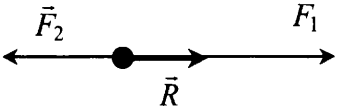
Сложение двух сил, направленных вдоль одной прямой

В одном направлении



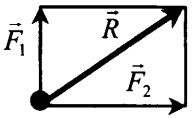
Если $\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$, то $R = F_1 + F_2$

В противоположных направлениях



Если $\vec{F}_1 \downarrow\uparrow \vec{F}_2$, то $R = |F_1 - F_2|$

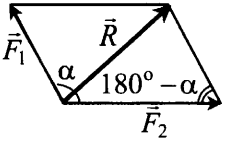
Сложение двух сил, перпендикулярных друг другу



Если $\vec{F}_1 \perp \vec{F}_2$, то по теореме Пифагора

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

Сложение двух сил, расположенных под углом α друг к другу

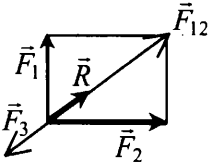


По теореме косинусов

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos(180° - \alpha)}$$

Сложение трех сил

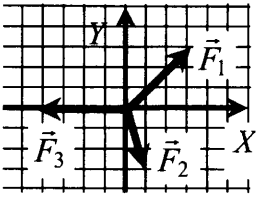
Сложение трех сил



$$F_{12} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$R = F_{12} - F_3$$

Сложение проекций сил



$$0X: F_{1x} + F_{2x} - F_{3x} = 0$$

$$0Y: F_{1y} - F_{2y} = 0$$

$$R = 0$$

Второй закон Ньютона: *если на тело действуют несколько сил, то их равнодействующая* $\vec{R}$ *будет равна произведению массы на ускорение.*

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

ЗАДАЧИ

9. Тело массой 5 кг движется вертикально вверх с ускорением 2 м/с^2. Определите модуль равнодействующей силы.

Ответ: ____ Н

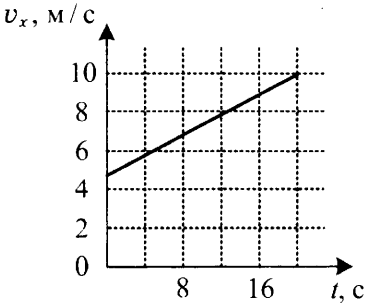
10. Скорость лыжника при равноускоренном спуске с горы за 4 с увеличилась на 6 м/с. Масса лыжника 60 кг. Чему равна равнодействующая всех сил, действующих на лыжника?

Ответ: ____ Н

11. Автомобиль массой 500 кг разгоняется с места равноускоренно и достигает скорости 20 м/с за 10 с. Чему равна равнодействующая всех сил, действующих на автомобиль?

Ответ: ____ Н

12. Скорость автомобиля массой 2000 кг, движущегося вдоль оси $0X$, изменяется со временем в соответствии с графиком (см. рисунок). Систему отсчета считать инерциальной. Определите равнодействующую всех сил, действующих на автомобиль.

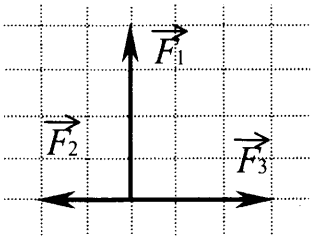


Ответ: ____ Н

13. Брусок спускается с наклонной плоскости длиной 15 см в течение 0,26 с. Определите равнодействующую всех сил, действующих на брусок во время движения, если его масса 0,1 кг и движение начинается из состояния покоя. Ответ округлите до десятых.

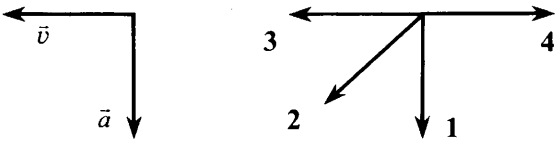
Ответ: ____ Н

14. На тело, находящееся на горизонтальной плоскости, действуют три силы (см. рисунок). Чему равен модуль равнодействующей сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_3$?



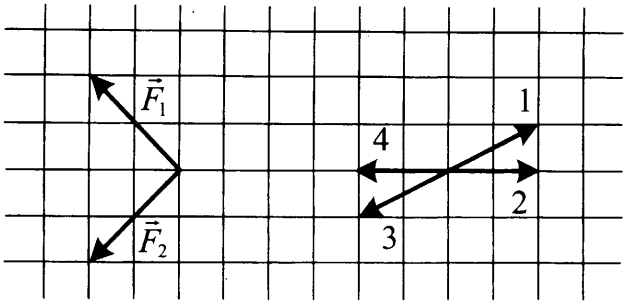
Ответ: ____ Н

15. На левом рисунке представлены векторы скорости и ускорения тела. Какой из четырех векторов на правом рисунке указывает направление вектора равнодействующей всех сил, действующих на это тело?



Ответ: ____

16. На тело в инерциальной системе отсчета действуют две силы. Какой из векторов, изображенных на правом рисунке, правильно указывает направление ускорения тела в этой системе отсчета?



Ответ: ____

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

$$\overrightarrow{F_1} = -\overrightarrow{F_2}$$

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

Сила всемирного тяготения

Сила всемирного тяготения — сила, с которой все тела притягиваются друг к другу. Эта сила наиболее заметно проявляется при взаимодействии массивных тел (звезд, планет, их спутников).

Закон всемирного тяготения выполняется для материальных точек и сферических тел.

Закон всемирного тяготения: *все тела в природе притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению масс этих тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними*:

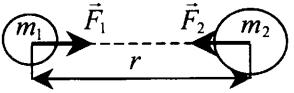
$$F_m = \frac{Gm_1m_2}{r^2},$$

где $G = 6{,}7 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2/кг^2 — гравитационная постоянная, численно равная силе гравитационного притяжения двух тел массой по 1 кг каждое, находящихся на расстоянии 1 м одно от другого;

m (кг) — масса тела;

r (м) — расстояние между центрами тел.

Сила всемирного тяготения направлена по линии, соединяющей центры тел.



ЗАДАЧИ

17. Вокруг Земли по круговым орбитам движутся два одинаковых искусственных спутника. Радиус орбиты первого спутника в 3 раза больше радиуса орбиты второго спутника. Чему равно отношение модулей сил тяготения F_2 / F_1, действующих на спутники?

Ответ: ____

18. Две планеты с одинаковыми массами обращаются по круговым орбитам вокруг звезды. Для первой из них сила притяжения к звезде в 4 раза больше, чем для второй. Каково отношение $\frac{R_1}{R_2}$ радиусов орбит первой и второй планет?

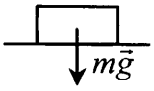
Ответ: ____

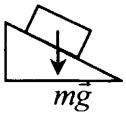
19. Во сколько раз сила притяжения Земли к Солнцу больше силы притяжения Марса к Солнцу? Масса Марса составляет 0,1 массы Земли, а расстояние от Солнца до Марса составляет 1,5 расстояния от Солнца до Земли. Ответ округлите до десятых.

Ответ: в ____ раз(а)

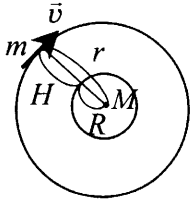
Сила тяжести

Сила тяжести — сила, с которой планета (Земля) притягивает к себе окружающие тела. Сила тяжести имеет *гравитационную* природу. Направление силы тяжести — вертикально вниз или к центру планеты:





Искусственный спутник планеты — тело, которое обращается вокруг планеты. Движение искусственных спутников происходит по эллипсам, но мы будем рассматривать упрощенный частный случай — движение по окружности. Скорость кругового движения, при котором радиус орбиты равен радиусу планеты, называют *первой космической скоростью*.



M (кг) — масса планеты, m (кг) — масса спутника, R (м) — радиус планеты, H (м) — высота спутника над поверхностью планеты, r (м) — расстояние от центра планеты до спутника ($r = R + H$ — *радиус орбиты*), υ (м/с) — линейная скорость спутника.

Закон движения ИСЗ — второй закон Ньютона

$$F_{\text{тяж}} = ma_{\text{ц.с.}} \text{ или } \frac{GMm}{(R+H)^2} = ma_{\text{ц.с.}}.$$

	Сила тяжести	Ускорение свободного падения	Скорость кругового движения	Период обращения спутника
Второй закон Ньютона		$a_{\text{ц.с.}} = g$ $\frac{GMm}{(R+H)^2} = mg$	$a_{\text{ц.с.}} = \frac{\upsilon^2}{r}$ $\frac{GMm}{(R+H)^2} = \frac{m\upsilon^2}{R+H}$	$a_{\text{ц.с.}} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ $\frac{GMm}{(R+H)^2} = \frac{m4\pi^2(R+H)}{T^2}$
На высоте $H \neq 0$; $r = R + H$	$F_{\text{тяж}} = \frac{GMm}{(R+H)^2} = \frac{GMm}{r^2}$	$g = \frac{GM}{(R+H)^2} = \frac{GM}{r^2}$	$\upsilon = \sqrt{\frac{GM}{R+H}} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ $\upsilon = \sqrt[3]{\frac{2\pi GM}{T}}$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R+H)^3}{GM}} = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$
На поверхности планеты $H = 0$	$F_{\text{тяж}} = mg_0 = \frac{GMm}{R^2}$	$g_0 = \frac{GM}{R^2}$	$\upsilon_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$
С учетом плотности планеты $H = 0$; $M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$		$g_0 = \frac{4}{3}G\pi R\rho$	$\upsilon_1 = 2R\sqrt{\frac{G\rho\pi}{3}}$	$T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$
Если не указана масса планеты, то $GM = g_0R^2$, $H \neq 0$			$\upsilon = \sqrt{\frac{g_0R^2}{(R+H)}} = \sqrt{\frac{g_0R^2}{r}}$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R+H)^3}{g_0R^2}} = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{g_0R^2}}$
Для Земли		$g_0 = 9{,}8$ м/с$^2 \approx$ ≈ 10 м/с^2	$\upsilon_1 = 7{,}9$ км/с	$T = 24$ ч $= 86\,400$ с Стационарный спутник $T_{\text{спутника}} = T_{\text{планеты}}$

ЗАДАЧИ

20. Мальчик массой 50 кг совершает прыжок под углом 45° к горизонту. Чему примерно равна сила тяжести, действующая на него во время прыжка?

Ответ: ____ Н

21. Камень массой 200 г брошен под углом 45° к горизонту с начальной скоростью 15 м/с. Чему равен модуль силы тяжести, действующей на камень сразу после броска?

Ответ: ____ Н

22. У поверхности Луны на космонавта действует сила тяготения 180 Н. Какая сила тяготения действует со стороны Луны на того же космонавта в космическом корабле, движущемся по круговой орбите вокруг Луны на расстоянии полутора лунных радиусов от ее центра?

Ответ: ____ Н

23. У поверхности Земли на космонавта действует гравитационная сила 720 Н. Какая гравитационная сила действует со стороны Земли на того же космонавта в космическом корабле, который с помощью реактивных двигателей удерживается неподвижно относительно Земли на расстоянии двух ее радиусов от земной поверхности?

Ответ: ____ Н

24. Планета имеет радиус в 2 раза меньший радиуса Земли. Известно, что ускорение свободного падения на поверхности этой планеты такое же, как на Земле. Чему равно отношение массы этой планеты к массе Земли?

Ответ: ____

25. Отношение массы планеты Венера к массе планеты Земля составляет величину, равную 0,815, а отношение среднего радиуса Венеры

к среднему радиусу Земли равно 0,96. Какова сила тяжести спускаемого на Венеру аппарата массой 500 кг? Ускорение свободного падения на поверхности Земли равно 10 м/с^2. Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____ кН

26. Космический корабль движется вокруг Земли по круговой орбите радиусом 20 000 км. Масса Земли $6 \cdot 10^{24}$ кг. Определите скорость корабля.

Ответ: ____ км/с

27. Каков радиус кольца Сатурна, в котором частицы движутся со скоростью 10 км/с? Масса Сатурна равна $5,7 \cdot 10^{26}$ кг.

Ответ: ____ км

28. Среднее расстояние от планеты Земля до Солнца составляет 149,6 млн км, а от планеты Юпитер до Солнца — 778,3 млн км. Чему равно отношение линейных скоростей двух планет $v_З / v_Ю$ при их движении вокруг Солнца, если считать их орбиты окружностями? Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____

29. Искусственный спутник обращается по круговой орбите на высоте 600 км от поверхности планеты. Радиус планеты равен 3400 км, ускорение свободного падения на поверхности планеты равно 4 м/с^2. Какова скорость движения спутника по орбите?

Ответ: ____ км/с

30. Среднее расстояние от Солнца до планеты Уран составляет 2875,03 млн км, а до планеты Земля — 149,6 млн км. Чему примерно равен период обращения Урана (в годах) вокруг Солнца, если орбиты обеих планет считать окружностями? Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____ года

31. Каков радиус кольца Сатурна, в котором частицы движутся с периодом, примерно равным периоду вращения Сатурна вокруг своей оси — 10 ч 40 мин? Масса Сатурна равна $5,7 \cdot 10^{26}$ кг.

Ответ: ____ км

32. Плотность Марса приблизительно равна плотности Земли, а масса в 10 раз меньше. Определите отношение периода обращения спутника, движущегося вокруг Марса по низкой круговой орбите, к периоду обращения аналогичного спутника Земли.

Ответ: ____

33. С какой скоростью движутся частицы, входящие в наиболее плотное кольцо Сатурна, если известно, что их период примерно совпадает с периодом вращения Сатурна вокруг своей оси 10 ч 40 мин? Масса Сатурна равна $5,7 \cdot 10^{26}$ кг. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ км/с

34. Спутник движется вокруг Земли по круговой орбите радиусом R (M — масса Земли, G — гравитационная постоянная). Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) центростремительное ускорение	1) $2\pi\sqrt{\frac{GM}{R}}$
Б) период обращения спутника вокруг Земли	2) $2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$
	3) $4\pi^2\sqrt{\frac{R}{GM}}$
	4) $\frac{GM}{R^2}$

Ответ:

А	Б

35. Спутник движется вокруг Земли по круговой орбите радиусом R (M — масса Земли, G — гравитационная постоянная). Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) скорость спутника	1) $\sqrt{\frac{GM}{R}}$
Б) период обращения спутника вокруг Земли	2) $2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$
	3) $4\pi^2\sqrt{\frac{R}{GM}}$
	4) $2\pi\sqrt{\frac{GM}{R}}$

Ответ:

А	Б

36. В результате торможения в верхних слоях атмосферы высота полета искусственного спутника над Землей уменьшилась с 400 до 300 км. Как изменяются при этом его центростремительное ускорение и период обращения?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) ускорение	1) увеличивается
Б) период обращения	2) уменьшается
	3) не изменяется

Ответ:

А	Б

Сила упругости

Сила упругости — сила, которая возникает при деформациях тел, как ответная реакция на внешнее воздействие. Сила упругости имеет *электромагнитную* природу.

Деформация — изменение формы или объема тела.

Виды деформаций: растяжение; сжатие; изгиб (комбинированный случай одновременного сжатия и растяжения); сдвиг; кручение (частный случай деформации сдвига).

Упругие деформации исчезают после снятия нагрузки.

Пластические деформации остаются после снятия нагрузки.

Только для упругих деформаций выполняется закон Гука.

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

$$F_{\text{упр}} = kx,$$

x (м) — деформация или абсолютное удлинение $x = |l - l_0| = \Delta l$, где l_0 (м) — начальная длина тела, l (м)— длина деформированного тела; k (Н/м) — жесткость тела. $k = \dfrac{ES}{l_0}$, где E (Н/м^2 = Па) — модуль упругости (модуль Юнга) — характеризует сопротивляемость материала упругой деформации растяжения или сжатия, S (м^2) — площадь сечения тела.

Сила упругости направлена противоположно перемещению частиц при деформации.

Подсказки к задачам

Пружину растягивают две противоположные равные силы	$F_1 = F_2 = F_{\text{упр}}$
Груз подвешен к пружине	$F_{\text{упр}} = mg$
Параллельное соединение пружин	$k_{\text{пар}} = k_1 + k_2$
Последовательное соединение пружин	$\dfrac{1}{k_{\text{посл}}} = \dfrac{1}{k_1} + \dfrac{1}{k_2}$

ЗАДАЧИ

37. Пружина жесткостью $k = 10^4$ Н/м под действием силы 1000 Н растянется на сколько сантиметров?

Ответ: на ____ см

38. Под действием силы 3 Н пружина удлинилась на 4 см. Чему равен модуль силы, под действием которой удлинение пружины составило 6 см?

Ответ: ____ Н

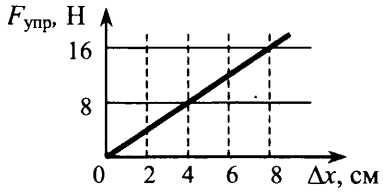
39. Первая пружина жесткостью 200 Н/м растянута силой 8 Н. Какую силу необходимо приложить к пружине жесткостью 400 Н/м, чтобы удлинение этих пружин стало одинаковым?

Ответ: ____ Н

40. К пружине школьного динамометра подвешен груз массой 0,1 кг. При этом пружина удлинилась на 2,5 см. Каким будет удлинение пружины при добавлении еще трех грузов по 0,1 кг?

Ответ: ____ см

41. По результатам исследования построен график зависимости модуля силы упругости от ее деформации (см. рисунок). Каким будет удлинение пружины при подвешивании груза массой 2 кг?



Ответ: ____ см

42. Однородную пружину длиной L и жесткостью k разрезали на три равные части. Во сколько раз увеличилась жесткость каждой части пружины?

Ответ: в ____ раз(а)

43. Под действием груза проволока удлинилась на 1 см. Этот же груз подвесили к проволоке такой же длины из того же материала, но имеющей в 2 раза большую площадь сечения. Каким стало удлинение проволоки?

Ответ: ____ см

Силы трения

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

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

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

где μ — коэффициент трения, N (Н) — сила реакции опоры, $F_{\text{давл}}$ (Н) — сила нормального давления.

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

Учтите: если движение происходит **по гладкой** поверхности, то силу трения учитывать не надо; сила трения скольжения **не зависит** от площади соприкасающихся тел.

ЗАДАЧИ

44. У первой грани бруска в форме параллелепипеда коэффициент трения о стол в 2 раза больше, чем у второй грани. Во сколько раз уменьшится сила трения бруска о стол при переворачивании бруска с первой грани на вторую?

Ответ: в ____ раз(а)

45. У первой грани бруска в форме параллелепипеда площадь и коэффициент трения о стол в 3 раза больше, чем у второй грани.

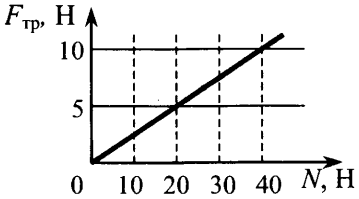
Во сколько раз уменьшится сила трения бруска о стол при переворачивании бруска с первой грани на вторую?

Ответ: в ____ раз(а)

46. Тело равномерно движется по наклонной плоскости. На него действуют сила трения 20 Н и сила нормального давления плоскости 40 Н. Чему равен коэффициент трения скольжения?

Ответ: ____

47. На рисунке представлен график зависимости модуля силы трения от модуля силы реакции опоры (см. рисунок). Определите коэффициент трения скольжения.



Ответ: ____

48. Конькобежец массой 70 кг скользит по льду. Какова сила трения, действующая на конькобежца, если коэффициент трения скольжения коньков по льду равен 0,02?

Ответ: ____ Н

49. При движении по горизонтальной поверхности на тело массой 40 кг действует сила трения скольжения 10 Н. Какой станет сила трения скольжения после уменьшения массы тела в 5 раз, если коэффициент трения не изменится?

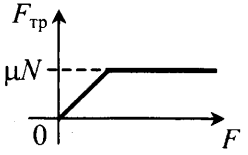
Ответ: ____ Н

Трение покоя возникает при попытке сдвинуть предмет с места. Трение покоя противоположно приложенной силе (направлению возможного движения).

Учтите: величина силы трения покоя может принимать значения, лежащие в пределах

$$0 < F_{тр.пок.} < F_{тр.ск.}.$$

Алгоритм определения силы трения покоя



1. Найти силу трения скольжения

$$F_{тр.ск.} = \mu N.$$

2. Сравнить ее с силой F, приложенной к телу, и сделать вывод:

если $F < F_{тр.ск.}$, то $F_{тр.пок.} = F$ и $a = 0$;

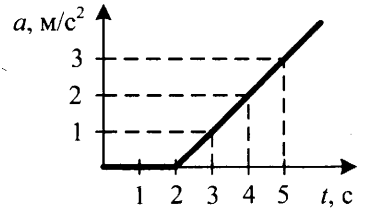
если $F \geq F_{тр.ск.}$, то $F_{тр} = F_{тр.ск.}$.

ЗАДАЧИ

50. На горизонтальном полу стоит ящик массой 20 кг. Коэффициент трения между полом и ящиком равен 0,3. К ящику в горизонтальном направлении прикладывают силу 36 Н. Какова сила трения между ящиком и полом?

Ответ: ____ Н

51. К покоящемуся на шероховатой горизонтальной поверхности телу приложена нарастающая с течением времени сила тяги $F = bt$, где b — постоянная величина. На рисунке представлен график зависимости ускорения тела от времени действия силы. Определите коэффициент трения. Округлите ответ до десятых.



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

скорости тел. При малых скоростях сила сопротивления пропорциональна скорости: $F_{\text{сопр}} = kv$, а при больших — квадрату скорости: $F_{\text{сопр}} = kv^2$.

Алгоритм решения задач на второй закон Ньютона

1. Кратко записать условие задачи. Все единицы измерения перевести в СИ.

2. Сделать чертеж. На нем указать:

1) изучаемое тело;

2) направление всех сил:

Название силы	Направление
Сила тяжести	Вертикально вниз
Сила реакции опоры	Перпендикулярно опоре
Сила натяжения нити	Вдоль оси подвеса
Сила упругости	Противоположно деформации
Сила трения, сила сопротивления	Противоположно скорости или направлению возможного движения
Выталкивающая сила, архимедова сила	Вертикально вверх

3) направление ускорения;

4) оси координат.

Совет: направление одной оси должно совпадать с направлением ускорения.

3. Записать второй закон Ньютона в векторном виде.

4. Записать второй закон Ньютона в проекциях на оси координат.

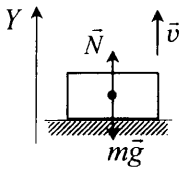
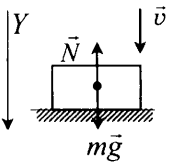
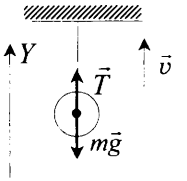
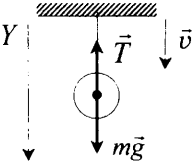
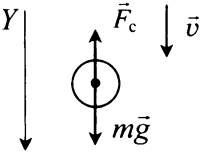
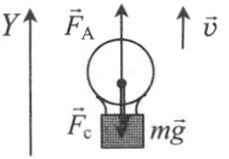
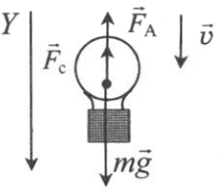
5. Решить задачу в общем виде.

6. Подставить числовые значения и найти искомую величину.

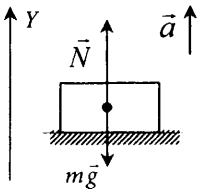
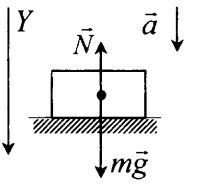
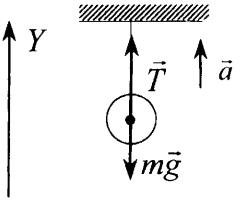
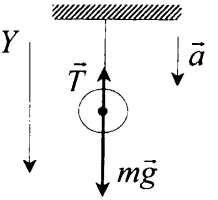
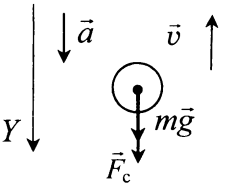
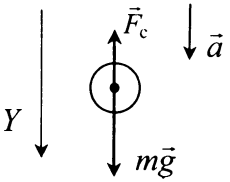
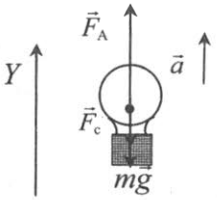
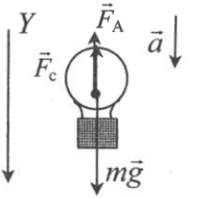
7. Сделать проверку размерностей.

Применение законов Ньютона

Равномерное вертикальное движение ($a = 0$)

Силы	Подъем	Спуск
Сила тяжести и сила реакции опоры *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$	 $0Y: N - mg = 0$	 $0Y: mg - N = 0$
Сила тяжести и сила натяжения нити *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}$	 $0Y: T - mg = 0$	 $0Y: mg - T = 0$
Сила тяжести и сила сопротивления воздуха *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g} + \vec{F}_c = m\vec{a}$		 $0Y: mg - F_c = 0$
Сила тяжести, сила сопротивления и архимедова сила *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{F}_A + m\vec{g} + \vec{F}_c = m\vec{a}$	 $0Y: F_A - mg - F_c = 0$	 $0Y: mg - F_A - F_c = 0$

Ускоренное вертикальное движение ($a \neq 0$)

Силы	Подъем	Спуск
Сила тяжести и сила реакции опоры *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{N}+m\vec{g}=m\vec{a}$	 $0Y: N-mg=ma$	 $0Y: mg-N=ma$
Сила тяжести и сила натяжения нити *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{T}+m\vec{g}=m\vec{a}$	 $0Y: T-mg=ma$	 $0Y: mg-T=ma$
Сила тяжести и сила сопротивления воздуха *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g}+\vec{F}_c=m\vec{a}$	 $0Y: mg+F_c=ma$	 $0Y: mg-F_c=ma$
Сила тяжести, сила сопротивления и архимедова сила *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{F}_A+m\vec{g}+\vec{F}_c=m\vec{a}$	 $0Y: F_A-mg-F_c=ma$	 $0Y: mg-F_A-F_c=ma$

УПРАЖНЕНИЯ

1. Какая сила натяжения нити действует на тело массой 2 кг, если оно поднимается вверх с ускорением 20 м/с^2? **(60 Н)**

2. С какой силой нужно действовать на тело массой 10 кг, чтобы оно двигалось вертикально вниз с ускорением 15 м/с^2? **(50 Н)**

3. Найдите максимальную силу натяжения нити, если веревка может выдержать груз массой 5 кг при подъеме его с ускорением 4 м/с^2. **(70 Н)**

4. С каким ускорением поднимается лифт, если сила реакции опоры, действующая на груз, увеличилась втрое по сравнению с силой реакции опоры, действующей на неподвижный груз? **(20 м/с^2)**

5. Прочность троса на разрыв составляет 1600 Н. Какой максимальной массы груз можно поднимать этим тросом с ускорением 15 м/с^2? **(64 кг)**

6. Груз поднимают на веревке: один раз равномерно, второй раз с ускорением 20 м/с^2. Во сколько раз натяжение веревки будет больше во втором случае, чем в первом? **(В 3 раза)**

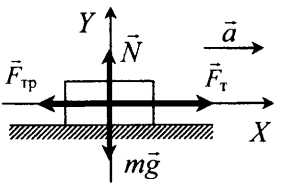
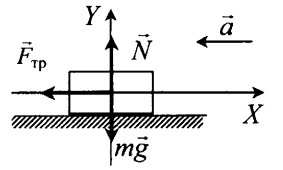
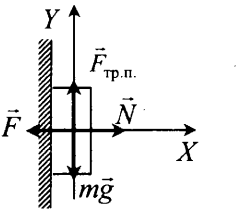
7. Найдите время падения тела массой 100 г с высоты 20 м, если сила сопротивления 0,2 Н. **(2,24 с)**

8. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 30 м/с и достигло высшей точки через 2,5 с. Какова сила сопротивления воздуха, действующая на тело во время подъема, если его масса 4 кг? **(8 Н)**

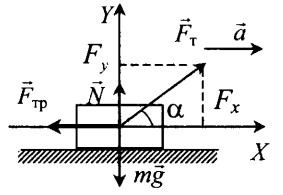
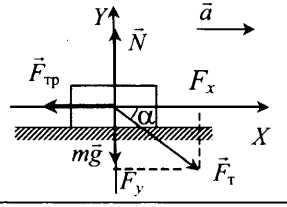
9. Парашютист массой 80 кг падает при открытом парашюте с установившейся скоростью 5 м/с. Какой будет установившаяся скорость, если на том же парашюте спускается мальчик массой 40 кг? Сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату скорости. **(3,5 м/с)**

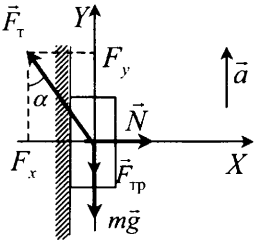
10. Определите массу груза, который нужно сбросить с аэростата массой 1100 кг, движущегося равномерно вниз, чтобы он стал двигаться с такой же по модулю скоростью вверх. Архимедова сила, действующая на аэростат, равна 10 кН. Силу сопротивления воздуха при подъеме и спуске считайте одинаковой. **(200 кг)**

Движение с учетом силы трения

1. Равноускоренное движение по горизонтали *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}_т+\vec{F}_{тр}=m\vec{a}$ $0X: F_т - F_{тр} = ma$; $0Y: N - mg = 0$	
2. Равнозамедленное движение *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}_{тр}=m\vec{a}$ $0X: -F_{тр} = -ma$; $0Y: N - mg = 0$	
3. Тело прижали к вертикальной стене *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}+\vec{F}_{тр.п.}=m\vec{a}$ $0X: N - F = 0$; $0Y: F_{тр.п.} - mg = 0$	*Внимание:* $N \neq mg$ 

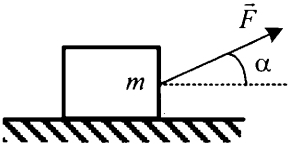
Совет. Будьте внимательны в тех случаях, когда сила тяги направлена под углом к поверхности, по которой происходит движение. Сначала следует разложить эту силу на проекции вдоль осей $0X$ и $0Y$. *Помните*, что в этих случаях $N \neq mg$.

4. Сила тяги направлена под углом к горизонту (вверх) *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}_т+\vec{F}_{тр}=m\vec{a}$ $0X: F_т \cos\alpha - F_{тр} = ma$ $0Y: F_т \sin\alpha + N - mg = 0$	*Внимание:* $N \neq mg$ 
5. Сила тяги направлена под углом к горизонту (вниз) *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}_т+\vec{F}_{тр}=m\vec{a}$ $0X: F_т \cos\alpha - F_{тр} = ma$ $0Y: N - F_т \sin\alpha - mg = 0$	*Внимание:* $N \neq mg$ 

6. Подъем под действием силы тяги, образующей угол с вертикалью *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}_{т}+\vec{F}_{тр}=m\vec{a}$ $0X: N-F_{т}\sin\alpha=0$ $0Y: F_{т}\cos\alpha-F_{тр}-mg=ma$	*Внимание:* $N \neq mg$ 

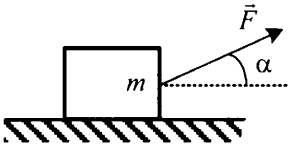
ЗАДАЧИ

52. Брусок массой 1 кг движется равноускоренно по горизонтальной поверхности под действием силы 10 Н, как показано на рисунке. Коэффициент трения скольжения равен 0,4, а угол наклона $\alpha = 30°$. Чему равен модуль силы трения?



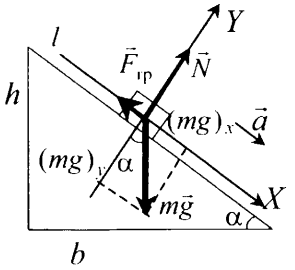
Ответ: ____ Н

53. Массивный брусок движется поступательно по горизонтальной плоскости под действием постоянной силы, направленной под углом $\alpha = 30°$ к горизонту (см. рисунок). Модуль этой силы $F = 12$ Н. Коэффициент трения между бруском и плоскостью $\mu = 0{,}2$. Модуль силы трения, действующей на брусок, $F_{тр} = 2{,}8$ Н. Чему равна масса бруска?



Ответ: ____ кг

Алгоритм решения задач
на движение по наклонной плоскости



1. Провести ось $0X$ вдоль наклонной плоскости. Ее направление совпадает с направлением движения (или ускорения).

2. Через центр тела провести оси $0Y$ перпендикулярно оси $0X$.

3. Сила тяжести всегда направлена вертикально вниз.

4. Построить проекции силы тяжести на оси $0X$ и $0Y$: $(mg)_x$ и $(mg)_y$. Сила реакции опоры перпендикулярна наклонной плоскости и в данном случае равна по модулю $(mg)_y$.

5. Направление силы тяги определяется из условия задачи.

6. Сила трения противоположна направлению скорости тела (или направлению возможного движения).

Учтите: если тело движется по гладкой наклонной плоскости, то $F_{тр} = 0$.

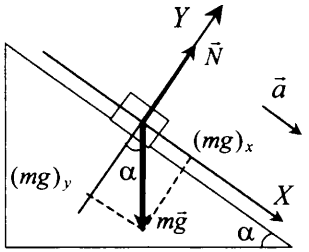
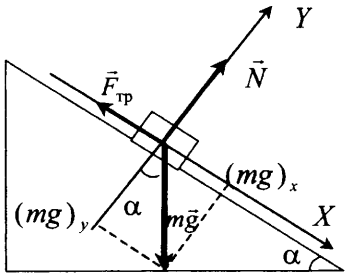
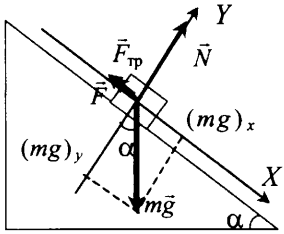
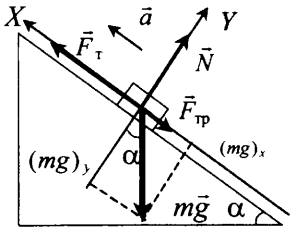
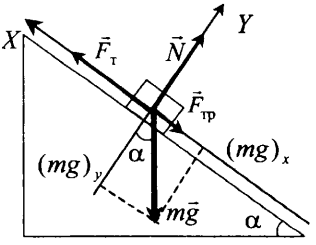
7. Указать направление ускорения.

Учтите: если тело движется с постоянной скоростью или покоится, то $a = 0$.

Подсказки

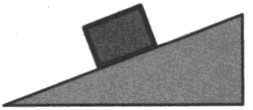
Проекции силы тяжести	$(mg)_x = mg\sin\alpha$; $(mg)_y = mg\cos\alpha$
Косинус угла наклона	$\cos\alpha = \frac{b}{l}$; $\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha}$
Синус угла наклона (уклон)	$\sin\alpha = \frac{h}{l}$
Тангенс угла наклона	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{b}$

Движение по наклонной плоскости

1. Движение вниз без трения *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$ $0X: mg\sin\alpha = ma$ $0Y: N - mg\cos\alpha = 0$	
2. Тело **покоится** на наклонной плоскости *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$ $0X: mg\sin\alpha - F_{тр.п.} = 0$ $0Y: N - mg\cos\alpha = 0$	
3. Тело удерживают на наклонной плоскости *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$ $0X: F + F_{тр} - mg\sin\alpha = 0$ $0Y: N - mg\cos\alpha = 0$	
4. Равноускоренное движение вверх с учетом силы трения *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{т} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$ $0X: F_{т} - mg\sin\alpha - F_{тр} = ma$ $0Y: N - mg\cos\alpha = 0$	
5. Равномерное движение вверх с учетом силы трения *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{т} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$ $0X: F_{т} - mg\sin\alpha - F_{тр} = 0$ $0Y: N - mg\cos\alpha = 0$	

ЗАДАЧИ

54. Брусок массой 200 г покоится на наклонной плоскости. Коэффициент трения между поверхностью бруска и плоскостью равен 0,6. Определите величину силы трения, если угол наклона плоскости к горизонту равен 30°.



Ответ: ____ Н

55. Лыжник в начале спуска с горы имел скорость 2 м/с. Спустившись по склону горы, образующей угол 30° с горизонтом, лыжник увеличил свою скорость до 12 м/с. Какое расстояние проехал лыжник под уклон? Трением пренебречь.

Ответ: ____ м

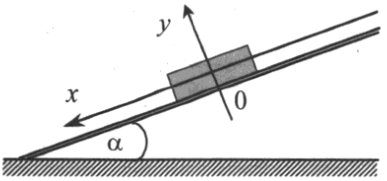
56. Шарик катится вверх по гладкой наклонной плоскости, составляющей угол 30° с горизонтом, и проходит до полной остановки путь 40 см. Определите начальную скорость шарика.

Ответ: ____ м/с

57. Спиленное дерево массой 100 кг с помощью лебедки равномерно втаскивается на плоскую поверхность грузовой платформы трактора, которая наклонена под углом 45° к горизонту. Динамометр, контролирующий натяжение троса лебедки, показывает при этом 850 Н. Определите коэффициент трения скольжения между бревном и платформой.

Ответ: ____

58. Брусок массой m скользит вниз по наклонной плоскости, установленной под углом α к горизонту (см. рисунок). Коэффициент трения шайбы о плоскость равен μ.



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) модуль ускорения при движении шайбы вниз	1) $g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$
Б) модуль силы трения	2) $\mu mg\cos\alpha$
	3) $\mu mg\sin\alpha$
	4) $g(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)$

Ответ:

А	Б

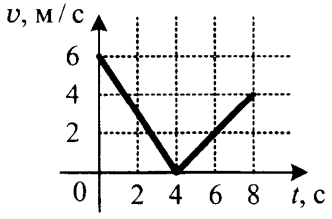
59. С вершины наклонной плоскости из состояния покоя скользит с ускорением каретка. Как изменятся ускорение каретки и сила трения, действующая на каретку, если массу каретки вдвое увеличить? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) ускорение	1) увеличится
Б) сила трения	2) уменьшится
	3) не изменится

Ответ:

А	Б

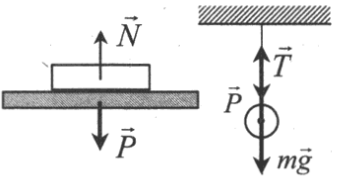
60. Шайба, брошенная вдоль наклонной плоскости, скользит по ней, двигаясь вверх, а затем движется вниз. График зависимости модуля скорости шайбы от времени дан на рисунке. Найдите синус угла наклона плоскости к горизонту.



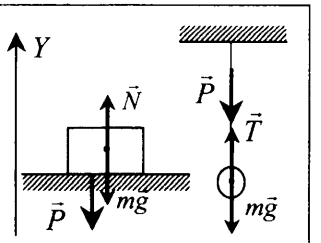
Ответ: ____

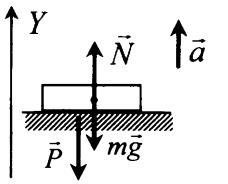
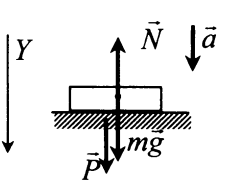
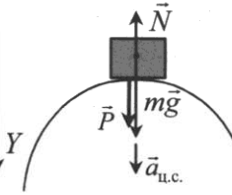
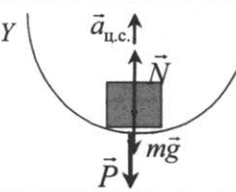
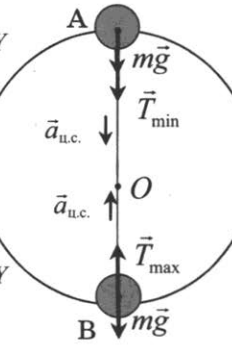
Вес тела

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

Точка приложения — точка опоры или подвеса	
Направление	Вес имеет направление, противоположное силе реакции опоры или силе натяжения нити $\vec{P} \uparrow\downarrow \vec{N}$; $\vec{P} \uparrow\downarrow \vec{T}$
Способ определения модуля веса	По третьему закону Ньютона $P = N$, или $P = T$, или $P = F_{\text{упр}}$
Вес тела, если тело и опора (подвес) неподвижны	$P_0 = mg$
Невесомость	$P = 0$
Перегрузка	$\frac{P}{P_0} = \frac{P}{mg}$

Применение второго и третьего законов Ньютона для определения веса

1. Опора или подвес неподвижны *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$ или $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}$ $0Y: N - mg = 0$ или $0Y: T - mg = 0$ $P_0 = mg$	

2. Ускорение опоры направлено вверх *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$ $0Y: N - mg = ma;$ $P_{\uparrow} = m(g + a)$	
3. Ускорение опоры направлено вниз *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$; $0Y: mg - N = ma$; $P_{\downarrow} = m(g - a)$	
4. Вершина выпуклого моста *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{ц.с.}}$ $0Y: mg - N = ma_{\text{ц.с.}};$ $P = m(g - a_{\text{ц.с.}})$	
5. Нижняя точка вогнутого моста *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{ц.с.}}$ $0Y: N - mg = ma_{\text{ц.с.}}; P = m(g + a_{\text{ц.с.}})$	
6. Полный оборот на подвесе *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{ц.с.}}$ В точке А $0Y: T + mg = ma_{\text{ц.с.}}$ $P = m\,(a_{\text{ц.с.}} - g)$ В точке В $0Y: T - mg = ma_{\text{ц.с.}}$ $P = m\,(a_{\text{ц.с.}} + g)$	

Учтите: центростремительное ускорение всегда направлено к центру окружности и равно $a_{\text{ц.с.}} = \dfrac{\upsilon^2}{R} = \omega^2 R = \dfrac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 R\nu^2$.

ЗАДАЧИ

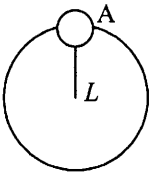
61. Груз массой 6 кг стоит на полу лифта. Лифт начинает подниматься с постоянным ускорением. При этом сила давления груза на пол лифта составляет 66 Н. Чему равно ускорение лифта?

Ответ: ____ м/с^2

62. Автомобиль массой 1000 кг едет по выпуклому мосту с радиусом кривизны 40 м. Какую скорость должен иметь автомобиль в верхней точке моста, чтобы пассажиры в этой точке почувствовали состояние невесомости?

Ответ: ____ м/с

63. На рисунке камень, привязанный к веревке длиной L = 2,5 м, равномерно вращается в вертикальной плоскости. Масса камня 2 кг. При каком значении периода обращения камня его вес в точке А станет равным нулю? Ответ округлите до сотых.



Ответ: ____ с

Алгоритм решения задач на движение связанных тел

1. Кратко записать условие задачи, все величины перевести в СИ.

2. Сделать чертеж. На нем указать:

1) все силы, действующие на каждое тело;

2) направления ускорений;

3) оси координат.

3. Записать второй закон Ньютона в векторном виде для каждого тела.

4. Записать второй закон Ньютона в проекциях на оси координат.

5. Записать третий закон Ньютона.

6. Решить задачу в общем виде. Обычно при решении избавляются от неизвестной силы натяжения нити или ускорения.

7. Подставить числовые значения.

8. Сделать проверку размерностей.

Учтите: нить нерастяжима — тела движутся с одинаковыми ускорениями; нить невесома — силы натяжения одинаковы (третий закон

Ньютона); нить не растянута — у тел могут быть разные ускорения, $T = 0$; сила давления на блок при движении грузов $\vec{F}_{давл} = \vec{T}_1 + \vec{T}_2$.

Движение связанных тел

1. Движение по горизонтали без трения

Второй закон Ньютона:

$\vec{F} + \vec{T}_1 + m_1\vec{g} + \vec{N}_1 = m_1\vec{a}$,

$\vec{T}_2 + m_2\vec{g} + \vec{N}_2 = m_2\vec{a}$.

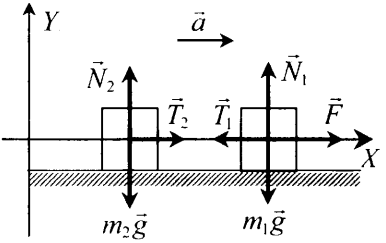
1. $0X : F - T_1 = m_1 a$

$0Y : N_1 - m_1 g = 0$

2. $0X : T_2 = m_2 a$

$0Y : N_2 - m_2 g = 0$

Третий закон Ньютона: $T_1 = T_2$



2. Движение по горизонтали с учетом трения

Второй закон Ньютона:

$\vec{F} + \vec{T}_1 + m_1\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{F}_{тр1} = m_1\vec{a}$

$\vec{T}_2 + m_2\vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{F}_{тр2} = m_2\vec{a}$

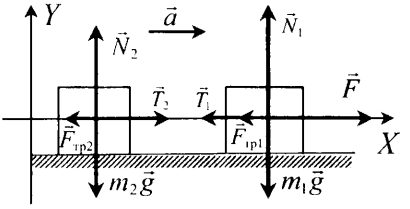
1. $0X : F - F_{тр1} - T_1 = m_1 a$

$0Y : N_1 - m_1 g = 0$.

2. $0X : T_2 - F_{тр2} = m_2 a$

$0Y : N_2 - m_2 g = 0$.

Третий закон Ньютона: $T_1 = T_2$



3. Вертикальное движение тел ($m_1 > m_2$)

Второй закон Ньютона:

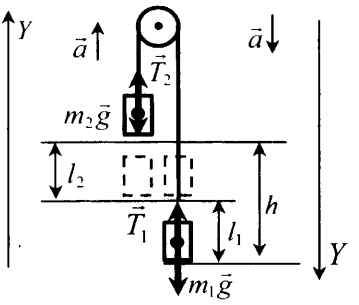
$\vec{T}_1 + m_1\vec{g} = m_1\vec{a}$

$\vec{T}_2 + m_2\vec{g} = m_2\vec{a}$

1. $0Y : m_1 g - T_1 = m_1 a$

2. $0Y : T_2 - m_2 g = m_2 a$

Третий закон Ньютона: $T_1 = T_2$



Учтите: перемещение каждого тела и расстояние между телами $h = l_1 + l_2 = 2l$

4. На один из грузов положили довесок

Второй закон Ньютона:

$(M+m)\vec{g}+\vec{T}_1=(M+m)\vec{a}$

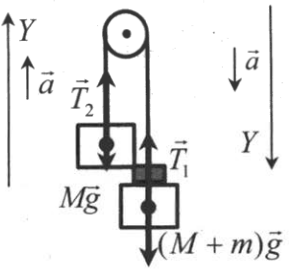
$\vec{T}_2+M\vec{g}=M\vec{a}$

1. $0Y:(M+m)g-T_1=(M+m)a$

2. $0Y:T_2-Mg=Ma$

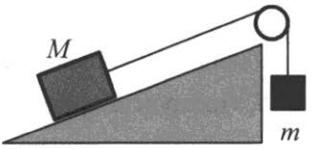
Третий закон Ньютона: $T_1=T_2$

Вес довеска: $P_{\downarrow}=m(g-a)$



ЗАДАЧИ

64. Брусок массой M = 300 г соединен с грузом массой m = 200 г невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок. Брусок скользит без трения по наклонной плоскости, составляющей угол 30° с горизонтом. Чему равно ускорение бруска?



Ответ: ____ м/с^2

65. Грузы массами M = 1 кг и m связаны легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок, по которому нить может скользить без трения (см. рисунок к задаче № 64). Груз массой M находится на шероховатой наклонной плоскости (угол наклона плоскости к горизонту 30°, коэффициент трения 0,3). Чему равно максимальное значение массы m, при котором система грузов еще не выходит из первоначального состояния покоя? Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____ кг

Динамика движения по окружности с постоянной по модулю скоростью

Алгоритм решения задач

1. Построить тело.

2. Показать направление всех сил, прилагая их к центру тела:

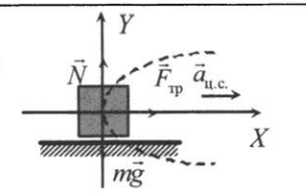
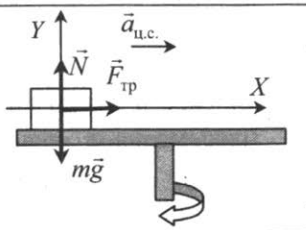
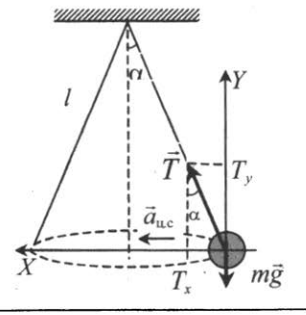
Название силы	Направление
Сила тяжести	Вертикально вниз
Сила реакции опоры	Перпендикулярно опоре
Сила натяжения нити	Вдоль оси подвеса
Сила упругости	Противоположно деформации
Сила трения, сила сопротивления	Противоположно направлению возможного движения

3. Направление центростремительного ускорения всегда направлено к центру окружности, по которой происходит движение.

4. Через центр тела провести оси координат. Желательно, чтобы направление одной оси совпадало с направлением ускорения, а другая была перпендикулярна ей.

5. Построить проекции сил на оси $0X$ и $0Y$.

Движение по окружности

1. Автомобиль на повороте *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}_{ц.с.}$ $0X: F_{тр} = ma_{ц.с.}$ $0Y: N - mg = 0$	
2. Тело на вращающемся диске *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}_{ц.с.}$ $0X: F_{тр} = ma_{ц.с.}$ $0Y: N - mg = 0$	
3. Конический маятник *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}_{ц.с.}$ $0X: T\sin\alpha = ma_{ц.с.}$ $0Y: T\cos\alpha - mg = 0$ $mg\,\mathrm{tg}\,\alpha = ma_{ц.с.}$ *Учтите*: радиус окружности, по которой происходит движение тела, $R = l\sin\alpha$	

66. Автомобиль совершает поворот на горизонтальной дороге по дуге окружности. Каков минимальный радиус окружности траектории автомобиля при его скорости 18 м/с и коэффициенте трения автомобильных шин о дорогу 0,4?

Ответ: ____ м

67. Маленький брусок массой 270 г лежит на гладкой горизонтальной поверхности и прикреплен легкой пружиной к вертикальной оси. Брусок привели во вращение вокруг этой оси с постоянной скоростью 2 м/с, в результате чего пружина, соединяющая его с осью, растянулась. Определите, во сколько раз увеличилась длина пружины. Длина пружины в недеформированном состоянии 30 см, ее коэффициент жесткости 10 Н/м. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____

68. В школьном опыте брусок, лежащий на горизонтальном диске, вращается вместе с ним с некоторой угловой скоростью. В ходе опыта период вращения диска увеличили. При этом положение бруска на диске осталось прежним. Как изменились при этом угловая скорость диска и сила нормального давления бруска на опору?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) угловая скорость	1) увеличилась
Б) сила нормального давления бруска на опору	2) уменьшилась
	3) не изменилась

Ответ:

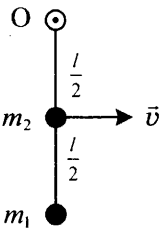
А	Б

69. На шероховатом горизонтальном диске, вращающемся вокруг вертикальной оси, покоится небольшое тело. Расстояние от оси вращения до тела $r = 25$ см. Угловую скорость вращения начали

медленно увеличивать. Каков коэффициент трения между телом и диском, если тело начало скользить по диску при угловой скорости $\omega = 4{,}5$ рад/с? Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____

70. Грузики с точечными массами m_1 = 0,25 кг и m_2 = 0,5 кг прикреплены к невесомому стержню длиной $l = 1$ м. Стержень может вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку О перпендикулярно плоскости рисунка. Грузик m_2, прикрепленный в середине стержня, в нижней точке траектории имеет скорость $\upsilon = 2$ м/с. Определите силу, с которой стержень действует на грузик m_1 в этот момент времени.



Ответ: ____ Н

3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Импульс тела

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

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

Направление импульса совпадает с направлением скорости $\vec{p} \uparrow\uparrow \vec{v}$, так как $m > 0$.

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

Повторение: уравнение проекции скорости

$$v_x = x'(t) = v_{0x} + a_x t.$$

ЗАДАЧИ

1. Скорость тела массой 100 г изменяется в соответствии с уравнением $v_x = 0{,}005\sin(10\pi t)$. Определите импульс тела в момент времени 0,2 с.

Ответ: ____ кг · м/с

2. Движение тела массой 2 кг описывается уравнением $x = A + Bt + Ct^2$, где A = 2 м, B = 3 м/с, C = 5 м/с^2. Какова проекция импульса тела на ось $0X$ в момент времени t = 2 с?

Ответ: ____ кг · м/с

3. Папа с сыном катаются с горки на легких санках. Отношение импульса папы к импульсу сына равно 1,5. Чему равно отношение скоростей их санок, если отношение массы папы к массе сына равно 3?

Ответ: ____

4. Легковой автомобиль и грузовик движутся со скоростями 108 км/ч и 54 км/ч. Масса автомобиля 1000 кг. Какова масса гру-

зовика, если отношение импульса грузовика к импульсу автомобиля равно 1;5?

Ответ: ____ кг

Относительный импульс

Произведение массы тела на относительную скорость

$$\vec{p}_{1\text{отн}2} = m_1\vec{v}_{1\text{отн}2} = m_1(\vec{v}_1 - \vec{v}_2),$$

где $\vec{p}_{1\text{отн}2}$ — импульс первого тела относительно второго (относительный импульс); m_1 — масса первого тела; $\vec{v}_1$ — скорость первого тела; $\vec{v}_2$ — скорость второго тела.

ЗАДАЧИ

5. Два автомобиля одинаковой массы m = 1,5 т едут друг за другом по одной прямой: первый — со скоростью 20 м/с, второй — со скоростью 15 м/с относительно Земли. Вычислите импульс первого автомобиля в системе отсчета, связанной со вторым автомобилем.

Ответ: ____ кг · м/с

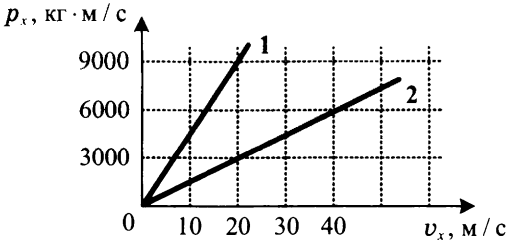
6. Два автомобиля массой m = 2 т движутся с одинаковыми скоростями 72 км/ч относительно Земли по одной прямой в одном направлении. Чему равен модуль импульса второго автомобиля в системе отсчета, связанной с первым автомобилем?

Ответ: ____ кг · м/с

7. Два автомобиля одинаковой массы m = 1 т движутся со скоростями 54 км/ч и 108 км/ч относительно Земли по одной прямой в противоположных направлениях. Чему равен модуль импульса второго автомобиля в системе отсчета, связанной с первым автомобилем?

Ответ: ____ кг · м/с

8. На рисунке приведены графики зависимости проекции импульсов p_x двух автомобилей от проекции их скоростей v_x относительно Земли. Каков импульс первого автомобиля в системе отсчета, связанной со вторым автомобилем, когда их скорости относительно Земли равны 20 м/с?

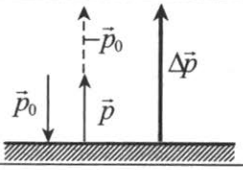
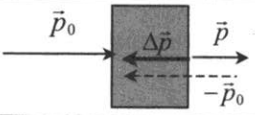
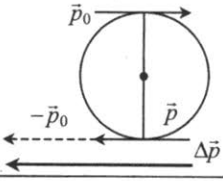
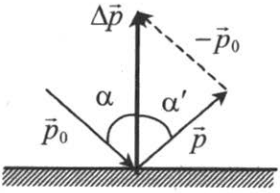


Ответ: ____ кг · м/с

Изменение импульса тела — векторная разность между конечным ($\vec{p}$) и начальным ($\vec{p}_0$) импульсом тела:

$$\Delta\vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 = \vec{p} + (-\vec{p}_0) .$$

Частные случаи определения изменения импульса тела

1. Абсолютно неупругий удар о горизонтальную поверхность — конечная скорость равна нулю: $\upsilon = 0, p = 0$, $\Delta p = p_0$	
2. Абсолютно упругий удар о горизонтальную поверхность — модули конечной и начальной скоростей равны: $\upsilon = \upsilon_0, p = p_0$, $\Delta p = 2p_0 = 2m\upsilon_0$	
3. Пуля пробила стенку $\Delta p = p_0 - p$	
4. Радиус-вектор тела повернул на 180° $\Delta p = 2p_0 = 2m\upsilon_0$	
5. Абсолютно упругое отражение от горизонтальной поверхности — модули конечной и начальной скоростей равны: $\upsilon = \upsilon_0, p = p_0$; угол падения равен углу отражения $\alpha = \alpha'$	

ЗАДАЧИ

9. Мяч массой 100 г брошен вертикально вверх с начальной скоростью 12 м/с. Определите модуль изменения импульса мяча за время от начала движения до возвращения в исходную точку, если сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

Ответ: ____ кг · м/с

10. Шайба абсолютно упруго ударилась о неподвижную стену. При этом направление движения шайбы изменилось на 90°. Импульс шайбы перед ударом равен 1 кг · м/с. Чему равен модуль изменения импульса шайбы в результате удара? Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ кг · м/с

11. Импульс частицы до столкновения равен $\vec{p}_1$, а после столкновения равен $\vec{p}_2$. Причем $p_1 = p$, $p_2 = 0,75p$, $\vec{p}_1 \perp \vec{p}_2$. Во сколько раз модуль изменения импульса частицы при столкновении $\Delta\vec{p}$ превышает импульс частицы до столкновения?

Ответ: в ____ раз(а)

12. На неподвижную горизонтально расположенную платформу под углом 45° к ней падает шар массой 200 г с начальной скоростью 10 м/с. Чему равен модуль изменения импульса шара в результате абсолютно упругого удара шара о платформу? Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____ кг · м/с

13. Шарик массой 100 г, движущийся со скоростью 1 м/с, абсолютно упруго ударяется о горизонтальную плоскость. Направление скорости шарика составляет с плоскостью угол 30°. Определите модуль изменения импульса шарика в результате удара.

Ответ: ____ кг · м/с

Второй закон Ньютона в импульсном виде

$$\vec{F} = m\vec{a},\ \vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t},$$

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0 \text{ или } \vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p},$$

где $\vec{F}\Delta t$ — импульс силы,

$\Delta\vec{p}$ — изменение импульса тела.

ЗАДАЧИ

14. На покоящееся тело массой 2,5 кг начала действовать постоянная сила. Каким должен быть импульс этой силы, чтобы скорость тела возросла до 4 м/с?

Ответ: ____ Н · с

15. Тело движется по прямой в одном направлении. Под действием постоянной силы за 3 с импульс тела изменился на 6 кг · м/с. Каков модуль силы?

Ответ: ____ Н

16. Тело движется по прямой. Под действием постоянной силы, равной по модулю 10 Н, импульс тела в инерциальной системе отсчета изменился на 5 кг · м/с. Сколько времени потребовалось для этого?

Ответ: ____ с

17. Тело движется в течение 7 с по прямой под действием постоянной силы, равной по модулю 6 Н. Насколько при этом изменился импульс тела?

Ответ: ____ кг · м/с

18. Тело движется по прямой. Под действием постоянной силы 2 Н за 3 с импульс тела увеличился и стал равен 15 кг · м/с. Чему равен первоначальный импульс тела?

Ответ: ____ кг · м/с

19. Тело движется по прямой. Начальный импульс тела равен 50 кг · м/с. Чему стал равен импульс тела под действием постоянной тормозящей силы 10 Н за 2 с?

Ответ: ____ кг · м/с

Реактивное движение

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

Ракета представляет собой систему двух тел: оболочки массой M и топлива, масса которого m; v — скорость выброса раскаленных газов, $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ — расход реактивного топлива, V — скорость ракеты.

Второй закон Ньютона в импульсном виде: $F_{\text{р}}\Delta t = \Delta m v$.

Реактивная сила

$$F_{\text{р}} = \frac{\Delta m v}{\Delta t}.$$

Второй закон Ньютона для ракеты

$$F_{\text{р}} = Ma, \text{ или } \frac{\Delta m v}{\Delta t} = Ma.$$

ЗАДАЧИ

20. Космический корабль $M = 3000$ кг начал разгон в межпланетном пространстве, включив ракетный двигатель. Из сопла двигателя ежесекундно выбрасывается 3 кг $\left(\frac{\Delta m}{\Delta t} = 3\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right)$ горючего газа со скоростью $v = 600$ м/с. Какой будет скорость V корабля через 20 с после начала разгона? Изменением массы корабля за время движения пренебречь. Принять, что поле тяготения в пространстве, в котором движется корабль, пренебрежимо мало.

Ответ: ____ м/с

21. На космическом аппарате, находящемся вдали от Земли, начал работать реактивный двигатель. Из сопла ракеты ежесекундно выбрасывается 2 кг $\left(\frac{\Delta m}{\Delta t} = 2\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right)$ газа со скоростью υ = 500 м/с. Какова масса аппарата, если через 8 с после старта пройденное им расстояние составило 64 м? Начальную скорость аппарата принять равной нулю. Изменением массы аппарата за время движения пренебречь.

Ответ: ____ кг

22. Космический корабль начал разгон в межпланетном пространстве, включив ракетный двигатель. Из сопла двигателя ежесекундно выбрасывается 3 кг $\left(\frac{\Delta m}{\Delta t} = 3\frac{\text{кг}}{\text{с}}\right)$ горючего газа со скоростью υ = 600 м/с. Определите кинетическую энергию, которую приобретает корабль, пройдя 60 м после включения двигателя. Изменением массы корабля за время движения пренебречь. Принять, что поле тяготения в пространстве, в котором движется корабль, пренебрежимо мало.

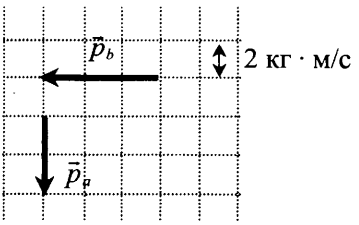
Ответ: ____ кДж

Суммарный (полный) импульс системы тел — векторная сумма импульсов всех тел:

$$\vec{p} = \Sigma\vec{p}_i\,.$$

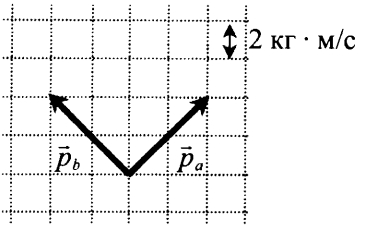
ЗАДАЧИ

23. Система состоит из двух тел *a* и *b*. На рисунке стрелками в заданном масштабе указаны импульсы этих тел. Чему равен модуль полного импульса системы? Ответ округлите до десятых.



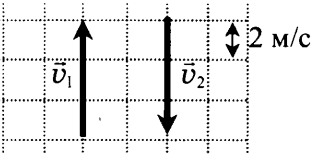
Ответ: ____ кг · м/с

24. Система состоит из двух тел *a* и *b*. На рисунке стрелками в заданном масштабе указаны импульсы этих тел. Определите модуль полного импульса системы.



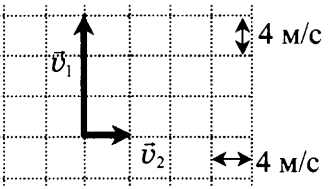
Ответ: ____ кг · м/с

25. Система состоит из двух тел 1 и 2, массы которых равны $m_1 = 2$ кг, $m_2 = 1$ кг. На рисунке стрелками в заданном масштабе указаны скорости этих тел. Определите модуль импульса всей системы.



Ответ: ____ кг · м/с

26. Система состоит из двух тел 1 и 2, массы которых равны $m_1 = 0{,}5$ кг, $m_2 = 2$ кг. На рисунке стрелками в заданном масштабе указаны скорости этих тел. Определите модуль импульса всей системы.



Ответ: ____ кг · м/с

Закон сохранения импульса

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

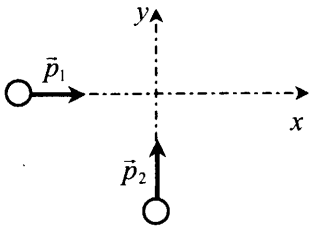
$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$$

векторная сумма импульсов тел до взаимодействия — векторная сумма импульсов тел после взаимодействия

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

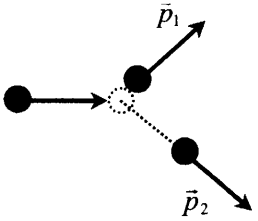
ЗАДАЧИ

27. Два тела движутся по взаимно перпендикулярным пересекающимся прямым, как показано на рисунке. Модуль импульса первого тела $p_1 = 4$ кг · м/с, а второго $p_2 = 3$ кг · м/с. Чему равен модуль импульса системы этих тел после их абсолютно неупругого удара?



Ответ: ____ кг · м/с

28. На неподвижный бильярдный шар налетел другой такой же шар. После удара шары разлетелись под углом 90° так, что импульс одного равен $p_1 = 1{,}5$ кг · м/с, а другого $p_2 = 2$ кг · м/с. Какой импульс был у налетающего шара до столкновения?



Ответ: ____ кг · м/с

Закон сохранения импульса в проекции на горизонтальную ось

Совет: если до и после столкновения скорости тел направлены вдоль горизонтальной оси, то закон сохранения импульса записывайте в проекциях на ось 0*X*. *Помните,* что знак проекции вектора положителен, если его направление совпадает с направлением выбранной оси, и отрицателен, если вектор имеет противоположное оси направление. *Учтите:* при неупругом столкновении двух тел, движущихся

навстречу друг другу, скорость совместного движения будет направлена в ту сторону, куда до столкновения двигалось тело с большим импульсом.

Частные случаи закона сохранения импульса (в проекциях на горизонтальную ось)

Неупругое столкновение с неподвижным телом	$m_1\upsilon_1 = (m_1 + m_2)\upsilon$
Неупругое столкновение движущихся тел	$\pm m_1\upsilon_1 \pm m_2\upsilon_2 = \pm(m_1 + m_2)\upsilon$
В начальный момент система тел неподвижна	$0 = m_1\upsilon_1' - m_2\upsilon_2'$
До взаимодействия тела двигались с одинаковой скоростью	$(m_1 + m_2)\upsilon = \pm m_1\upsilon_1' \pm m_2\upsilon_2'$

Подсказка к задаче

Задача	*Подсказка*
Тележка массой M и длиной l стоит на гладких рельсах. Человек массой m переходит с одного ее конца на другой параллельно рельсам. На какое расстояние относительно земли переместится при этом тележка?	*Закон сохранения импульса:* $0X: 0 = m\upsilon - (M + m)u$ Умножим на время t $m\ell = (M + m)s_{\text{тел}}$ **Ответ:** $s_{\text{тел}} = \dfrac{ml}{M + m}$

ЗАДАЧИ

29. Два шара массами $2m$ и m движутся со скоростями, равными соответственно 2υ и υ. Первый шар движется за вторым и, догнав, прилипает к нему. Во сколько раз полный импульс шаров после удара превышает импульс второго шара до столкновения?

Ответ: в _____ раз(а)

30. Навстречу друг другу летят шарики из пластилина. Модули их импульсов равны соответственно 0,05 кг · м/с и 0,03 кг · м/с. Столкнувшись, шарики слипаются. Определите полный импульс слипшихся шариков.

Ответ: _____ кг · м/с

31. Пластилиновый шарик массой $2m$, движущийся со скоростью 6 м/с, налетает на покоящийся пластилиновый шарик массой $4m$. После удара шарики, слипшись, движутся вместе. Какова скорость их движения?

Ответ: ____ м/с

32. Пуля массой 10 г попадает в деревянный брусок, неподвижно лежащий на гладкой горизонтальной плоскости, и застревает в нем. Скорость бруска после этого становится равной 8 м/с. Масса бруска в 49 раз больше массы пули. Определите скорость пули до попадания в брусок.

Ответ: ____ м/с

33. Два пластилиновых шарика массами m и $2m$ находятся на гладком горизонтальном столе. Первый из них движется ко второму со скоростью $\vec{v}$, а второй покоится относительно стола. Укажите формулы, по которым можно рассчитать модули изменения скоростей шариков в результате их абсолютно неупругого удара.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) модуль изменения скорости первого шарика	1) $\lvert\Delta\vec{v}\rvert = 2v$
Б) модуль изменения скорости второго шарика	2) $\lvert\Delta\vec{v}\rvert = \frac{1}{3}v$
	3) $\lvert\Delta\vec{v}\rvert = 3v$
	4) $\lvert\Delta\vec{v}\rvert = \frac{2}{3}v$

Ответ:

А	Б

34. С неподвижной лодки массой 50 кг на берег прыгнул мальчик массой 40 кг со скоростью 1 м/с, направленной горизонтально. Какую скорость относительно берега приобрела лодка?

Ответ: ____ м/с

35. Игрок в керлинг скользит с игровым камнем по льду со скоростью 4 м/с. В некоторый момент он аккуратно толкает камень в направлении своего движения. Скорость камня при этом возрас-

тает до 6 м/с. Масса камня 20 кг, а игрока 80 кг. Какова скорость игрока после толчка? Трение коньков о лед не учитывайте.

Ответ: ____ м/с

36. На одном конце тележки длиной $l = 5$ м стоит человек массой $m = 40$ кг. Масса тележки $M = 60$ кг. На какое расстояние относительно пола передвинется тележка, если человек перейдет с постоянной скоростью на другой ее конец? Массой колес и трением пренебречь.

Ответ: ____ м

37. На краю стола высотой 1,25 м лежит пластилиновый шарик массой 100 г. На него со стороны стола налетает по горизонтали другой пластилиновый шарик, имеющий скорость 0,9 м/с. Какой должна быть масса второго шарика, чтобы точка приземления шариков на пол была дальше от стола, чем заданное расстояние 0,3 м? (Удар считать центральным.)

Ответ: ____ кг

Сохранение проекции импульса. В незамкнутых системах *закон сохранения импульса* выполняется частично. Например, если из пушки под некоторым углом α к горизонту вылетает снаряд, то влияние силы реакции опоры не позволит орудию «уйти под землю». В момент отдачи оно будет откатываться по поверхности земли.

Совет: используйте в таких задачах закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось $0X$.

УПРАЖНЕНИЯ

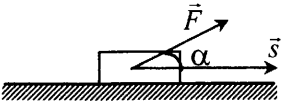
1. На тележку массой 100 кг, движущуюся равномерно по гладкой горизонтальной поверхности со скоростью 3 м/с, вертикально падает груз массой 50 кг. Определите, с какой скоростью будет двигаться тележка. **(2 м/с)**

2. На сани, стоящие на гладком льду, с некоторой высоты прыгает человек массой 50 кг. Проекция скорости человека на горизонтальное направление в момент соприкосновения с санями 4 м/с. Скорость саней с человеком после прыжка составила 0,8 м/с. Определите массу саней. **(200 кг)**

3. Конькобежец массой 85 кг, стоя на коньках на льду, бросает камень массой 5 кг со скоростью 8 м/с под углом 30° к горизонту. Определите скорость конькобежца после броска. **(0,4 м/с)**

4. Пуля массой 20 г, летящая со скоростью 700 м/с под углом 60° к горизонту, попадает в мешок с песком массой 4 кг, лежащий на гладком горизонтальном столе, и застревает в нем. Определите скорость скольжения мешка по столу. **(1,74 м/с)**

Механическая работа



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

где F (Н) — модуль силы;

s (м) — модуль перемещения;

α — угол между направлениями силы и перемещения.

Учтите: модуль работы силы трения скольжения

$$A = F_{тр} \cdot l\,,$$

где l (м) — пройденный путь.

Единица измерения работы — джоуль

$$1\ \text{Дж} = 1\ \text{Н} \cdot \text{м}\,.$$

Условия совершения механической работы

- На тело действует сила.
- Под действием этой силы тело перемещается.
- $\alpha \neq 90°$

Повторение.

Перемещение при равноускоренном прямолинейном движении:

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2};\ s = \frac{v^2 - v_0^2}{\pm 2a};\ s = \frac{(v_0 + v)t}{2}.$$

Учтите: F — модуль конкретной силы.

Сила тяжести $F_{тяж} = mg$.

Сила упругости $F_{упр} = kx$.

Сила трения скольжения $F_{тр} = \mu N$.

Силу тяги определяют в соответствии со вторым законом Ньютона.

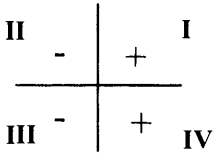
Учтите: знак работы зависит **только** от значения $\cos\alpha$.

Обратите внимание:

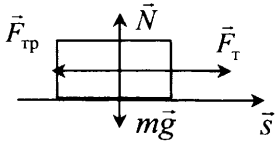
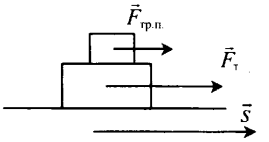
если $0° < \alpha < 90°$, то $\cos\alpha > 0$;

если $\alpha = 90°$, то $\cos\alpha = 0$;

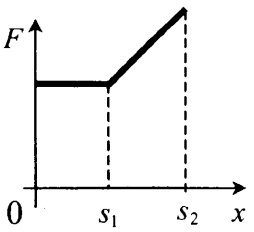
если $90° < \alpha < 180°$, то $\cos\alpha < 0$.



Примеры определения знака работы

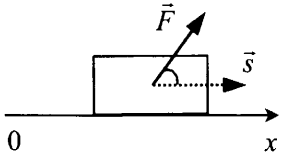
	$A(F_т) > 0$ $A(F_{тр}) < 0$ $A(N) = 0$ $A(mg) = 0$ *Учтите:* работа силы *трения скольжения* всегда отрицательна, так как $\vec{F}_{тр.ск.} \uparrow\downarrow \vec{s}$, $\cos(180°) = -1$
	Работа *силы трения покоя* может быть положительной в тех случаях, когда $\vec{F}_{тр.п.} \uparrow\uparrow \vec{s}$

Геометрический смысл механической работы. Механическая работа численно равна площади фигуры под графиком в осях (F, x): $A = S_{фиг}$.



ЗАДАЧИ

38. На горизонтальной поверхности находится тело, на которое действуют с силой 10 Н, направленной под углом 60° к горизонту. Под действием этой силы тело перемещается по поверхности на 5 м. Определите работу этой силы.



Ответ: ____ Дж

39. Груз массой 1 кг под действием силы 30 Н, направленной вертикально вверх, поднимается на высоту 2 м. Определите работу этой силы.

Ответ: ____ Дж

40. Мужчина с помощью троса достал ведро из колодца глубиной 10 м. Масса ведра 1,5 кг, а масса воды в ведре — 10 кг. Чему равна минимальная работа силы упругости троса?

Ответ: ____ Дж

41. С помощью динамометра, расположенного под углом 30° к горизонтальной поверхности, равномерно перемещают брусок массой 100 г на расстояние, равное 20 см. Определите работу равнодействующей всех сил.

Ответ: ____ Дж

42. Мальчик равномерно тянет санки по дуге окружности радиусом 5 м. При этом на санки действует сила трения 60 Н. Чему равна работа силы тяги за время, необходимое для прохождения половины длины окружности?

Ответ: ____ Дж

43. Ящик тянут за веревку по горизонтальной окружности диаметром 20 м с постоянной по модулю скоростью. Работа силы тяги

за один оборот по окружности 3 кДж. Чему равен модуль силы трения, действующей на ящик со стороны земли? Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ Н

44. Брусок массой 50 г съезжает с наклонной плоскости в течение 0,49 с. Длина наклонной плоскости 30 см, угол ее наклона 30°. Определите абсолютную величину работы силы трения, если начальная скорость бруска равна нулю.

Ответ: ____ мДж

Механическая энергия. Ее виды

Если тело может совершить механическую работу, то оно обладает *механической энергией* E (Дж).

Виды механической энергии: кинетическая и потенциальная.

Кинетическая энергия — энергия движущихся тел:

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

где v (м/с) — модуль мгновенной скорости.

Потенциальная энергия — энергия взаимодействующих тел.

Примеры потенциальной энергии в механике

Тело поднято над землей:

$$E_p = mgh,$$

где h — высота, определяемая от нулевого уровня (или от нижней точки траектории).

Упруго деформированное тело:

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

где x (м) — деформация, определяемая от положения недеформированного тела (пружины, шнура и т.п.).

Повторение: скорость искусственного спутника, движущегося по круговой орбите: $v = \sqrt{\frac{GM}{R+H}}$.

45. Хоккейная шайба массой 160 г летит со скоростью 10 м/с. Какова ее кинетическая энергия?

Ответ: ____ Дж

46. Тележка движется со скоростью 3 м/с. Ее кинетическая энергия равна 27 Дж. Какова масса тележки?

Ответ: ____ кг

47. Во сколько раз надо увеличить скорость тела, чтобы его кинетическая энергия возросла в 9 раз?

Ответ: в ____ раз(а)

48. Кинетическая энергия тела 8 Дж, а величина импульса 4 Н · с. Определите массу тела.

Ответ: ____ кг

49. Камень брошен вверх под углом к горизонту. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Как меняются с набором высоты модуль ускорения камня и его кинетическая энергия?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) модуль ускорения камня	1) увеличивается
Б) кинетическая энергия камня	2) уменьшается
	3) не изменяется

Ответ:

А	Б

50. Искусственный спутник переходит с круговой орбиты, расположенной на высоте 600 км от поверхности Земли, на орбиту, расположенную на высоте 100 км от поверхности. Найдите отношение кинетических энергий спутников E_{k1} / E_{k2}. Радиус Земли 6400 км. Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____

51. Мальчик подбросил футбольный мяч массой 0,4 кг на высоту 3 м. На сколько изменилась потенциальная энергия мяча?

Ответ: на ____ Дж

52. С балкона высотой 4 м упал предмет массой 0,5 кг. Чему равен модуль изменения потенциальной энергии предмета?

Ответ: ____ Дж

53. Камень уронили с крыши. Как изменяются по мере падения камня потенциальная энергия в поле тяжести и модуль импульса? Сопротивление воздуха не учитывать.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) потенциальная энергия камня	1) увеличивается
Б) модуль импульса камня	2) уменьшается
	3) не изменяется

Ответ:

А	Б

54. Брусок скользит по наклонной плоскости вниз без трения. Что происходит при этом с его скоростью и потенциальной энергией?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) скорость	1) увеличивается
Б) потенциальная энергия	2) уменьшается
	3) не изменяется

Ответ:

А	Б

55. Недеформированную пружину жесткостью 30 Н/м растянули на 4 см. Чему равна потенциальная энергия растянутой пружины?

Ответ: ____ Дж

56. Первая пружина имеет жесткость 20 Н/м, вторая 40 Н/м. Обе пружины растянуты на 1 см. Определите отношение потенциальных энергий пружин E_2/E_1 .

Ответ: ____

57. При растяжении пружины на 0,1 м в ней возникает сила упругости, равная 2,5 Н. Определите потенциальную энергию этой пружины при растяжении на 0,08 м.

Ответ: ____ Дж

Мощность

Мощность — физическая величина, показывающая, какую работу совершает тело за единицу времени (или какую энергию вырабатывает тело за единицу времени).

Обозначение	N (в механике) или P (в других разделах)
Основная формула	$N = \frac{A}{t}$
Единица измерения в СИ	$1\ \text{Вт} = \frac{1\ \text{Дж}}{1\ \text{с}}$
Мгновенная мощность	$N_{\text{мгн}} = F_{\text{т}} \cdot \upsilon_{\text{мгн}}$

Подсказки к задачам

Мощность при равномерном прямолинейном движении тела	$N = \frac{A}{t} = \frac{F_{\text{т}} \cdot s}{t} = F_{\text{т}}\upsilon$, где $F_{\text{т}}$ — сила тяги, υ — скорость тела
Мощность при равномерном подъеме груза	$N = \frac{mgh}{t}$, где m — масса груза, h — высота подъема, t — время
Мощность силы трения при равномерном движении по горизонтали	$N = \frac{\mu mg\cos(180°)s}{t} = -\mu mg\upsilon$

ЗАДАЧИ

58. Механическая мощность, развиваемая двигателем автомобиля, равна 100 кВт. Какую работу совершает двигатель за 1 с?

Ответ: ____ кДж

59. Под действием силы тяги 1000 Н автомобиль движется с постоянной скоростью 72 км/ч. Определите мощность двигателя.

Ответ: ____ кВт

60. Какую мощность развивает сила тяги трактора, перемещая прицеп со скоростью 18 км/ч, если она составляет 16,5 кН?

Ответ: ____ Вт

61. Парашютист массой 75 кг равномерно опускается на парашюте со скоростью 4 м/с. Какова мощность силы тяжести, действующей на парашютиста?

Ответ: ____ Вт

62. Машина равномерно поднимает тело массой 10 кг на высоту 20 м за 40 с. Чему равна ее мощность?

Ответ: ____ Вт

63. Какую мощность развивает двигатель подъемного механизма крана, если он равномерно поднимает плиту массой 600 кг на высоту 4 м за 3 с?

Ответ: ____ Вт

64. Человек тянет брусок массой 1 кг по горизонтальной поверхности с постоянной скоростью, действуя на него в горизонтальном направлении. Коэффициент трения между бруском и поверхностью 0,1. Скорость движения бруска равна 10 м/с. Какую мощность развивает человек, перемещая груз?

Ответ: ____ Вт

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}} \cdot 100\% \quad \left(\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{E_{\text{затрач}}} \cdot 100\% \right) \text{ или } \eta = \frac{N_{\text{полезн}}}{N_{\text{полн}}} \cdot 100\%.$$

Частные случаи определения КПД

Устройство	Полезная работа и полная работа (затраченная энергия)	КПД
Неподвижный блок, рычаг	$A_{\text{полезн}} = mgh$ $A_{\text{соверш.}}$	$\eta = \frac{mgh}{A_{\text{соверш.}}} \cdot 100\%$
Наклонная плоскость	$A_{\text{полезн}} = mgh$ $A_{\text{полн}} = F \cdot l$	$\eta = \frac{mgh}{Fl} \cdot 100\%$

ЗАДАЧИ

65. Определите полезную мощность двигателя, если его КПД 40%, а мощность по техническому паспорту 100 кВт.

Ответ: ____ кВт

66. С помощью неподвижного блока, закрепленного на потолке, поднимают груз массой 20 кг на высоту 1,5 м. Какую работу при этом совершают, если КПД блока равен 80%?

Ответ: ____ Дж

67. С помощью рычага длиной 150 см подняли груз массой 100 кг на высоту 5 см. Какую работу совершили при этом, если КПД устройства 95%? Ответ округлите до целых.

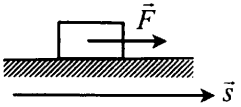
Ответ: ____ Дж

68. Груз перемещают равномерно по наклонной плоскости длиной 2 м. Под действием силы 2,5 Н, направленной вдоль плоскости, груз подняли на высоту 0,4 м. Если полезной считать ту часть работы, которая пошла на увеличение потенциальной энергии груза, то КПД наклонной плоскости в данном процессе равен 40%. Какова масса груза?

Ответ: ____ г

Работа и изменение кинетической энергии (теорема о кинетической энергии)

Вывод формулы из определения механической работы:



$$A = Fs\cos\alpha$$

$$\alpha = 0^\circ;\ \cos\alpha = 1$$

$$F = ma;\ s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

$$A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \Delta E_k.$$

Учтите: v — модуль мгновенной скорости.

ЗАДАЧИ

69. Скорость автомобиля массой 1 т увеличилась от 10 м/с до 20 м/с. Чему равна работа равнодействующей силы?

Ответ: ____ кДж

70. Шарик массой 250 г движется со скоростью 18 км/ч. После упругого соударения со стенкой он стал двигаться в противоположном направлении, но с такой же по модулю скоростью. Чему равна работа силы упругости, которая подействовала на шарик со стороны стенки?

Ответ: ____ Дж

71. Груз массой 1 кг под действием силы 50 Н, направленной вертикально вверх, поднимается на высоту 3 м. Определите изменение кинетической энергии груза.

Ответ: ____ Дж

72. Автобус массой m, движущийся по прямолинейному горизонтальному участку дороги со скоростью v, совершает торможение до полной остановки. При торможении колеса автобуса не вращаются. Коэффициент трения между колесами и дорогой равен μ. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

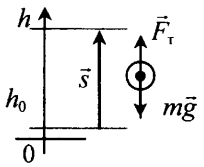
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) модуль работы силы трения, действующей на автобус в процессе торможения	1) $\mu g \upsilon$
Б) время, необходимое для полной остановки автобуса	2) $\dfrac{m\upsilon^2}{2\mu g}$
	3) $\dfrac{\upsilon}{\mu g}$
	4) $\dfrac{m\upsilon^2}{2}$

Ответ:

А	Б

Работа и изменение потенциальной энергии тела, поднятого над землей

Вывод формулы из определения механической работы:



$$A = Fs\cos\alpha,$$

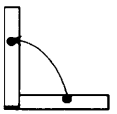
$$\vec{F}_т \uparrow\uparrow \vec{s}; \quad \cos\alpha = 1,$$

$$F_т = mg;\ s = h - h_0,$$

$$A = mg(h - h_0) = \Delta E_p.$$

Учтите: потенциальная энергия протяженного тела выражается через высоту его *центра масс*. У однородного тела правильной формы он совпадает с геометрическим центром.

Подсказка к задаче

Задача	*Подсказка*
Тонкий лом длиной l и массой m лежит на горизонтальной поверхности. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы поставить его на землю в вертикальное положение?	 *Учтите*: центр масс лома поднимается на высоту $\dfrac{l}{2}$, поэтому $A = mgh = mg\dfrac{l}{2}$

ЗАДАЧИ

73. Шарик массой 100 г скатился с горки длиной 2 м, составляющей с горизонталью угол 30°. Определите работу силы тяжести.

Ответ: ____ Дж

74. Лежавшую на столе линейку длиной 0,5 м ученик поднял за один конец так, что она оказалась в вертикальном положении. Какую минимальную работу совершил ученик, если масса линейки 40 г?

Ответ: ____ Дж

75. Человек взялся за конец лежащего на земле однородного стержня длиной 2 м и массой 100 кг и поднял этот конец на высоту 1 м. Какую работу он совершил?

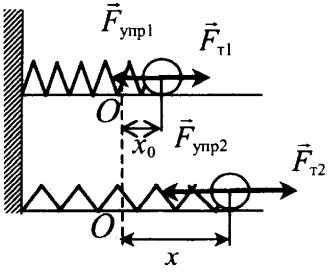
Ответ: ____ Дж

76. Лежавшую на столе линейку длиной 1 м ученик поднял за один конец так, что она оказалась наклоненной к столу под углом 30°. Какую минимальную работу совершил ученик, если масса линейки 40 г?

Ответ: ____ Дж

Работа и изменение потенциальной энергии упруго деформированного тела

Вывод формулы из определения механической работы:



$$A = Fs\cos\alpha$$

$$\vec{F}_т \uparrow\uparrow \vec{s};\ \cos\alpha = 1$$

$$F_т = F_{упр} = \frac{kx_0 + kx}{2}$$

$$s = x - x_0$$

$$A = \frac{kx^2}{2} - \frac{kx_0^2}{2} = \Delta E_p$$

Учтите: работа силы тяжести и работа силы упругости не зависят от вида траектории, по замкнутому контуру они равны нулю. Такие силы называют *потенциальными*.

Закон сохранения механической энергии

Полная механическая энергия — это сумма потенциальной и кинетической энергии тела в определенный момент времени:

$$E = E_k + E_p .$$

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

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

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

Закон сохранения механической энергии для движения в поле тяжести Земли:

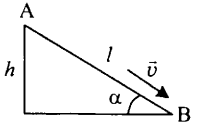
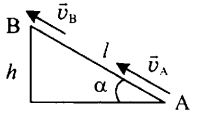
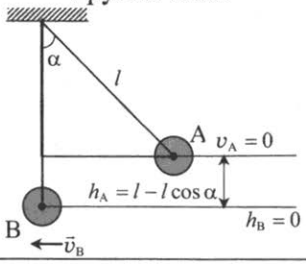
$$\frac{m\upsilon_0^2}{2} + mgh_0 = \frac{m\upsilon^2}{2} + mgh .$$

Слова-подсказки: «тело свободно падает» — $\upsilon_0 = 0$; «в момент наивысшего подъема» — $\upsilon = 0$; «тело бросают от земли» — $h_0 = 0$; «тело упало на землю» — $h = 0$.

Повторение: дальность полета при броске под углом к горизонту

$$l = \frac{\upsilon_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Примеры определения полной механической энергии в начальном и конечном положении

Пример	Начальное положение — точка A	Конечное положение — точка B
Спуск с наклонной плоскости $(\upsilon_A = 0)$ 	$E_A = mgh_A$, где $h_A = l\sin\alpha$	$E_B = \frac{m\upsilon_B^2}{2}$
Подъем по наклонной плоскости 	$E_A = \frac{m\upsilon_A^2}{2}$	$E_B = \frac{m\upsilon_B^2}{2} + mgh_B$, где $h_B = l\sin\alpha$
Груз на нити 	$E_A = mgh_A$, где $h_A = l(1-\cos\alpha)$	$E_B = \frac{m\upsilon_B^2}{2}$
Вертикальный выстрел из пружинного пистолета	$E_A = \frac{k\Delta l^2}{2}$	$E_B = mgh_B$

ЗАДАЧИ

77. Камень брошен вертикально вверх. В момент броска он имел кинетическую энергию 30 Дж. Какую потенциальную энергию относительно поверхности земли будет иметь камень в верхней точке траектории полета? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: ____ Дж

78. Камень брошен вертикально вверх. В момент броска он имел кинетическую энергию 20 Дж. Какую кинетическую энергию будет иметь камень в верхней точке траектории полета? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: ____ Дж

79. Тело массой 1 кг, брошенное с уровня земли вертикально вверх, упало обратно. Перед ударом о землю оно имело кинетическую энергию 200 Дж. С какой скоростью тело было брошено вверх? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: ____ м/с

80. Тело массой 1 кг, брошенное вертикально вверх от поверхности земли, достигло максимальной высоты 20 м. С какой по модулю скоростью двигалось тело на высоте 10 м? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ м/с

81. Шайба соскальзывает по гладкой наклонной плоскости из состояния покоя с высоты 20 см. Чему равна скорость шайбы у основания наклонной плоскости?

Ответ: ____ м/с

82. Мальчик столкнул санки с вершины горки. Сразу после толчка санки имели скорость 2 м/с, а у подножия горки она равнялась 8 м/с. Трение санок о снег пренебрежимо мало. Какова высота горки?

Ответ: ____ м

83. Шайба массой m съезжает без трения с горки высотой H из состояния покоя. Ускорение свободного падения равно g. Чему равны модуль импульса шайбы и ее кинетическая энергия у подножия горки? Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) модуль импульса шайбы	1) $\sqrt{2gH}$
Б) кинетическая энергия шайбы	2) $m\sqrt{2gH}$
	3) mgH
	4) mg

Ответ:

А	Б

84. Шайба съезжает без трения из состояния покоя с горки высотой H. Ускорение свободного падения равно g. У подножия горки кинетическая энергия шайбы равна E_k. Чему равны масса шайбы и модуль ее импульса у подножия горки?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) масса шайбы	1) $E_k\sqrt{\frac{2}{gH}}$
Б) модуль импульса шайбы у подножия горки	2) $\frac{\sqrt{2E_k}}{gH}$
	3) $\sqrt{\frac{2E_k}{gH}}$
	4) $\frac{E_k}{gH}$

Ответ:

А	Б

85. После удара клюшкой шайба стала скользить вверх по ледяной горке и у ее вершины имела скорость 5 м/с. Высота горки 10 м. Если трение шайбы о лед пренебрежимо мало, то чему равна скорость шайбы после удара?

Ответ: ____ м/с

86. Автомобиль, двигаясь с выключенным двигателем, на горизонтальном участке дороги имеет скорость 20 м/с. На какую высоту он поднимется до полной остановки вверх по склону горы под углом 30° к горизонту? Трением пренебречь.

Ответ: ____ м

87. Автомобиль, двигаясь с выключенным двигателем, на горизонтальном участке дороги имеет скорость 30 м/с. Какое расстояние он проедет до полной остановки вверх по склону горы под углом 30° к горизонту? Трением пренебречь.

Ответ: ____ м

88. Конькобежец, разогнавшись, въезжает на ледяную гору, наклоненную под углом 30° к горизонту, и проезжает до полной остановки 10 м. Какова была скорость конькобежца перед началом подъема? Трением пренебречь.

Ответ: ____ м/с

89. Автомобиль движется с выключенным двигателем вверх по склону, образующему угол 30° с горизонтом. Начальная скорость автомобиля 30 м/с. Какой будет скорость автомобиля через 50 м перемещения по склону? Трением пренебречь.

Ответ: ____ м/с

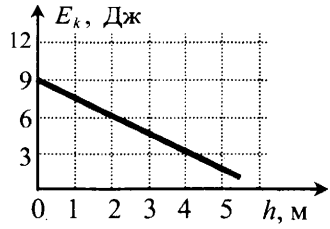
90. Горизонтально расположенная невесомая пружина жесткостью 1000 Н/м находится в недеформированном состоянии. Один ее конец закреплен, а другой касается бруска массой 0,1 кг, находящегося на горизонтальной поверхности. Брусок сдвигают, сжимая пружину, и отпускают. На какую длину была сжата пружина, если после отпускания бруска его скорость достигла величины 1 м/с? Трение не учитывать.

Ответ: ____ см

91. При выстреле из пружинного пистолета вертикально вверх шарик массой 100 г поднимается на высоту 2 м. Какова жесткость пружины, если до выстрела пружина была сжата на 5 см?

Ответ: ____ Н/м

92. Мяч брошен вертикально вверх. На рисунке показан график изменения кинетической энергии мяча по мере его подъема над точкой бросания. Какова полная энергия мяча на высоте 2 м?



Ответ: ____ Дж

Применение закона сохранения энергии и второго закона Ньютона

Алгоритм решения задач

1. Построить начальное и конечное положения тела.

2. Выбрать нулевой уровень для определения потенциальной энергии. (Для удобства пусть это будет нижняя точка траектории.)

3. Определить начальную и конечную высоты тела; начальную и конечную скорости.

4. Указать силы, действующие на тело; направление ускорения и оси координат.

Учтите: центростремительное ускорение направлено к центру окружности. Направление оси координат удобнее выбирать в ту же сторону, в которую направлено ускорение.

Если тело находится на нити или стержне длиной l и совершает оборот в вертикальной плоскости, то $R = l$, где R — радиус движения тела.

5. Записать закон сохранения энергии:

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

6. Записать второй закон Ньютона в векторной форме:

$$\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{ц.с}} \quad \text{или} \quad \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{ц.с.}} .$$

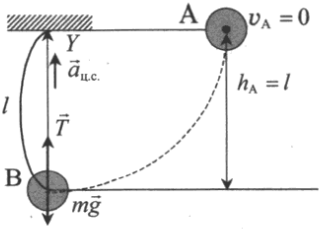
7. Записать второй закон Ньютона в проекциях на оси координат.

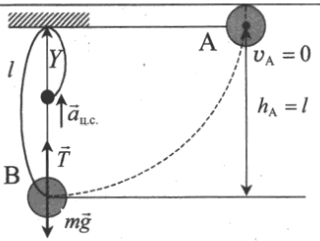
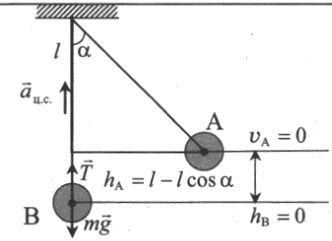
8. Решить задачу в общем виде.

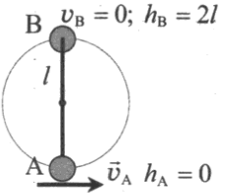
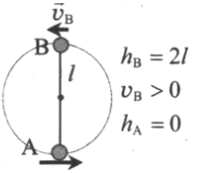
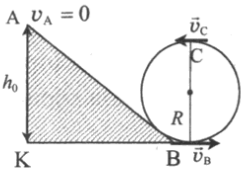
9. Подставить числовые значения.

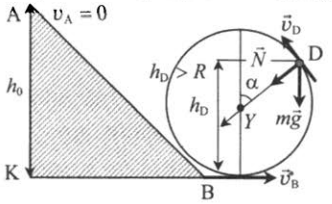
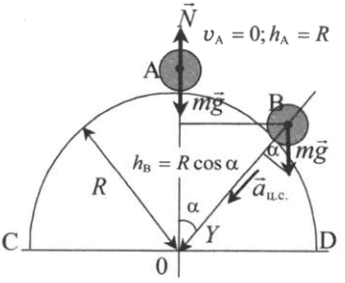
10. Проверить размерности.

Подсказки к задачам

Задачи	*Подсказки*
1. Легкий стержень прикреплен одним концом к потолку и может совершать колебания в вертикальной плоскости. На другом конце стержня укреплен небольшой груз массой m. Стержень отклонили в горизонтальное положение и отпустили.	 Нулевой уровень — в точке B *Закон сохранения энергии* $mgl = \frac{mv_B^2}{2}$

Задачи	*Подсказки*
С какой силой $\vec{F}$ будет действовать груз на стержень в низшей точке траектории? **Ответ:** $F = 3mg$	*Второй закон Ньютона в векторной форме для точки* B: $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{ц.с.}}$ $0Y: T - mg = \dfrac{mv_B^2}{l}$ *Третий закон Ньютона*: $F = T$
2. Нить длиной l с привязанным к ней шариком отклонили на 90° от вертикали и отпустили. На каком наименьшем расстоянии x под точкой подвеса нужно вбить гвоздь, чтобы, налетев на него, нить порвалась? В состоянии покоя нить выдерживает восьмикратный вес шарика. **Ответ:** $x = \dfrac{5l}{7}$	 Нулевой уровень — в точке B *Закон сохранения энергии*: $mgl = \dfrac{mv_B^2}{2}$ Вбитый под точкой подвеса гвоздь изменяет радиус движения тела $R = l - x$ *Второй закон Ньютона в векторной форме для точки* B: $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{ц.с.}}$; $0Y: T - mg = \dfrac{mv_B^2}{l - x}$
3. Тяжелый шарик массой m подвешен на нити. Нить может выдерживать максимальное натяжение T. На какой минимальный угол α от положения равновесия нужно отклонить нить с шариком, чтобы он оборвал нить, проходя через положение равновесия? **Ответ:** $\cos\alpha = \dfrac{(3mg - T)}{2mg}$	 Нулевой уровень — в точке B *Закон сохранения энергии:* $mgl(1 - \cos\alpha) = \dfrac{mv_B^2}{2}$ *Второй закон Ньютона в векторной форме для положения равновесия:* $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{ц.с.}}$; $0Y: T - mg = \dfrac{mv_B^2}{l}$

Задачи	*Подсказки*
4. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарику, чтобы он сделал полный оборот в вертикальной плоскости, если он висит на жестком невесомом **стержне** длиной l? **Ответ:** $v_A = 2\sqrt{gl}$	 Нулевой уровень — в точке А *Закон сохранения энергии:* $\frac{mv_A^2}{2} = mg2l$
5. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарику, чтобы он сделал полный оборот в вертикальной плоскости, если он висит на **нити** длиной l? **Ответ:** $v_A = \sqrt{5gl}$	 Нулевой уровень — в точке А *Закон сохранения энергии*: $\frac{mv_A^2}{2} = mg2l + \frac{mv_B^2}{2}$ *Учтите:* чтобы в верхней точке нить «не упала», тело не должно здесь останавливаться. Для определения скорости в верхней точке предположим, что сила натяжения минимальна, т.е. равна нулю $T_B = m\left(\frac{v_B^2}{l} - g\right) = 0 \Rightarrow v_B = \sqrt{gl}$
6. Небольшое тело соскальзывает по наклонной плоскости, плавно переходящей в «мертвую петлю» радиусом R. С какой минимальной высоты должно соскальзывать тело для благополучного прохождения всей петли? Высоту отсчитывают от	 Нулевой уровень — KB *Закон сохранения энергии:* $mgh_0 = mg2R + \frac{mv_C^2}{2}$

Задачи	*Подсказки*
нижней точки петли. Трением пренебречь. **Ответ:** $h_0 = \frac{5R}{2}$	*Учтите:* чтобы тело прошло всю «мертвую петлю», оно в верхней точке не должно останавливаться. Для определения скорости тела в верхней точке предположим, что сила реакции опоры равна нулю. $N_C = m\left(\frac{v_C^2}{R} - g\right) = 0 \Rightarrow v_C = \sqrt{gR}$
7. Небольшое тело соскальзывает по наклонной плоскости, плавно переходящей в «мертвую петлю», с высоты h_0. Радиус петли R. На какой высоте тело оторвется от поверхности петли? Высоту отсчитывают от нижней точки петли. Трением пренебречь. **Ответ:** $h = \frac{2h_0 + R}{3}$	 Нулевой уровень — KB *Закон сохранения энергии:* $mgh_0 = \frac{mv_D^2}{2} + mg(R + R\cos\alpha)$ *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}_{ц.с}$ *Учтите*: в точке, где «тело оторвется от петли», $N_D = 0$ $0Y: mg\cos\alpha = \frac{mv_D^2}{R};\ \cos\alpha = \frac{h_D - R}{R}$
8. Небольшое тело соскальзывает без трения с вершины неподвижной полусферы, радиус которой R. На какой высоте тело оторвется от поверхности полусферы? Высоту отсчитывают от основания полусферы. **Ответ:** $h_B = \frac{2R}{3}$	 Нулевой уровень — CD *Закон сохранения энергии:* $mgR = mgR\cos\alpha + \frac{mv_B^2}{2}$

Задачи	*Подсказки*
	Второй закон Ньютона в векторной форме: $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}_{\text{ц.с}}$ Тело оторвется от петли в точке, где $N_{\text{B}} = 0$: $OY: mg\cos\alpha = \frac{mv_{\text{B}}^2}{R},\ \cos\alpha = \frac{h_{\text{B}}}{R}$

ЗАДАЧИ

93. Груз массой 100 г привязан к нити длиной 1 м. Нить с грузом отвели от вертикали на угол 90°. Каково центростремительное ускорение груза в момент, когда нить образует с вертикалью угол 60°?

Ответ: ____ м/с^2

94. Нить маятника длиной l = 1 м, к которой подвешен груз массой m = 0,1 кг, отклонена на угол α от вертикального положения и отпущена. Сила натяжения нити T в момент прохождения маятником положения равновесия равна 2 Н. Чему равен косинус угла α ?

Ответ: ____

95. Шарик скользит без трения по наклонному желобу, а затем движется по «мертвой петле» радиусом R. С какой силой шарик давит на желоб в нижней точке петли, если масса шарика равна 100 г, а высота, с которой его отпускают, равна $4R$?

Ответ: ____ Н

96. Шарик скользит без трения по наклонному желобу, а затем движется по «мертвой петле» радиусом R. С какой силой шарик давит на желоб в верхней точке петли, если масса шарика равна 100 г, а высота, с которой его отпускают, равна $4R$?

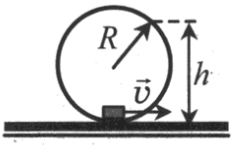
Ответ: ____ Н

97. Шарик соскальзывает без трения с верхнего конца наклонного желоба, переходящего в «мертвую петлю» радиусом R. Чему

равна сила давления шарика на желоб в верхней точке петли, если масса шарика равна 100 г, а верхний конец желоба поднят на высоту $3R$ по отношению к нижней точке «мертвой петли»?

Ответ: ____ Н

98. Небольшая шайба, начав движение из нижней точки закрепленного гладкого кольца радиусом 14 см, скользит по его внутренней поверхности. На высоте 18 см она отрывается от кольца и свободно падает. Какова начальная скорость шайбы?



Ответ: ____ м/с

Упругий центральный удар (упругое столкновение движущегося тела с неподвижным телом)

Если удар **центральный**, то направления векторов скоростей после взаимодействия лежат на той же прямой, что и до взаимодействия, поэтому закон сохранения импульса выполняется в проекциях на ось $0X$.

Закон сохранения импульса:

$$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2' .$$

Закон сохранения энергии:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2} .$$

Решив систему уравнений, получаем формулы для расчета проекций скоростей тел на ось $0X$ после столкновения:

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 ;$$

$$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 .$$

Анализ полученных формул. Направление движения налетающего шара после столкновения зависит от массы шаров. Если $m_1 > m_2$, то направление сохраняется; модуль скорости равен

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 .$$

Если $m_1 < m_2$, то направление меняется на противоположное; модуль скорости равен

$$v_1' = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_1 .$$

Если $m_1 = m_2$, то налетающее тело останавливается: $v_1' = 0$.

ЗАДАЧИ

99. Брусок массой $m_1 = 600$ г, движущийся со скоростью 2 м/с, сталкивается с неподвижным бруском массой $m_2 = 200$ г. Какой будет скорость первого бруска после столкновения? Удар считать центральным и абсолютно упругим.

Ответ: ____ м/с

100. Два шарика, массы которых отличаются в 3 раза, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях. Легкий шарик отклоняют на угол 90°, отпускают без начальной скорости, и он абсолютно упруго сталкивается с тяжелым шариком. Какую часть кинетической энергии легкого шарика перед ударом составит его кинетическая энергия тотчас после удара?

Ответ: ____

101. Два шарика, массы которых отличаются в 3 раза, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях. Легкий шарик отклоняют на угол 90°, отпускают без начальной скорости, и он абсолютно упруго сталкивается с тяжелым шариком. Какую часть кинетической энергии легкого шарика перед ударом составит кинетическая энергия тяжелого шарика после удара?

Ответ: ____

102. Два шарика, массы которых отличаются в 3 раза, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях. Легкий шарик отклоняют на угол 90°, отпускают без начальной скорости. Каким будет отношение импульсов тяжелого и легкого шариков тотчас после абсолютно упругого центрального удара?

Ответ: ____

103. Одна шайба скользит по горизонтальной поверхности, а другая такая же покоится. Как изменятся кинетическая энергия первой шайбы и их общая механическая энергия в результате абсолютно упругого столкновения шайб?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) кинетическая энергия первой шайбы	1) увеличивается
Б) их общая механическая энергия	2) уменьшается
	3) не изменяется

Ответ:

А	Б

Применение закона сохранения импульса и закона сохранения механической энергии

Если одно тело сталкивается с другим (или пробивает другое), то часть механической энергии переходит во внутреннюю энергию взаимодействующих тел и окружающей среды. Закон сохранения механической энергии «нарушается».

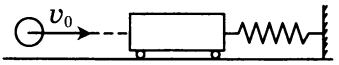
Учтите: законом сохранения механической энергии можно пользоваться только до и после столкновений, а в момент столкновений следует применять закон сохранения импульса.

Подсказки к задачам

Снаряд разорвался в точке максимального подъема	$\upsilon_{\text{снар.}} = 0 \Rightarrow p_{\text{снар.}} = 0$
Осколки одинаковой массы	$m_1 = m_2$
Массы осколков соотносятся как 1:4	$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{4} \Rightarrow m_2 = 4m_1$
Уравнение координаты при свободном падении	$y = y_0 + \upsilon_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$
Дальность полета в случае горизонтального броска	$l = \upsilon_0\sqrt{\frac{2h_0}{g}}$
Высота и угол отклонения нити	$h = l(1 - \cos\alpha)$

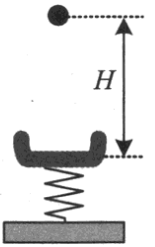
ЗАДАЧИ

104. Пластилиновый шар массой 0,1 кг имеет скорость 1 м/с. Он налетает на неподвижную тележку массой 0,1 кг, прикрепленную к пружине, и прилипает к тележке (см. рисунок). Чему равна полная механическая энергия системы при ее дальнейших колебаниях? Трением пренебречь.



Ответ: ____ Дж

105. Кусок липкой замазки массой 100 г с нулевой начальной скоростью роняют с высоты $H = 80$ см (см. рисунок) на чашу массой 100 г, укрепленную на пружине. Чему равна кинетическая энергия чаши вместе с прилипшей к ней замазкой *сразу* после их взаимодействия? Удар считать мгновенным, сопротивлением воздуха пренебречь.



Ответ: ____ Дж

106. Брусок массой $m_1 = 500$ г соскальзывает по наклонной поверхности с высоты $h = 0{,}8$ м и, двигаясь по горизонтальной поверхности, сталкивается с неподвижным бруском массой $m_2 = 300$ г. Считая столкновение абсолютно неупругим, определите общую кинетическую энергию брусков после столкновения. Трением при движении пренебречь. Считать, что наклонная плоскость плавно переходит в горизонтальную. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ Дж

107. Пуля, летящая с горизонтальной скоростью 400 м/с, попадает в мешок, набитый поролоном, массой 4 кг, висящий на длинной нити. Высота, на которую поднимется мешок, если пуля застрянет в нем, равна 5 см. Чему равна масса пули? Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ г

108. Начальная скорость снаряда, выпущенного вертикально вверх, равна 200 м/с. В точке максимального подъема снаряд разорвал-

ся на два одинаковых осколка. Первый упал на землю вблизи точки выстрела, имея скорость в 2 раза больше начальной скорости снаряда. Какую скорость имел второй осколок при падении на землю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: ____ м/с

109. Начальная скорость снаряда, выпущенного из пушки вертикально вверх, равна 10 м/с. В точке максимального подъема снаряд разорвался на два осколка, массы которых относятся как 2:1. Осколок большей массы упал на землю первым со скоростью 20 м/с. До какой максимальной высоты может подняться осколок меньшей массы? Считать поверхность земли плоской и горизонтальной.

Ответ: ____ м

110. Начальная скорость снаряда, выпущенного вертикально вверх, равна 100 м/с. В точке максимального подъема снаряд разорвался на два осколка. Первый осколок массой m_1 упал на землю вблизи точки выстрела, имея скорость в 3 раза больше начальной скорости снаряда. Второй осколок массой m_2 поднялся до высоты 1,5 км. Чему равно отношение масс m_1/m_2 этих осколков? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: ____

111. Начальная скорость снаряда, выпущенного вертикально вверх, равна 200 м/с. В точке максимального подъема снаряд разорвался на два одинаковых осколка. Один из осколков упал на землю вблизи точки выстрела через 50 с после разрыва снаряда. Какова скорость второго осколка при падении на землю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: ____ м/с

112. Начальная скорость снаряда, выпущенного из пушки вертикально вверх, равна 20 м/с. В точке максимального подъема снаряд разорвался на два осколка, массы которых относятся как 1:4. Осколок меньшей массы полетел горизонтально со скоростью 10 м/с. На каком расстоянии от точки выстрела упадет второй осколок? Считать поверхность земли плоской и горизонтальной.

Ответ: ____ м

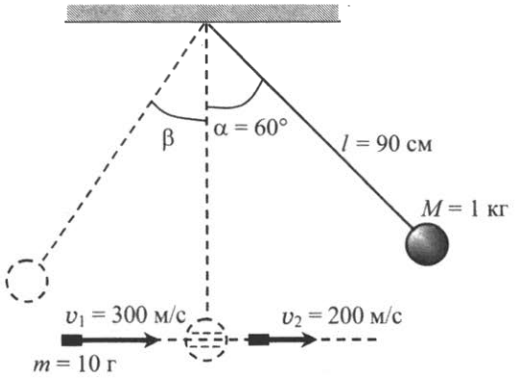
113. Два шарика, массы которых 200 г и 600 г, висят, соприкасаясь, на одинаковых нитях длиной 80 см. Первый шар отклонили на угол 90° и отпустили. На какую высоту поднимутся шарики после удара, если этот удар абсолютно неупругий?

Ответ: ____ см

114. Маятник состоит из маленького груза массой $M = 200$ г и очень легкой нити подвеса $L = 1{,}25$ м. Он висит в состоянии покоя в вертикальном положении. В груз ударяется небольшое тело массой $m = 100$ г, летевшее в горизонтальном направлении со скоростью $v = 10$ м/с. После удара тело останавливается и падает вертикально вниз. На какой максимальный угол α маятник отклонится от положения равновесия после удара?

Ответ: ____$^\circ$

115. Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол 60° и отпускают. В момент прохождения шаром положения равновесия в него попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу шару со скоростью 300 м/с. Она пробивает его и продолжает двигаться горизонтально со скоростью 200 м/с, после чего шар продолжает движение в прежнем направлении. Определите косинус максимального угла β, на который отклонится шар после попадания в него пули. (Массу шара считать неизменной, диаметр шара — пренебрежимо малым по сравнению с длиной нити.) Ответ округлите до сотых.



Ответ: ____

Превращение механической энергии во внутреннюю энергию

Деформации тел при столкновении, влияние сил трения и сопротивления приводят к тому, что механическая энергия преобразуется во внутреннюю. Возможны и обратные превращения. Например, при разрыве снаряда за счет внутренней энергии осколки получают дополнительную механическую энергию.

Подсказки к решению задач

Полная механическая энергия в начальный момент времени	$E_0 = E_{k0} + E_{p0}$
Полная механическая энергия в конечный момент времени	$E = E_k + E_p$
Изменение механической энергии	$\Delta E = E - E_0$
Механическая энергия переходит во внутреннюю (в тепло)	$\lvert\Delta E\rvert = Q$, где Q — количество теплоты
Увеличение механической энергии в результате взрыва снаряда	$E = E_0 + Q$, где Q — добавочная энергия
Изменение механической энергии за счет работы силы трения (силы сопротивления)	$E - E_0 = A(F_{тр}) = -F_{тр}s$, так как $\vec{F}_{тр.ск.} \uparrow\downarrow \vec{s}$, $\cos(180°) = -1$
Работа силы трения при движении по горизонтали	$A(F_{тр}) = -\mu mgs$
Работа силы трения при движении по наклонной плоскости	$A(F_{тр}) = -\mu mgs\cos\alpha$, где $s = \dfrac{h}{\sin\alpha}$
Уравнение скорости при свободном падении	$\upsilon_y = \upsilon_{0y} + g_y t$
Дальность полета при броске под углом к горизонту	$l = \dfrac{\upsilon_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

ЗАДАЧИ

116. Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. Какое ко-

личество теплоты выделилось при ударе, если перед ударом кинетическая энергия мяча была равна 20 Дж?

Ответ: ____ Дж

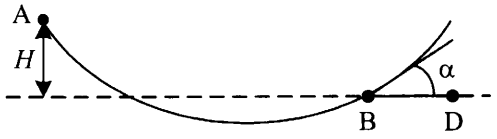
117. С балкона высотой 20 м на поверхность земли упал мяч массой 0,2 кг. Из-за сопротивления воздуха скорость мяча у поверхности земли оказалась на 20% меньше скорости тела, свободно падающего с высоты 20 м. Чему равен импульс тела в момент падения?

Ответ: ____ кг · м/с

118. Из пружинного пистолета выстрелили вертикально вниз в мишень, находящуюся на расстоянии 2 м от него. Совершив работу 0,12 Дж, пуля застряла в мишени. Какова масса пули, если пружина была сжата перед выстрелом на 2 см, а ее жесткость 100 Н/м?

Ответ: ____ г

119. Шайба массой m начинает движение по желобу AB из точки A из состояния покоя. Точка A расположена выше точки B на высоте $H = 6$ м. В процессе движения по желобу механическая энергия шайбы из-за трения уменьшается на $\Delta E = 2$ Дж. В точке B шайба вылетает из желоба под углом $\alpha = 15°$ к горизонту и падает на землю в точке D, находящейся на одной горизонтали с точкой B (см. рисунок). BD = 4 м. Найдите массу шайбы. Сопротивлением воздуха пренебречь.

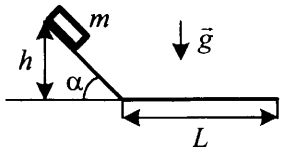


Ответ: ____ кг

120. Мальчик на санках общей массой 50 кг спустился с ледяной горы. Коэффициент трения при его движении по горизонтальной поверхности равен 0,2. Расстояние, которое мальчик проехал по горизонтали до остановки, равно 30 м. Чему равна высота горы? Считать, что по склону горы санки скользили без трения.

Ответ: ____ м

121. Небольшое тело съезжает по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30°$ с высоты $h = 1$ м и продолжает движение по горизонтальной плоскости. Коэффициент трения между телом и плоскостями $\mu = 0{,}2$. Какой путь L пройдет тело после перехода на горизонтальную плоскость? Ответ округлите до сотых.

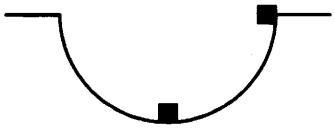


Ответ: ____ м

Превращение механической энергии во внутреннюю энергию (с учетом закона сохранения импульса)

ЗАДАЧИ

122. Маленький кубик массой 2 кг может скользить без трения по цилиндрической выемке радиусом 0,5 м. Начав движение сверху, он сталкивается с другим таким же кубиком, покоящимся внизу. Чему равно количество теплоты, выделившееся в результате абсолютно неупругого столкновения?



Ответ: ____ Дж

123. Снаряд массой 4 кг, летящий со скоростью 400 м/с, разрывается на две равные части, одна из которых летит в направлении движения снаряда, а другая — в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличилась на величину ΔE. Скорость осколка, летящего по направлению движения снаряда, равна 900 м/с. Найдите ΔE.

Ответ: ____ МДж

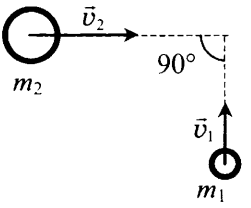
124. От удара копра массой 450 кг, падающего свободно с высоты 5 м, свая массой 150 кг погружается в грунт на 10 см. Определите силу сопротивления грунта, считая ее постоянной, а удар — абсолютно неупругим. Изменением потенциальной энергии сваи пренебречь. Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____ кН

125. Тележка массой 0,8 кг движется по инерции со скоростью 2,5 м/с. На тележку с высоты 50 см вертикально падает кусок пластилина массой 0,2 кг и прилипает к ней. Рассчитайте механическую энергию, которая перешла во внутреннюю при этом ударе.

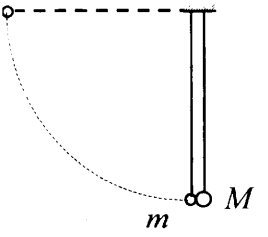
Ответ: ____ Дж

126. Два тела, массы которых соответственно равны $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг, скользят по гладкому горизонтальному столу (см. рисунок). Скорость первого тела $v_1 = 3$ м/с, скорость второго тела $v_2 = 6$ м/с. Какое количество теплоты выделится, когда они столкнутся и будут двигаться дальше, сцепившись вместе? Вращения в системе не возникает. Действием внешних сил пренебречь.



Ответ: ____ Дж

127. Два шарика, массы которых $m = 0,1$ кг и $M = 0,2$ кг, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях длиной $l = 1,5$ м (см. рисунок). Левый шарик отклоняют на угол 90° и отпускают без начальной скорости. Какое количество теплоты выделится в результате абсолютно неупругого удара шариков?



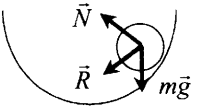
Ответ: ____ Дж

4. СТАТИКА

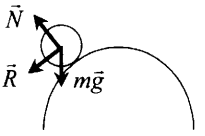
Статика изучает условия равновесия тел.

Виды равновесия

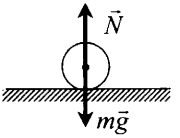
Устойчивое равновесие. Если тело вывести из устойчивого равновесия, то появляется сила, возвращающая его в положение равновесия. Устойчивому равновесию соответствует минимальное значение потенциальной энергии $\left(E_{p\min}\right)$.



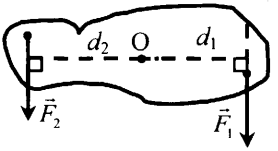
Неустойчивое равновесие. Если тело вывести из неустойчивого равновесия, то возникает сила, удаляющая тело от положения равновесия. Неустойчивому равновесию соответствует максимальное значение потенциальной энергии $\left(E_{p\max}\right)$.



Безразличное равновесие. При выведении тела из состояния безразличного равновесия дополнительных сил не возникает.



Момент силы. Правило моментов



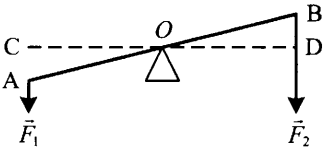
Момент силы M (Н·м) — физическая величина, модуль которой равен произведению модуля силы на плечо силы:

$$M = F \cdot d\,.$$

Плечо силы d(м) — кратчайшее расстояние между осью вращения и линией действия силы.

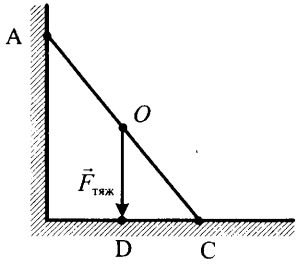
ЗАДАЧИ

1. На рисунке изображен рычаг. Какой отрезок является плечом силы F_2?



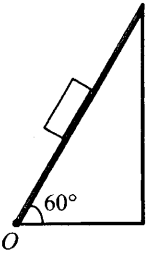
Ответ: ____

2. На рисунке схематически изображена лестница AC, опирающаяся на стену. Какой отрезок является плечом силы тяжести, действующей на лестницу, относительно точки C?



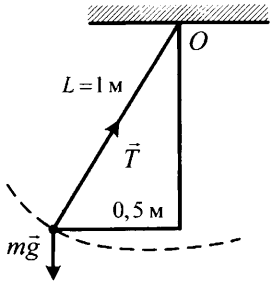
Ответ: ____

3. При выполнении лабораторной работы ученик установил наклонную плоскость под углом 60° к поверхности стола. Длина плоскости равна 0,6 м. Определите момент силы тяжести бруска массой 0,1 кг относительно точки *O* при прохождении им середины наклонной плоскости.



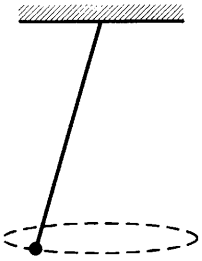
Ответ: ____ Н · м

4. Стальной шар массой 2 кг колеблется на нити длиной 1 м. Чему равен момент силы тяжести относительно оси, проходящей через точку O перпендикулярно плоскости чертежа, в состоянии, представленном на рисунке?



Ответ: ____ Н · м

5. Грузик массой 100 г привязан к нити длиной 1 м и вращается в горизонтальной плоскости по окружности радиусом 0,2 м. Чему равен момент силы тяжести относительно точки подвеса?



Ответ: ____ Н · м

Знаки моментов. Если сила вызывает вращение тела по часовой стрелке, то такой момент считают положительным:

$$M_1 = F_1 \cdot d_1 .$$

Если сила вызывает вращение тела против часовой стрелки, то в этом случае момент отрицательный:

$$M_2 = -F_2 \cdot d_2 .$$

Правило моментов: *тело, имеющее неподвижную ось вращения, находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов всех приложенных к телу сил относительно этой оси равна нулю:*

$$\Sigma M_i = 0 .$$

Или *сумма моментов сил, вызывающих вращение тела по часовой стрелке, равна сумме моментов сил, вызывающих вращение тела против часовой стрелки:*

$$\Sigma M_{\text{по час. стр.}} = \Sigma M_{\text{пр. час. стр.}}.$$

Условия равновесия. Тело не участвует в поступательном движении, если

$$\Sigma \vec{F}_i = 0;\ \vec{v}_0 = 0.$$

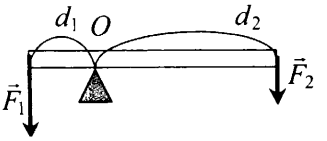
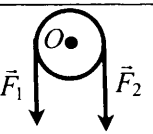
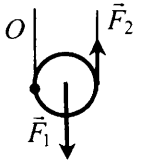
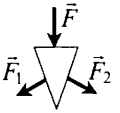
Тело не участвует во вращательном движении, если

$$\Sigma M_i = 0;\ \omega_0 = 0.$$

Тело находится в равновесии при выполнении сразу двух условий:

$$\Sigma \vec{F}_i = 0;\ \vec{v}_0 = 0;\ \Sigma M_i = 0;\ \omega_0 = 0.$$

Простые механизмы — приспособления, служащие для преобразования силы. К ним относятся рычаг, наклонная плоскость, блоки, клин и ворот.

1. **Рычаг** дает выигрыш в силе $\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$	
2. **Неподвижный блок** изменяет направление силы $d_1 = d_2;\ F_1 = F_2$	
3. **Подвижный блок** дает выигрыш в силе в 2 раза $d_1 = R;\ d_2 = 2R;\ F_1 = 2F_2$	
4. **Клин** $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$	

«Золотое правило механики». При использовании простых механизмов мы выигрываем в силе, но проигрываем в расстоянии, поэтому выигрыша в работе простые механизмы не дают.

Алгоритм решения задач на правило моментов (параллельные силы)

1. Сделать чертеж и указать на нем все силы:

Сила	Точка приложения	Направление
Сила тяжести, действующая на груз	Центр груза	Вертикально вниз
Сила тяжести, действующая на однородный стержень	Центр стержня	Вертикально вниз
Сила тяжести, действующая на неоднородный стержень	Центр масс, положение которого указывают в условии задачи	Вертикально вниз
Вес	Точка опоры или подвеса	$\vec{P}\uparrow\downarrow\vec{N}$; $\vec{P}\uparrow\downarrow\vec{T}$
Сила реакции опоры	Точка соприкосновения стержня и опоры	Перпендикулярно опоре вверх
Сила натяжения нити	Точка соединения с подвесом	Вдоль оси подвеса

2. Выбрать положение оси вращения.

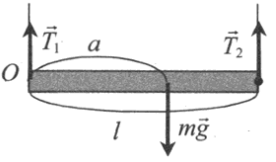
Совет: ось вращения выбирайте в том месте, где находится неизвестная сила или сила, искать которую не надо.

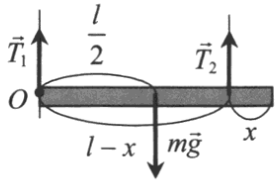
3. Указать значение плеч.

Совет: если в задаче необходимо узнать некоторое расстояние (от центра стержня, от места приложения некоторой силы и т.п.), то это расстояние обозначайте x и определяйте плечи сил с учетом размеров стержня и расстояния x.

4. Записать правило моментов и решить задачу.

Подсказки к задачам

Задачи	*Подсказки*
1. Прямая неоднородная балка длиной l и массой m подвешена за концы на вертикально натянутых тросах. Балка занимает горизонтальное положение. Найдите натяжение правого троса T_2, если центр тяжести балки находится на расстоянии a от левого конца балки. **Ответ:** $T=\frac{mga}{l}$	 Правило моментов: $T_2 l = mga$

Задачи	*Подсказки*
2. Рельс длиной l и массой m поднимают равномерно в горизонтальном положении на двух вертикальных тросах, первый из которых укреплен на конце рельса, а второй — на расстоянии x от другого конца. Определите натяжение второго троса. **Ответ:** $T = \dfrac{mgl}{2(l-x)}$	 Правило моментов: $mg\dfrac{l}{2} = T_2(l-x)$

ЗАДАЧИ

6. На рычаг действуют две силы, плечи которых равны 0,1 м и 0,3 м. Сила, действующая на короткое плечо, равна 3 Н. Чему должна быть равна сила, действующая на длинное плечо, чтобы рычаг был в равновесии?

Ответ: ____ Н

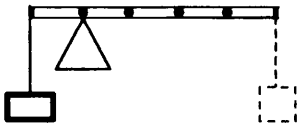
7. Ученик выполнил лабораторную работу по исследованию условий равновесия рычага. Результаты, которые он получил, занесены в таблицу

F_1, Н	l_1, м	F_2, Н	l_2, м
30	?	15	0,4

Каково плечо первой силы, если рычаг находится в равновесии?

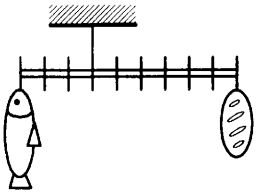
Ответ: ____ м

8. К левому концу невесомого стержня прикреплен груз массой 3 кг (см. рисунок). Стержень расположили на опоре, отстоящей от груза на 0,2 длины. Груз какой массы надо подвесить к правому концу, чтобы стержень находился в равновесии?



Ответ: ____ кг

9. Мальчик взвесил рыбу на самодельных весах с коромыслом из легкой рейки (см. рисунок). В качестве гири он использовал батон хлеба массой 1 кг. Определите массу рыбы.



Ответ: ____ кг

10. Человек несет груз на невесомой палке, положив ее на плечо. Какую минимальную по величине силу должен приложить человек к концу палки, чтобы удержать в равновесии груз, вес которого 20 Н? Расстояние от точки опоры палки до положения рук человека 0,4 м, а до груза 0,2 м.

Ответ: ____ Н

Алгоритм решения задач на правило моментов (непараллельные силы)

1. Указать все силы:

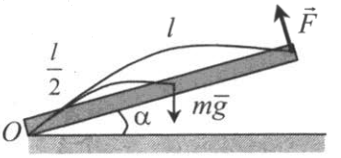
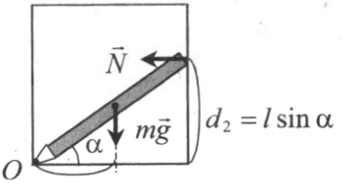
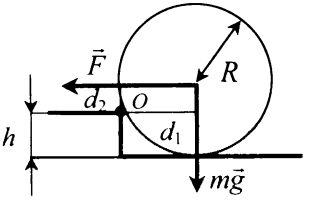
Сила	Точка приложения	Направление
Сила реакции опоры	Точка соприкосновения с опорой	Перпендикулярно плоскости опоры
Сила трения покоя	Точка соприкосновения с опорой	Противоположно возможному движению
Сила тяжести	Центр масс (у однородных тел центр масс совпадает с центром тела)	Вертикально вниз
Архимедова сила	Центр масс погруженной части тела	Вертикально вверх

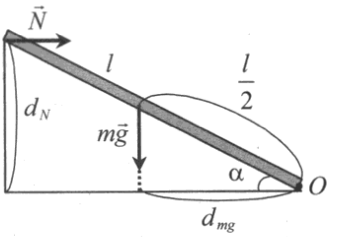
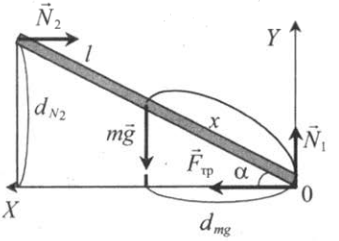
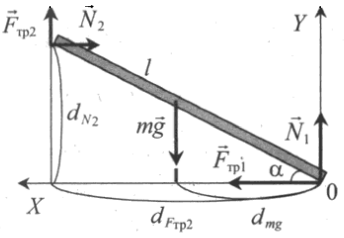
2. Определить плечи сил как кратчайшее расстояние между осью вращения и направлением действия силы.

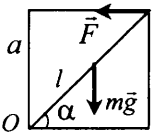
3. Записать правило моментов и решить задачу.

4. Можно добавить второй закон Ньютона в проекциях на оси $0X$ и $0Y$.

Подсказки к задачам

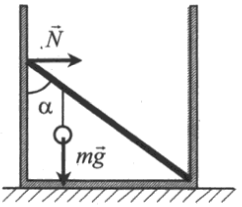
Задачи	*Подсказки*
1. Рабочий удерживает за один конец доску массой m так, что она образует угол α с горизонтом, опираясь о землю другим концом. С какой силой рабочий удерживает доску, если эта сила перпендикулярна доске? **Ответ:** $F = \dfrac{mg\cos\alpha}{2}$	 $d_1 = \dfrac{l}{2}\cos\alpha$ $d_2 = l$ Правило моментов: $mg\dfrac{l}{2}\cos\alpha = Fl$
2. В гладкий высокий цилиндрический стакан с внутренним радиусом R помещают карандаш длиной l и массой m. С какой силой действует на стакан верхний конец карандаша? **Ответ:** $N = \dfrac{mgR}{\sqrt{l^2 - 4R^2}}$	 $d_1 = \dfrac{l}{2}\cos\alpha$ Правило моментов: $mg\dfrac{l}{2}\cos\alpha = Nl\sin\alpha$
3. Колесо радиусом R и массой m стоит перед ступенькой высотой h. Какую наименьшую горизонтальную силу надо приложить к оси колеса, чтобы оно могло подняться на ступеньку? Сила трения равна нулю. **Ответ:** $F = \dfrac{mg\sqrt{h(2R-h)}}{R-h}$	 $d_1 = \sqrt{R^2 - d_2^2}$ $d_2 = R - h$ Правило моментов: $mgd_1 = Fd_2$

Задачи	*Подсказки*
4. Лестница массой m приставлена к гладкой вертикальной стене под углом α. Найдите силу давления лестницы на стену. Центр тяжести лестницы находится в ее середине. **Ответ:** $N = \dfrac{mg}{2\,\mathrm{tg}\,\alpha}$	**Лестница (без трения)**  Правило моментов: $mg\dfrac{l}{2}\cos\alpha = Nl\sin\alpha$
5. Лестница длиной l приставлена к идеально гладкой стене под углом α к горизонту. Коэффициент трения между лестницей и полом μ. На какое расстояние x вдоль лестницы может подняться человек, прежде чем лестница начнет скользить? Массой лестницы пренебречь. **Ответ:** $x = \mu l\,\mathrm{tg}\,\alpha$	**Лестница** **(трение у пола)**  Правило моментов: $mgx\cos\alpha = N_2 l\sin\alpha$ Второй закон Ньютона: $0X: F_{тр} - N_2 = 0$ $0Y: N_1 - mg = 0$ $F_{тр} = \mu mg$
6. Однородная лестница приставлена к стене. При каком наименьшем угле α между лестницей и горизонтальным полом лестница сохранит равновесие, если коэффициент трения между лестницей и полом μ_1, а между лестницей и стеной μ_2?	**Лестница** **(трение у пола и стены)** 

Задачи	*Подсказки*
Ответ: $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{1-\mu_1\mu_2}{2\mu_1}$	Правило моментов: $mg\dfrac{l}{2}\cos\alpha = F_{тр2}l\cos\alpha + N_2 l\sin\alpha$ Второй закон Ньютона: $0X: F_{тр1} - N_2 = 0$ $\mu_1 N_1 - N_2 = 0$ $0Y: F_{тр2} + N_1 - mg = 0$
7. Какую минимальную горизонтальную силу нужно приложить к верхнему ребру куба массой m, находящегося на горизонтальной плоскости, чтобы перекинуть его через нижнее ребро? **Ответ:** $F = \dfrac{mg}{2}$	**Поворот куба**  У куба $\alpha = 45°$ Правило моментов: $mg\dfrac{l}{2}\cos\alpha = Fl\sin\alpha$

УПРАЖНЕНИЯ

1. Невесомый стержень длиной 1 м, находящийся в ящике с гладкими дном и стенками, составляет угол $\alpha = 45°$ с вертикалью (см. рисунок). К стержню на расстоянии 25 см от его левого конца подвешен на нити шар массой 2 кг. Каков модуль силы N, действующей на стержень со стороны левой стенки ящика? **(15 Н)**

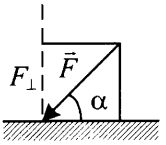


2. К стене прислонена лестница массой 15 кг. Центр тяжести лестницы находится на расстоянии $\dfrac{1}{3}$ длины от верхнего ее конца. Какую силу, направленную горизонтально, надо приложить к середине лестницы, чтобы верхний ее конец не оказывал давления на стену? Угол между лестницей и стеной 45°. **(200 Н)**

3. Под каким наименьшим углом α к горизонту может стоять лестница, прислоненная к гладкой вертикальной стене, если коэффициент трения лестницы о пол μ? Считайте, что центр тяжести находится в середине лестницы. ($\alpha = \mathbf{arcctg(2\mu)}$)

4. Однородная доска приставлена к стене. При каком наименьшем угле между доской и горизонтальным полом доска сохранит равновесие, если коэффициент трения между доской и полом 0,4, а между доской и стеной 0,5? **(45°)**

Давление твердого тела. Сила давления



Давление твердого тела p (Па):

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

где $F_\perp$ — перпендикулярная составляющая силы, действующей на поверхность; S — площадь поверхности.

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2.$$

Способы увеличения давления: увеличить силу; уменьшить площадь. Давление в твердых телах передается в том же направлении, в котором действует сила.

ЗАДАЧИ

11. Книга лежит на столе. Масса книги равна 0,6 кг. Площадь ее соприкосновения со столом равна 0,08 м^2. Определите давление книги на стол.

Ответ: ____ Па

12. Каково среднее давление пороховых газов в стволе орудия, если скорость вылетевшего из него снаряда 1,5 км/с? Длина ствола 3 м, его диаметр 45 мм, масса снаряда 2 кг. Трение пренебрежимо мало. Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ МПа

5. ГИДРОСТАТИКА

Давление в жидкостях и газах. Сила давления

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

Это связано с подвижностью молекул в жидком и газообразном состояниях.

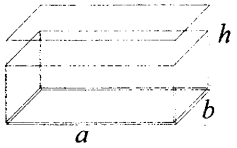
Давление столба жидкости

$$p = \rho_ж gh,$$

где $\rho_ж$ (кг/м^3) — плотность жидкости; $g \approx 10$ (м/с^2) — ускорение свободного падения; h (м) — высота столба жидкости (глубина).

Учтите, что высоту h определяют от **поверхности** жидкости.

Сила давления жидкости



$$F = p \cdot S.$$

Сила давления на дно сосуда:

$$F_{дно} = \rho_ж ghab.$$

Сила давления на боковую грань аквариума:

$$F_{бок.гр.} = \frac{\rho_ж gh}{2} hb.$$

При решении задач считайте, что плотность пресной воды 1000 кг/м^3, а соленой (морской) 1030 кг/м^3.

ЗАДАЧИ

1. Чему примерно равно давление, созданное водой, на глубине 2 м?

Ответ: ____ кПа

2. В сосуд глубиной 20 см налита вода, уровень которой ниже края сосуда на 4 см. Чему равно давление столба воды на дно сосуда?

Ответ: ____ Па

3. На какую максимальную высоту может поднимать насос воду, если создаваемый им перепад давления равен 50 кПа?

Ответ: ____ м

4. В открытой цистерне, наполненной до уровня 4 м, находится жидкость. Ее давление на дно бочки равно 28 кПа (без учета атмосферного давления). Определите плотность этой жидкости.

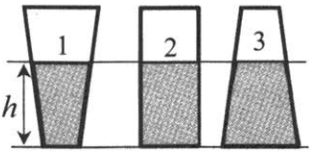
Ответ: ____ кг/м^3

5. Бутылку с подсолнечным маслом, закрытую пробкой, перевернули. Определите среднюю силу, с которой действует масло на пробку площадью 6 см^2, если расстояние от уровня масла в сосуде до пробки равно 20 см. Плотность подсолнечного масла 920 кг/м^3. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ Н

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

Если в сосуды налита одинаковая жидкость, то в трех сосудах давление на дно **одинаково:**



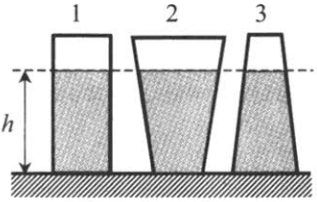
$$p_1 = p_2 = p_3,$$

а сила давления разная, так как она зависит от площади $(F = pS)$:

$$F_1 < F_2 < F_3$$

ЗАДАЧИ

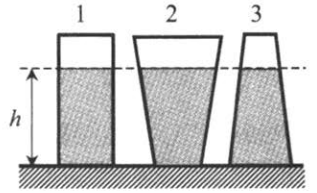
6. На рисунке изображены три сосуда с водой. Уровни жидкости во всех сосудах одинаковы. Выберите правильное утверждение.



1) $p_1 = p_2 = p_3$
2) $p_1 < p_2 < p_3$
3) $p_1 = p_2 < p_3$
4) $p_1 = p_2 > p_3$

Ответ: ____

7. На рисунке изображены три сосуда с разными жидкостями. Площади дна сосудов равны. В первом сосуде находится вода ($\rho_1 = 1$ г/см^3), во втором — керосин ($\rho_2 = 0{,}8$ г/см^3), в третьем — спирт ($\rho_3 = 0{,}8$ г/см^3). В каком сосуде оказывается максимальное давление на дно?



Ответ: в ____

Сообщающиеся сосуды

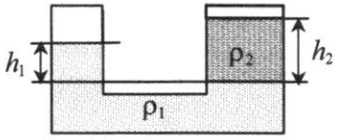
Сообщающиеся сосуды — сосуды, соединенные между собой или имеющие общее дно.

Уровень жидкости в сообщающихся сосудах одинаков и располагается горизонтально, если:

- в сосуды налита однородная жидкость;
- поверхности жидкости открыты;
- ни один из сосудов не является капилляром;
- в жидкости нет пузырьков с воздухом.

Разные по плотности несмешивающиеся жидкости в сообщающихся сосудах

По закону Паскаля на любом горизонтальном уровне

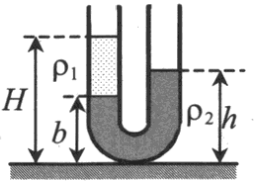


$$p_1 = p_2,$$
$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2,$$
$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$

Вывод: если в сообщающиеся сосуды налиты разные по плотности несмешивающиеся жидкости, то выше будет располагаться уровень жидкости с меньшей плотностью.

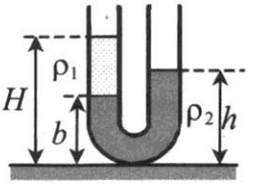
ЗАДАЧИ

8. В широкую U-образную трубку с вертикальными прямыми коленами налиты керосин плотностью $\rho_1 = 800$ кг/м^3 и вода плотностью $\rho_2 = 1000$ кг/м^3 (см. рисунок). На рисунке $b = 10$ см, $H = 30$ см. Определите расстояние h.



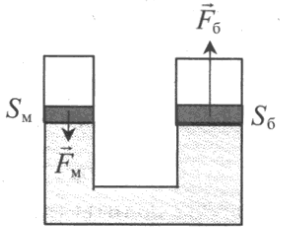
Ответ: ____ см

9. В широкую U-образную трубку с вертикальными прямыми коленами налиты неизвестная жидкость плотностью ρ_1 и вода плотностью $\rho_2 = 1{,}0 \cdot 10^3$ кг/м^3 (см. рисунок). На рисунке $b = 10$ см, $h = 24$ см, $H = 30$ см. Чему равна плотность жидкости ρ_1?



Ответ: ____ кг/м^3

Гидравлический пресс — простой механизм, дающий выигрыш в силе. Он представляет собой сообщающиеся сосуды разного сечения. В основе его действия лежит *закон Паскаля:*



$$p_м = p_б\,,$$

$$\frac{F_м}{S_м} = \frac{F_б}{S_б}\,,$$

где $F_м$ — сила, действующая на малый поршень (совершает полную работу); $F_б$ — сила, действующая на большой поршень (совершает полезную работу); $S_м$ — площадь малого поршня; $S_б$ — площадь большого поршня.

Работа поршней (без потерь энергии):

$$A_м = A_б\,,\ F_м h_м = F_б h_б\,,$$

где $h_м$ — вертикальное перемещение малого поршня; $h_б$ — перемещение большого поршня.

Выигрыш в силе:

$$\frac{F_б}{F_м} = \frac{S_б}{S_м} = \frac{h_м}{h_б}\,.$$

Равенство объемов жидкости при движении поршней:

$$S_м h_м = S_б h_б\,.$$

КПД (есть потери энергии):

$$\eta = \frac{A_б}{A_м}\cdot 100\% = \frac{F_б h_б}{F_м h_м}\cdot 100\% = \frac{p_б}{p_м}\cdot 100\%\,.$$

УПРАЖНЕНИЯ

1. К малому поршню гидравлического пресса приложена сила 10 Н, под действием которой за один ход он опускается на 25 см, вследствие чего большой поршень поднимается на 5 мм. Какая сила давления передается при этом на большой поршень? **(500 Н)**

2. Большой поршень гидравлической машины поднимает груз массой M = 400 кг. При этом на малый поршень действует сила

$F = 160$ Н. На какое расстояние Δh опустится малый поршень, если большой поднимется на $\Delta H = 5$ см? **(125 см)**

3. Малый поршень закрепленного гидравлического пресса имеет площадь $S_1 = 2$ см^2, а большой $S_2 = 150$ см^2. К малому поршню приложена сила $F_1 = 40$ Н, действующая вертикально вниз. На какую высоту ΔH поднимется большой поршень, если малый поршень опустится на $\Delta h = 30$ см? **(0,4 см)**

4. Какая сила давления может быть получена с помощью гидравлического пресса, если к малому поршню приложить силу 100 Н, а площади поршней пресса равны 5 и 500 см^2? Коэффициент полезного действия пресса 80%. **(8 кН)**

5. При подъеме груза массой 2 т с помощью гидравлического пресса была совершена работа 40 Дж, при этом малый поршень сделал 10 ходов, перемещаясь за один ход на 10 см. Во сколько раз площадь большего поршня больше площади малого? **(В 500 раз)**

6. Гидравлический пресс заполнен водой. На больший поршень, площадь которого 1000 см^2, встает человек массой 80 кг. На какую высоту при этом поднимется малый поршень? **(80 см)**

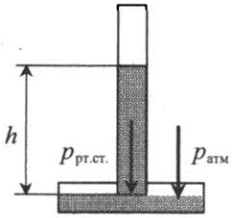
7. Для подъема груза на высоту 45 см воспользовались гидравлическим прессом с КПД 0,75. Сколько ходов сделает малый поршень, ход которого 20 см, а площадь меньше площади большого поршня в 100 раз? **(300)**

Атмосферное давление

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

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

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



По свойству сообщающихся сосудов:

$$p_{атм} = p_{ртути} \text{ (мм рт. ст.)}.$$

Формула для определения атмосферного давления (в паскалях):

$$p_{атм} = \rho_{рт} g h,$$

где $p_{атм}$ (Па) — атмосферное давление; $\rho_{рт} = 13\,600$ кг/м^3 — плотность ртути; $g = 9{,}8$ м/с^2 — ускорение свободного падения; h (м) — высота ртутного столба.

Дополнительные единицы измерения давления:

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133 \text{ Па}$$

$$1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}.$$

Нормальное атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па.

ЗАДАЧИ

10. С какой силой давит воздух на поверхность письменного стола, длина которого 120 см, ширина — 60 см, если атмосферное давление равно 100 кПа?

Ответ: ____ кН

11. Установите соответствие между техническими устройствами (приборами) и физическими закономерностями, лежащими в основе принципа их действия.

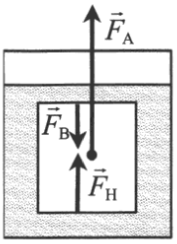
ПРИБОР	ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
А) гидравлический пресс	1) передача давления внутри жидкости
Б) поршневой жидкостный насос	2) поведение жидкости в сообщающихся сосудах
	3) тепловое расширение жидкостей
	4) действие атмосферного давления

Ответ:

А	Б

Архимедова сила

Архимедова сила (выталкивающая сила, подъемная сила) действует на погруженное в жидкость или газ тело.



Причина возникновения выталкивающей силы: нижняя грань тела находится на большей глубине, чем верхняя, поэтому давление жидкости снизу больше, чем сверху. Из-за разницы в давлениях возникает выталкивающая сила.

Архимедова сила всегда направлена *вертикально вверх.*

Архимедова сила равна разности сил давления на нижнюю и верхнюю грани:

$$F_A = F_H - F_B .$$

Архимедова сила равна разности веса тела в воздухе и веса тела в жидкости:

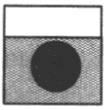
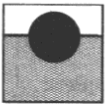
$$F_A = P_{возд} - P_ж .$$

Модуль выталкивающей силы определяется с помощью закона Архимеда.

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

$$F_A = P_ж .$$

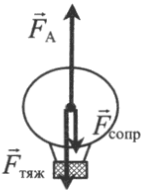
Частные случаи определения архимедовой силы

Полное погружение $F_A = \rho_ж V_т g$, где $V_т$ — объем тела	
Неполное погружение $F_A = \rho_ж V_{п.ч.} g$, где $V_{п.ч.}$ — объем погруженной части тела	

Помните, что в формулу для расчета архимедовой силы следует подставлять плотность окружающей среды (жидкости или газа).

Воздухоплавание. Подъемной силой служит архимедова сила:

$$F_A = \rho_{возд} V_ш g,$$



а мешают подъему сила тяжести и сила сопротивления воздуха:

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

Управление шаром:

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

ЗАДАЧИ

12. При взвешивании груза в воздухе показание динамометра равно 1 Н. При опускании груза в воду показание динамометра уменьшается до 0,6 Н. Найдите значение выталкивающей силы.

Ответ: ____ Н

13. Пластиковый пакет с водой объемом 1 л полностью погрузили в воду. Определите выталкивающую силу, действующую на пакет.

Ответ: ____ Н

14. Аэростат объемом 1000 м^3 заполнен гелием. Плотность гелия 0,18 кг/м^3, плотность воздуха 1,29 кг/м^3. Какая выталкивающая сила действует на аэростат?

Ответ: ____ кН

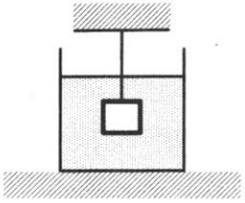
15. Чему равна архимедова сила, действующая на тело объемом 2 м^3, наполовину погруженное в воду?

Ответ: ____ кН

16. Груз массой 100 г подвешен к нити и опущен в воду. На груз действует выталкивающая архимедова сила 0,3 Н. Чему равна сила натяжения нити?

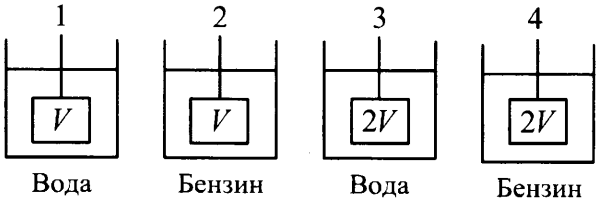
Ответ: ____ Н

17. Груз массой m = 2,0 кг, подвешенный на тонкой нити, целиком погружен в воду и не касается дна сосуда (см. рисунок). Модуль силы натяжения нити T = 13 Н. Найдите объем груза.



Ответ: ____ л

18. На какой из кубиков будет действовать наибольшая сила Архимеда?



Ответ: ____

Тело полностью погружено в жидкость (или газ)

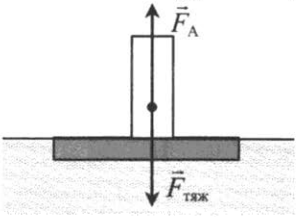
Архимедова сила: $F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{т}} g$.

Сила тяжести: $F_{\text{тяж}} = mg = \rho_{\text{т}} V_{\text{т}} g$.

Сила натяжения нити, удерживающая груз:

$$T = F_{\text{тяж}} - F_{\text{А}}.$$

Подсказка к задаче

Задача	*Подсказка*
Определите минимальную массу груза, который следует положить на плоскую однородную льдину площадью S, чтобы она полностью погрузилась в воду. Толщина льдины h, а плотность льда $\rho_{\text{л}}$, плотность воды $\rho_{\text{в}}$. **Ответ**: $m_{\text{гр}} = Sh(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})$	**Максимальный груз на льдине**  *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{F}_{\text{А}} + \vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{a}$, $F_{\text{А}} = F_{\text{тяж}}$. Архимедова сила действует только на льдину: $F_{\text{А}} = \rho_{\text{в}} V_{\text{л}} g = \rho_{\text{в}} Shg$. Сила тяжести $F_{\text{тяж}} = (m_{\text{л}} + m_{\text{гр}})g$, где $m_{\text{л}} = \rho_{\text{л}} Sh$

УПРАЖНЕНИЯ

1. Какую силу надо приложить, чтобы поднять под водой камень, масса которого 30 кг, а объем 12 000 см^3? **(180 Н)**

2. Какой наибольший груз может перевозить бамбуковый плот площадью 10 м^2 и толщиной 50 см, если плотность бамбука 400 кг/м^3? **(3000 кг)**

3. Какую наименьшую площадь имеет льдина толщиной 40 см, способная удержать над водой человека массой 80 кг? Плотность льда 900 кг/м^3. **(2 м^2)**

4. Погрузится ли льдина площадью 8 м^2 и толщиной 25 см целиком в пресную воду, если на нее встанет человек, вес которого 600 Н? Плотность льда 900 кг/м^3. **(Нет)**

5. Плот состоит из 12 сухих еловых брусьев. Длина каждого бруса 4 м, ширина 30 см и толщина 25 см. Можно ли на этом плоту переправить через реку автомашину массой 1 т? Плотность сухой ели 600 кг/м^3. **(Да)**

6. Бревно, имеющее длину 3,5 м и площадь сечения 700 см^2, плавает в воде. Плотность дерева 700 кг/м^3. Определите максимальную массу человека, который сможет стоять на бревне, не замочив ноги. **(73,5 кг)**

Условия плавания тел

На любое тело, погруженное в жидкость или газ, действуют две противоположно направленные силы: сила тяжести и архимедова сила. Направление движения тела зависит от того, какая из этих сил больше по модулю:

тело тонет

$$mg > F_A;\ \rho_т > \rho_ж,$$

тело плавает внутри жидкости

$$mg = F_A;\ \rho_т = \rho_ж,$$

тело всплывает

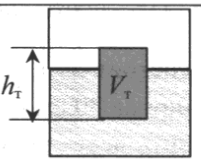
$$mg < F_A;\ \rho_т < \rho_ж.$$

Учтите: тело, имеющее плотность меньшую, чем плотность жидкости, в которой оно плавает, будет находиться на поверхности, частично погрузившись в жидкость.

Тело плавает на поверхности

Основное условие	$F_A = F_{тяж}$
Сила тяжести	$F_{тяж} = mg = \rho_т V_т g$
Сила Архимеда	$F_A = \rho_ж V_{п.ч.} g$
Объем V и высота h тела правильной формы	$V = Sh$, где S — площадь сечения

Подсказки к задачам

Задачи	***Подсказки***
1. Сплошное тело объемом $V_т$ плавает в воде, причем под водой находится $\frac{3}{4}$ его объема. Определите силу тяжести, действующую на тело. Плотность воды $\rho_в$. **Ответ:** $F_{тяж} = \frac{3}{4}\rho_в V_т g$	 *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{F}_А + \vec{F}_{тяж} = m\vec{a}$; $F_{тяж} = F_А$ $F_{тяж} = \rho_в \frac{3}{4} V_т g$
2. Какая часть (в процентах) айсберга находится под водой? Плотность льда $\rho_л = 900$ кг/м^3, а воды $\rho_в = 1000$ кг/м^3. **Ответ:** 90%	*Второй закон Ньютона в векторной форме*: $\vec{F}_А + \vec{F}_{тяж} = m\vec{a}$; $F_А = F_{тяж}$ $\rho_л V_л g = \rho_в V_{п.ч.} g$; $\frac{V_{п.ч.}}{V_л} = \frac{\rho_л}{\rho_в}$
3. Полое тело плотностью $\rho_т$ плавает в воде, погрузившись на $\frac{1}{5}$ своего объема. Найдите объем полости $V_п$, если объем тела $V_т$, а плотность воды $\rho_в$. **Ответ:** $V_п = \frac{V_т(5\rho_т - \rho_в)}{5\rho_т}$	*Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{F}_А + \vec{F}_{тяж} = m\vec{a}$ $F_А = F_{тяж}$ $\rho_в V_{п.ч.} g = \rho_т (V_т - V_п) g$

ЗАДАЧИ

19. В сосуде находится три жидкости, не смешивающиеся между собой: ртуть (13 600 кг/м^3), вода (1000 кг/м^3) и керосин (700 кг/м^3). Где будет находиться кусочек льда (900 кг/м^3), брошенный в сосуд? Выберите номер правильного утверждения.

1) над керосином
2) на границе керосин — вода
3) на границе вода — ртуть
4) на дне сосуда

Ответ: ____

20. Кубик массой 40 г и объемом 250 $см^3$ плавает на поверхности воды. Найдите значение выталкивающей силы, действующей на кубик.

Ответ: ____ Н

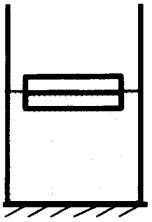
21. Однородный еловый брус длиной 6 м и сечением 10 см х 10 см плавает в воде. Какая выталкивающая сила действует на брус, если плотность ели 450 $кг/м^3$?

Ответ: ____ Н

22. Пробковый брусок плавает в воде. Какая часть объема бруска находится ниже уровня воды? Плотность пробки 250 $кг/м^3$.

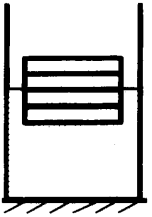
Ответ: ____%

23. Два одинаковых бруска толщиной h каждый, связанные друг с другом, плавают в воде так, что уровень воды приходится на границу между ними (см. рисунок). Во сколько раз увеличится глубина погружения, если в стопку добавить еще один такой же брусок?



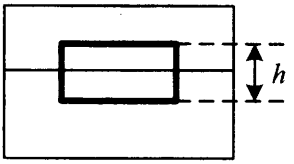
Ответ: в ____ раз(а)

24. Четыре одинаковых листа фанеры толщиной L каждый, связанные в стопку, плавают в воде так, что уровень воды соответствует границе между двумя средними листами. Во сколько раз уменьшится глубина погружения, если из стопки убрать два листа?



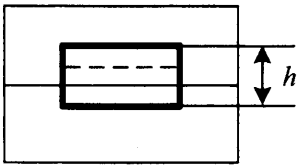
Ответ: в ____ раз(а)

25. Брусок высотой h плавает в жидкости, погрузившись в нее наполовину (см. рисунок). Во сколько раз уменьшится глубина погружения, если брусок таких же размеров, но изготовленный из материала вдвое меньшей плотности, погрузится в ту же жидкость?



Ответ: в ____ раз(а)

26. Брусок высотой h плавает в воде, погрузившись в нее на одну треть (см. рисунок). Во сколько раз увеличится глубина погружения, если в воду поместить брусок таких же размеров, но изготовленный из материала, плотность которого втрое больше?



Ответ: в ____ раз(а)

27. На поверхности воды плавает сплошной деревянный брусок. Как изменятся глубина погружения бруска и сила Архимеда, действующая на брусок, если его заменить сплошным бруском той же плотности и высоты, но большей массы?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) глубина погружения бруска	1) увеличится
Б) сила Архимеда	2) уменьшится
	3) не изменится

Ответ:

А	Б

6. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ

Основные положения молекулярно-кинетической теории и их опытное обоснование

1. Все вещества состоят из *молекул* (получены фотографии с помощью электронного микроскопа).

2. Между молекулами есть *промежутки*; при нагревании они увеличиваются, а при охлаждении уменьшаются. (Объем смеси воды и спирта меньше, чем сумма объемов воды и спирта до соединения.) Исключения: при охлаждении (до 4 °С) в воде промежутки увеличиваются, при нагревании резины — уменьшаются.

3. Молекулы *движутся*. Чем быстрее их движение, тем больше температура вещества, и наоборот. (Диффузия — явление перемешивания веществ без постороннего воздействия; броуновское движение — тепловое движение частиц под действием молекул вещества, в котором эти частицы взвешены.)

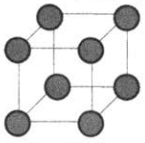
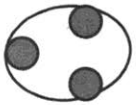
4. Молекулы *взаимодействуют*. На расстояниях, сравнимых с размерами молекул, заметнее проявляется притяжение, а при уменьшении расстояний — отталкивание. (Пример: склеивание двух плоских стекол, смоченных водой.)

Свойства твердых, жидких и газообразных веществ

	Сохраняет объем	Сохраняет форму	Особые свойства
Твердое тело	+	+	
Жидкость	+	–	текучесть
Газ	–	–	летучесть

Строение твердых, жидких и газообразных веществ

Помните, что химический состав молекул не зависит от агрегатного состояния.

	Твердое тело	Жидкость	Газ
Строение			
Расстояния между молекулами	Сравнимо с размером молекул	Чуть больше, чем в твердом теле	Многократно превышает размеры молекул
Характер движения	Колебательное	Скачкообразное	Хаотическое
Скорости молекул	Малы	Скорее малы	Огромны
Взаимодействие между молекулами	Наибольшее	Меньше, чем у твердых тел	Наименьшее

ЗАДАЧИ

1. Ртутный термометр показывает повышение температуры. Как изменяются промежутки между молекулами и размеры молекул?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) Промежутки между молекулами	1) увеличиваются
Б) Размеры молекул	2) уменьшаются
	3) не изменяются

Ответ:

А	Б

2. Установите соответствие между физическими явлениями и их названиями.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ	НАЗВАНИЕ
А) Хаотическое движение твердых частиц вещества, взвешенных в жидкости (или газе)	1) конвекция 2) броуновское движение
Б) Смешивание веществ без постороннего воздействия	3) диффузия 4) дисперсия

Ответ:

А	Б

3. Установите соответствие между характером движения молекул и агрегатным состоянием вещества.

ДВИЖЕНИЕ МОЛЕКУЛ	СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА
А) Двигаясь во всех направлениях и почти не взаимодействуя друг с другом, молекулы быстро распределяются по всему объему сосуда.	1) твердое 2) газообразное 3) жидкое 4) плазма
Б) Частицы совершают колебания возле положения равновесия, сталкиваясь с соседними частицами. Время от времени частицы совершают прыжок к другому положению равновесия.	

Ответ:

А	Б

Способы определения микроскопических параметров (диаметр молекулы, масса молекулы)

Диаметр молекулы d (м) определен экспериментально.

На поверхность воды нанесли каплю масла, объем которой V. На поверхности воды образовалась пленка толщиной в одну молекулу и площадью S 	Диаметр молекулы: $d = \frac{V}{S}$ Объем капли: $V = \frac{m}{\rho}$ Площадь пятна: $S = \pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4}$ $d_{мол} \approx 10^{-9}$м; $d_{атома} \approx 10^{-10}$ м
Относительная атомная масса A_r (а.е.м.) указана в таблице химических элементов Д.И. Менделеева	$A_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}}$, где m_0 — масса одного атома, m_{0C} — масса атома углерода
Относительная молекулярная масса M_r (а.е.м.) складывается из относительных атомных масс, входящих в состав молекулы	$M_r = \sum A_r$
Молярная масса M (кг/моль) — масса 1 моль данного вещества	$M = M_r \cdot 10^{-3}$ *Помните:* H_2, O_2, N_2, Cl_2
Постоянная Авогадро N_A (1/моль) — число частиц в 1 моль вещества	$N_A = 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$
Масса молекулы m_0 (кг)	$m_0 = \frac{M}{N_A}$
Количество вещества ν (моль) — число частиц, измеренное в относительных единицах (в молях)	$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} = \frac{\rho V}{M}$
Двухатомный газ перешел в атомарное состояние	$\nu_2 = 2\nu_1$; $M_2 = 0,5 M_1$
Плотность ρ (кг/м^3) — масса 1 м^3 данного вещества (табличная величина)	$\rho = \frac{m}{V} = m_0 n$ *Учтите:* 1 г/см^3 $\cdot$ 1000 = 1 кг/м^3

Число молекул $N_{мол}$ и атомов $N_{атом}$	$N_{мол} = \nu N_A = nV$; $N_{атом} = kN_{мол}$, где k — количество атомов в одной молекуле
Концентрация n (1/м^3) — число частиц в 1 м^3	$n = \dfrac{N}{V} = \dfrac{\rho}{m_0}$
Масса вещества m (кг)	$m = \rho V = \nu M$

ЗАДАЧИ

4. В Периодической системе элементов Д. И. Менделеева в клеточке, где указан гелий, стоят числа 2 и 4,00. На основе этих данных определите, чему равна масса $6 \cdot 10^{23}$ атомов гелия.

Ответ: ____ кг

5. В баллоне находится примерно $3 \cdot 10^{25}$ молекул газа. Определите количество вещества.

Ответ: ____ моль

6. В баллоне находится 4 моль газа. Сколько примерно молекул газа находится в баллоне? Полученный результат умножьте на 10^{-23}.

Ответ: ____

7. В сосуде находился 1 моль молекулярного водорода. При повышении температуры весь водород перешел в атомарное состояние. Каким стало количество вещества в сосуде?

Ответ: ____ моль

8. В сосуде находится смесь двух газов $4 \cdot 10^{23}$ молекул кислорода и $4 \cdot 10^{23}$ молекул водорода. Определите отношение $\dfrac{\nu(O_2)}{\nu(H_2)}$ количеств вещества этих газов.

Ответ: ____

9. Сколько моль H_2O образовалось при химической реакции, произошедшей в смеси одного моль водорода H_2 и двух моль кислорода O_2?

Ответ: ____ моль

10. В сосуде № 1 находится 2 г молекулярного водорода, а в сосуде № 2 — 18 г воды. В каком сосуде содержится больше атомов? Молярная масса водорода 0,002 кг/моль, а воды 0,018 кг/моль.

Ответ: в сосуде № ____

11. Во сколько раз число атомов меди отличается от числа атомов кислорода при нормальных условиях, если молярная масса меди $M(Cu) = 0{,}064$ кг/моль, кислорода $M(O_2) = 0{,}032$ кг/моль, а количество вещества, как меди, так и кислорода, равно 1 моль?

Ответ: в ____ раз(а)

12. На поверхность воды капают раствор подсолнечного масла в бензине. Сначала на поверхности воды образуется круглое радужное пятно, затем бензин испаряется, пятно исчезает. Посыпание поверхности воды тальком через тонкое ситечко позволяет обнаружить границы невидимого до того масляного пятна диаметром 20 см. Оцените по этим данным размер молекул масла, если концентрация масла в бензине 0,1% (по объему), а объем капли бензина 0,05 мл. Плотности бензина и масла примерно равны. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ нм

Идеальный газ. Основное уравнение МКТ идеального газа

Идеальный газ — газ, удовлетворяющий трем условиям: 1) молекулы — материальные точки; 2) потенциальной энергией взаимодействия можно пренебречь; 3) столкновения между молекулами являются абсолютно упругими. Реальный газ с малой плотностью можно считать идеальным.

Измерение температуры

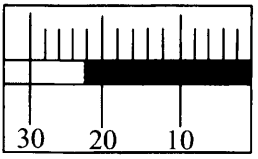
	Шкала Цельсия	Шкала Кельвина
Обозначение температуры	t (°C)	T (К)
Изучаемый процесс	Тепловое расширение воды	Тепловое расширение идеального газа
Опорные точки	0 °C — температура плавления льда 100 °C — температура кипения воды	0 К — абсолютный нуль — это температура, при которой давление идеального газа равно нулю или его объем равен нулю
Цена деления	1 °C	1 К = 1 °C
Изменение температуры	$\Delta t = \Delta T$	$\Delta T = \Delta t$
Связь между температурами	$t = T - 273$	$T = t + 273$
Более точно	$t = T - 273{,}15$	$T = t + 273{,}15$

ЗАДАЧИ

13. Температура газа в сосуде равна 2 °C. Выразите эту температуру в кельвинах.

Ответ: ____ К

14. На рисунке показана часть шкалы комнатного термометра. Определите абсолютную температуру воздуха в комнате.



Ответ: ____ К

15. Абсолютная температура тела 300 К. Выразите ее в градусах Цельсия.

Ответ: ____ °C

16. Температура тела, измеренная в единицах системы СИ, равна 281 единице. При этом температура тела, измеренная по шкале Цельсия, равна

Ответ: ____ °C

17. Температуру твердого тела понизили на 15 °C. Чему равно изменение температуры по абсолютной шкале?

Ответ: ____ К

18. Абсолютную температуру газа, первоначально равную 200 К, увеличили вдвое. Какой стала температура, выраженная в градусах Цельсия?

Ответ: ____ °C

19. Температура тела 1 равна –20 °C; тела 2 равна 283 К, тела 3 равна 5 °C. Запишите номера этих тел по возрастанию температуры.

Ответ: ____

Основное уравнение МКТ идеального газа связывает *макропараметры* (давление, объем, температуру, массу) и *микропараметры* (массу молекул, скорость молекул, кинетическую энергию).

Давление идеального газа связано с тем, что молекулы газа беспорядочно движутся, сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда $p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}$ $p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$ $p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$ $p = nkT$ **Следствия из основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеального газа** Скорость движения молекул или частиц	$R = N_A \cdot k = 8{,}31$ Дж/(К·моль) — универсальная газовая постоянная $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана $N_A = 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$ — постоянная Авогадро p(Па) — давление газа $m_0 = \frac{M}{N_A}$(кг) — масса одной молекулы M (кг/моль) — молярная масса $n = \frac{N}{V}\left(\frac{1}{\text{м}^3}\right)$ — концентрация N — число молекул V(м^3) — объем газа

$$\upsilon = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$ $$\upsilon = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$ *Температура — мера средней кинетической энергии молекул идеального газа* $$\overline{E}_k = \frac{3}{2}kT$$ $$T = \frac{2\overline{E}_k}{3k}$$	$\rho = \frac{m}{V}\left(\text{кг}/\text{м}^3\right)$ — плотность вещества m(кг) — масса газа $\overline{\upsilon^2}\left(\text{м}^2/\text{с}^2\right)$ — среднее значение квадрата скорости $\upsilon = \sqrt{\overline{\upsilon^2}}$(м/с) — среднеквадратичная скорость $\overline{E}_k$(Дж) — среднее значение кинетической энергии $E = N\overline{E}_k$(Дж) — полная энергия поступательного движения молекул T(К) — абсолютная температура газа

ЗАДАЧИ

20. Давление 100 кПа создается молекулами газа массой $3 \cdot 10^{-26}$ кг при концентрации 10^{25} м$^{-3}$. Чему равна среднеквадратичная скорость молекул?

Ответ: ____ м/с

21. При неизменной концентрации молекул идеального газа средняя квадратичная скорость теплового движения его молекул уменьшилась в 4 раза. Во сколько раз уменьшилось при этом давление газа?

Ответ: в ____ раз(а)

22. При неизменной концентрации молекул идеального газа средняя кинетическая энергия теплового движения его молекул изменилась в 4 раза. Как изменилось при этом давление газа?

Ответ: в ____ раз(а)

23. Во сколько раз уменьшится давление идеального одноатомного газа, если среднюю кинетическую энергию теплового движения молекул и концентрацию уменьшить в 2 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

24. В результате нагревания и сжатия идеального одноатомного газа его давление увеличилось в 3 раза, а концентрация его молекул увеличилась в 2 раза. Во сколько раз увеличилась средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа?

Ответ: в ____ раз(а)

25. В результате нагревания неона абсолютная температура газа увеличилась в 5 раз. Во сколько раз возросла средняя кинетическая энергия теплового движения его молекул?

Ответ: в ____ раз(а)

26. При уменьшении абсолютной температуры на 600 К средняя кинетическая энергия теплового движения молекул неона уменьшилась в 4 раза. Какова начальная температура газа?

Ответ: ____ К

Уравнение состояния идеального газа

Уравнение состояния идеального газа было открыто экспериментально и носит название **уравнения Клапейрона—Менделеева.** Оно устанавливает математическую зависимость между параметрами идеального газа, находящегося в одном состоянии.

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

$$pV = \nu RT$$

$$p = \frac{\rho}{M}RT$$

Помните: все единицы измерения следует сразу переводить в единицы СИ. *Учтите*, что 1 л = 10^{-3} м^3.

ЗАДАЧИ

27. Кислород находится в сосуде вместимостью 0,4 м^3 под давлением $8,3 \cdot 10^5$ Па и при температуре 320 К. Чему равна масса кислорода? Молярная масса кислорода 0,032 кг/моль.

Ответ: ____ кг

28. В баллоне объемом 1,66 м^3 находится 2 кг азота при давлении 100 кПа. Чему равна температура этого газа? Молярная масса азота 0,028 кг/моль.

Ответ: ____ °С

29. При температуре 10 °С и давлении 100 кПа плотность газа равна 2,5 кг/м^3. Вычислите молярную массу газа. Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ г/моль

30. Газ находится в баллоне объемом 8,31 л при температуре 127 °С и давлении 100 кПа. Какое количество вещества содержится в газе?

Ответ: ____ моль

Уравнение состояния идеального газа следует использовать, если газ переходит из одного состояния в другое и при этом изменяется его масса (количество вещества, число молекул) или молярная масса. В этом случае необходимо составить уравнение Клапейрона—Менделеева отдельно для каждого состояния. Решая систему уравнений, легко найти недостающий параметр.

Подсказки к задачам

Давление возросло на 15%	$p_2 = 1{,}15\,p_1$
Объем увеличился на 2%	$V_2 = 1{,}02V_1$
Масса увеличилась в 3 раза	$m_2 = 3m_1$
Газ нагрелся до 25 °С	$T_2 = 25 + 273 = 298$ К
Температура уменьшилась на 15 К или на 15 °С	$T_2 = T_1 - 15$ *Запомните:* $\Delta t = \Delta T$
Температура уменьшилась в 2 раза	$T_2 = \dfrac{T_1}{2}$
Масса уменьшилась на 20%	$m_2 = 0{,}8m_1$
Выпущено 0,7 начальной массы	Важно, что осталось в сосуде $m_2 = 0{,}3m_1$
Какую массу следует удалить из баллона?	$m_1 - m_2$
Газ потерял половину молекул	$N_2 = \dfrac{N_1}{2}$ или $m_2 = \dfrac{m_1}{2}$

Молекулы двухатомного газа (например, водорода) диссоциируют на атомы	$M_2 = \frac{M_1}{2}$
Озон O_3 при нагревании превращается в кислород O_2	$M(O_3) = 3A_r(O) \cdot 10^{-3}$ кг/моль $M(O_2) = 2A_r(O) \cdot 10^{-3}$ кг/моль
Открытый сосуд	Постоянны: V, $p_{атм}$
Закрытый сосуд	Постоянны: m, M, ν, V, N, n, ρ
Нормальные условия	Температура $T_0 = 273$ К давление $p_0 = 10^5$ Па
Единицы измерения давления	1 атм = 10^5 Па

УПРАЖНЕНИЯ

1. В баллоне содержится газ под давлением 2,8 МПа при температуре 280 К. Удалив половину молекул, баллон перенесли в помещение с другой температурой. Определите конечную температуру газа, если давление уменьшилось до 1,5 МПа. **(300 К)**

2. В закрытом сосуде находится газ под давлением 500 кПа. Какое давление установится в сосуде, если после открытия крана $\frac{4}{5}$ массы газа выйдет наружу? **(100 кПа)**

3. Баллон содержит сжатый газ при температуре 300 К и давлении 200 кПа. Каким будет давление в баллоне, когда из него будет выпущено 0,6 массы газа, а температура понизится до 0 °С? **(72,8 кПа)**

4. При температуре T_0 и давлении p_0 идеальный газ количеством вещества 1 моль занимает объем V_0. Каков объем 2 моль этого газа при давлении $2p_0$ и температуре $2T_0$? **($2V_0$)**

5. В баллоне с воздухом объемом 5 л давление газа упало от 100 кПа до 50 кПа. Какова масса вытекшего из баллона воздуха, если баллон находится в комнате с температурой 27 °С? Молярная масса воздуха 0,029 кг/моль. **(3 г)**

6. В баллоне содержится газ массой 80 г при температуре 240 К. Какую массу газа нужно удалить из баллона, чтобы при нагрева-

нии оставшегося газа до температуры 360 К давление в баллоне осталось прежним? **(26,7 г)**

7. Из баллона со сжатым водородом вместимостью 10 л вследствие неисправности вентиля вытекает газ. При температуре 7 °С манометр показывает 50 атм. Через некоторое время при температуре 17 °С манометр показал такое же давление. Какая масса газа ушла из баллона? Молярная масса водорода $2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. **(1,5 г)**

8. Некоторое количество водорода находится при температуре 200 К и давлении 400 Па. Газ нагревают до температуры 10 000 К, при которой молекулы водорода практически полностью распадаются на атомы. Определите давление газа, если его объем и масса остались без изменения. Молярная масса водорода 0,002 кг/моль. **(40 кПа)**

Объединенный газовый закон

Объединенный газовый закон (открыт экспериментально): *при постоянной массе газа и его неизменной молярной массе отношение произведения давления на объем к его абсолютной температуре остается величиной постоянной*:

$$\frac{pV}{T} = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}.$$

Газовые законы были открыты экспериментально. Они устанавливают математическую зависимость параметров газа в изопроцессах. Формулы газовых законов можно получить как следствия объединенного газового закона.

Изотермический процесс	**Изобарный процесс**	**Изохорный процесс**
$m_1 = m_2$ $M_1 = M_2$ $T_1 = T_2$	$m_1 = m_2$ $M_1 = M_2$ $p_1 = p_2$	$m_1 = m_2$ $M_1 = M_2$ $V_1 = V_2$
Закон Бойля–Мариотта	**Закон Гей-Люссака**	**Закон Шарля**
$p_1V_1 = p_2V_2$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

Учтите: при решении задач на газовые законы температуру следует **обязательно** переводить в кельвины.

ЗАДАЧИ

31. Укажите, какой процесс, проводимый над идеальным газом, отвечает приведенным условиям (V — занимаемый газом объем, T — абсолютная температура газа, ν — количество вещества газа, p — давление газа). Установите соответствие между условиями проведения процессов и их названиями.

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА	ЕГО НАЗВАНИЕ
А) $\frac{V}{T} = \text{const}, \nu = \text{const}$	1) изотермический
Б) $\frac{p}{T} = \text{const}, \nu = \text{const}$	2) изобарный
	3) изохорный
	4) адиабатный

Ответ:

А	Б

32. Установите соответствие между процессами в идеальном газе и формулами, которыми они описываются (N — число частиц, p — давление, V — объем, T — абсолютная температура, Q — количество теплоты).

ПРОЦЕССЫ	ФОРМУЛЫ
А) Изобарный процесс при $N = \text{const}$	1) $\frac{p}{T} = \text{const}$
Б) Изотермический процесс при $N = \text{const}$	2) $\frac{V}{T} = \text{const}$
	3) $pV = \text{const}$
	4) $Q = 0$

Ответ:

А	Б

33. Газ в цилиндре переводится из состояния А в состояние В так, что его масса при этом не изменяется. Параметры, определяющие состояние идеального газа, приведены в таблице.

	p, 10^5 Па	V, 10^{-3} м^3	T, К
Состояние А	1,0	4	
Состояние В	1,5	8	900

Выберите число, которое следует внести в свободную клетку таблицы.

Ответ: ____

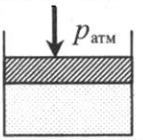
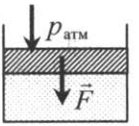
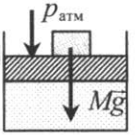
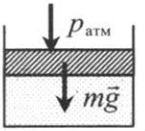
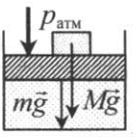
34. Идеальный газ изобарно нагревают так, что его температура изменяется на $\Delta T = 240$ К, а объем — в 1,4 раза. Масса газа постоянна. Найдите начальную температуру газа по шкале Кельвина.

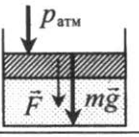
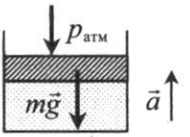
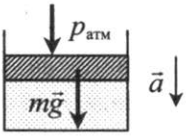
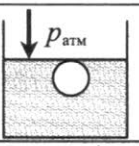
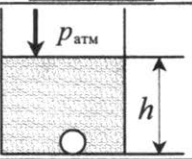
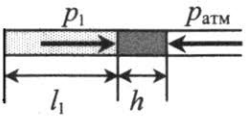
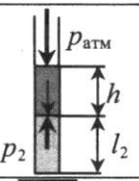
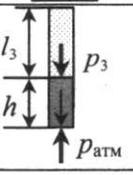
Ответ: ____ К

35. Идеальный газ изохорно нагревают так, что его температура изменяется на $\Delta T = 240$ К, а давление — в 1,6 раза. Масса газа постоянна. Найдите начальную температуру газа по шкале Кельвина.

Ответ: ____ К

Подсказки к задачам на газовые законы

Газ под невесомым поршнем $p = p_{\text{атм}}$	
На невесомый поршень действует сила $p = p_{\text{атм}} + \frac{F}{S}$	
На невесомый поршень поставили груз $p = p_{\text{атм}} + \frac{Mg}{S}$	
Газ находится под массивным поршнем $p = p_{\text{атм}} + \frac{mg}{S}$	
На массивный поршень поставили груз $p = p_{\text{атм}} + \frac{mg}{S} + \frac{Mg}{S}$	

На массивный поршень действует сила $$p = p_{\text{атм}} + \frac{mg}{S} + \frac{F}{S}$$	
Газ, находящийся в цилиндре под массивным поршнем, находится в лифте, ускорение которого направлено вверх $$p = p_{\text{атм}} + \frac{mg}{S} + \frac{ma}{S}$$	
Газ, находящийся в цилиндре под массивным поршнем, находится в лифте, ускорение которого направлено вниз $$p = p_{\text{атм}} + \frac{mg}{S} - \frac{ma}{S}$$	
«Пузырек у поверхности воды» $$p = p_{\text{атм}}$$	
«Пузырек на глубине» $$p = p_{\text{атм}} + \rho gh$$	
Газ, находящийся в горизонтальной пробирке, отделен от атмосферы столбиком ртути $$V_1 = l_1 S$$ $$p_1 = p_{\text{атм}}$$	
Пробирку поворачивают открытым концом вверх $$V_2 = l_2 S$$ $$p_2 = p_{\text{атм}} + \rho gh$$	
Пробирку поворачивают открытым концом вниз $$V_3 = l_3 S$$ $$p_3 = p_{\text{атм}} - \rho gh$$	
Шар (или понтон) начинает подниматься в воздухе (в жидкости)	$F_{\text{А}} > F_{\text{тяж}}$

ЗАДАЧИ

36. Идеальный одноатомный газ в количестве $\nu = 0{,}09$ моль находится в равновесии в вертикальном цилиндре под поршнем массой $m = 5$ кг и площадью $S = 25$ см^2. Трение между поршнем и стенками цилиндра отсутствует. Внешнее атмосферное давление равно $p_0 = 100$ кПа. В результате нагревания температура газа поднялась на $\Delta T = 16$ К. На какое расстояние поднялся поршень? Ответ выразите в см и округлите до целых.

Ответ: ____ см

37. Поршень площадью 10 см^2 массой 5 кг может без трения перемещаться в вертикальном цилиндрическом сосуде, обеспечивая при этом его герметичность. Сосуд с поршнем, заполненный газом, покоится на полу неподвижного лифта при атмосферном давлении 100 кПа, при этом расстояние от нижнего края поршня до дна сосуда 20 см. Каким станет это расстояние, когда лифт поедет вверх с ускорением, равным 2 м/с^2? Изменение температуры газа не учитывать.

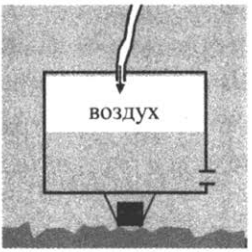
Ответ: ____ см

38. Поршень площадью 10 см^2 массой 5 кг может без трения перемещаться в вертикальном цилиндрическом сосуде, обеспечивая при этом его герметичность. Сосуд с поршнем, заполненный газом, покоится на полу неподвижного лифта при атмосферном давлении 100 кПа, при этом расстояние от нижнего края поршня до дна сосуда 20 см. Каким станет это расстояние, когда лифт поедет вниз с ускорением, равным 3 м/с^2? Изменение температуры газа не учитывать. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ см

39. В понтон, лежащий на дне моря, закачивается сверху воздух. Вода вытесняется из понтона через нижнее отверстие (см. рисунок), и когда объем воздуха в понтоне достигает 28 м^3, понтон всплывает вместе с прикрепленным к нему грузом. В момент начала подъема расстояние от поверхности воды в понтоне до поверхности воды в море равно 73,1 м. Масса оболочки понтона

2710 кг. Определите массу поднимаемого груза. Температура воды равна 7 °С, атмосферное давление на уровне моря равно 10^5 Па. Объемом груза и стенок понтона пренебречь. Плотность воды 1000 кг/м^3. Молярная масса воздуха 0,029 кг/моль.



Ответ: ____ т

Закон Дальтона

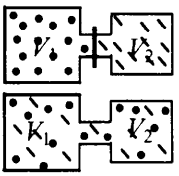
Закон Дальтона справедлив для смеси газов: *давление смеси газов равно сумме их парциальных давлений*. Например, давление воздуха складывается из давления азота, кислорода, углекислого газа, водяного пара и т.д.

$$p = p_1' + p_2' + \dots .$$

Парциальное давление — давление, которое производил бы данный газ, если бы другие газы отсутствовали.

Пример задачи на закон Дальтона

Газы находятся в сосудах, соединенных трубкой с краном. Какое установится давление, если открыть кран?



Основная идея: после открытия крана и первый, и второй газы заполнят сразу оба сосуда. Для первого газа (из *закона Бойля—Мариотта)*

$$p_1V_1 \to p_1'(V_1 + V_2);\ p_1' = \frac{p_1V_1}{V_1 + V_2}$$

Для второго газа (по аналогии)

$$p_2' = \frac{p_2V_2}{V_1 + V_2}$$

Закон Дальтона

$$p = p_1' + p_2' = \frac{p_1V_1 + p_2V_2}{V_1 + V_2}$$

ЗАДАЧИ

40. В сосуде неизменного объема находилась при комнатной температуре смесь двух идеальных газов, по 1 моль каждого. Половину содержимого сосуда выпустили, а затем добавили в сосуд 2 моль второго газа. Как изменились в результате парциальные давления газов и их суммарное давление, если температура газов в сосуде поддерживалась неизменной?

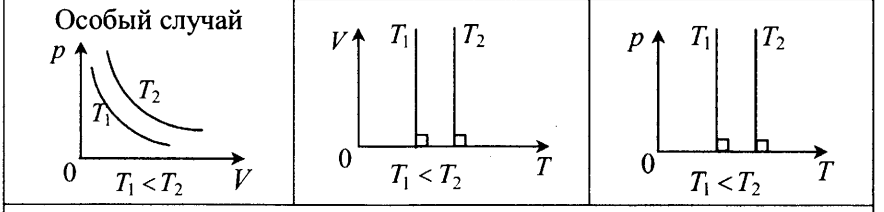
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) парциальное давление первого газа	1) увеличилось
Б) давление газа в сосуде	2) уменьшилось
	3) не изменилось

Ответ:

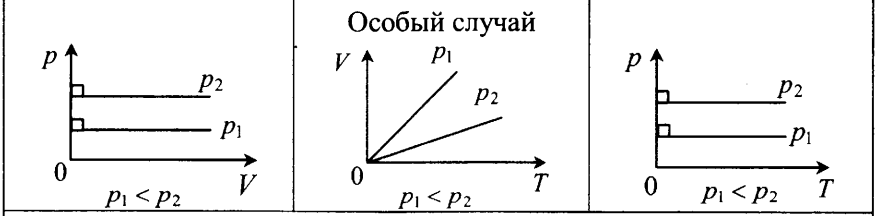
А	Б

Графики изопроцессов

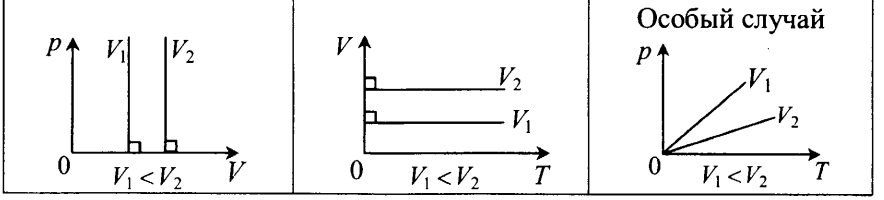
Изотермический процесс (температура не меняется)



Изобарный процесс (давление не меняется)



Изохорный процесс (объем не меняется)



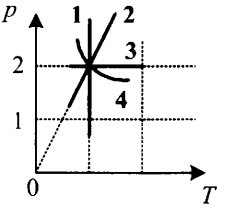
Как по графику определить, какому изопроцессу соответствует данный участок?

Если график располагается перпендикулярно некоторой оси, то величина, указанная на ней, сохраняется.

Следует запомнить особые случаи: изотермы в осях *p, V — гиперболы;* изобары в осях *V, T — прямые, выходящие из начала координат.* Изохоры в осях *p, T — прямые, выходящие из начала координат.*

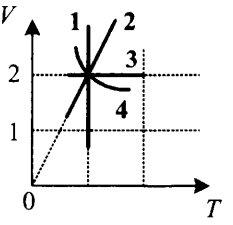
ЗАДАЧИ

41. Какой из графиков, изображенных на рисунке, соответствует процессу, проведенному при постоянной температуре газа?



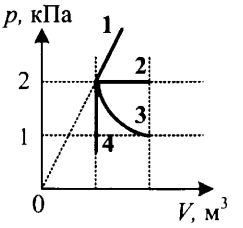
Ответ: ____

42. На рисунке представлены графики процессов, проводимых с постоянным количеством идеального газа. Какой из графиков соответствует изобарному процессу?



Ответ: ____

43. На рисунке представлены графики процессов, проводимых с постоянным количеством идеального газа. Какой график соответствует изохорному процессу?



Ответ: ____

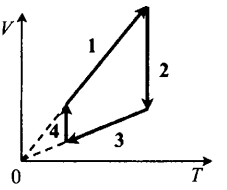
Как по графику изопроцесса узнать характер изменения физических величин?

В изобарном и изохорном процессах величины, не указанные на осях, изменяются так же, как те, изменение которых видно из графика.

В изотермическом процессе, если увеличивается давление, то объем уменьшается, и наоборот.

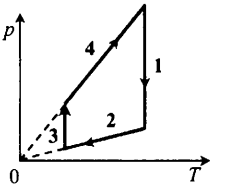
ЗАДАЧИ

44. На рисунке показан цикл, осуществляемый с идеальным газом. Какой участок соответствует изобарному расширению?



Ответ: ____

45. На рисунке показан цикл изменения состояния идеального газа. Какой участок соответствует изотермическому сжатию?



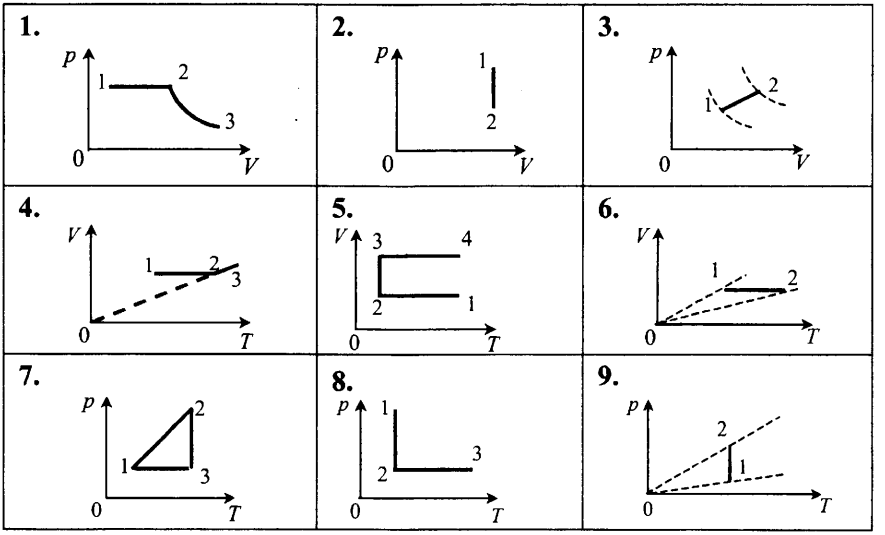
Ответ: ____

Как выяснить характер изменения величины, если переход из одного состояния в другое не является изопроцессом?

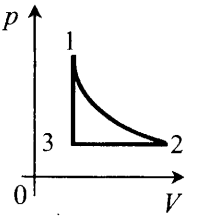
Самостоятельно провести изолинии через начальную и конечную точки графика.

Чем выше располагается изотерма, тем большая температура ей соответствует. Более высокой изобаре в осях (V, T) соответствует меньшее давление. Более высокой изохоре в осях (p, T) соответствует меньший объем.

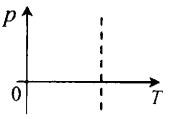
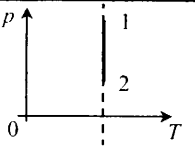
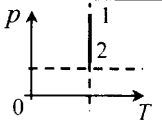
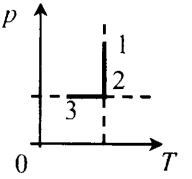
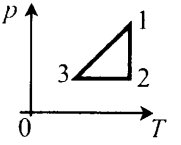
Задание. Определите по графикам, как изменяются давление, температура и объем газа:



Графическая задача. На рисунке представлен график замкнутого цикла. Вычертите эту диаграмму в координатах p, T и V, T.



Алгоритм решения задачи

1. Определить, какому изопроцессу соответствует каждый участок цикла	$1-2: T = \text{const}$ $2-3: p = \text{const}$ $3-1: V = \text{const}$
2. Указать характер изменения физических величин	$1-2: T = \text{const}, p \downarrow, V \uparrow$ $2-3: p = \text{const}, V \downarrow, T \downarrow$ $3-1: V = \text{const}, p \uparrow, T \uparrow$
3. Построить оси координат p, T и наметить изолинию, соответствующую первому процессу	
4. Зная, как изменяется давление в первом процессе, указать направление процесса, поставив цифры 1 и 2	
5. Через точку 2 провести следующую изолинию	
6. Определить направление второго процесса	
7. Через точку 3 тоже провести изолинию. В случае необходимости поправьте первую изолинию	

Советы

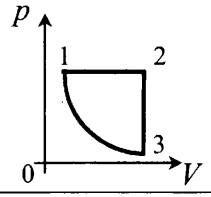
• Первую изолинию располагайте в центральной части, тогда у вас будет возможность строить следующие изолинии в любом направлении.

• Все построения выполняйте тонкими линиями, тогда вы сможете изменять длины ранее построенных изопроцессов.

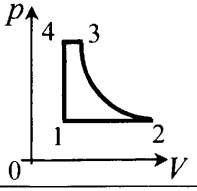
Задание. На рисунках представлены графики замкнутых циклов. Вычертите диаграммы замкнутых циклов в координатах:

1) V,T и p,T

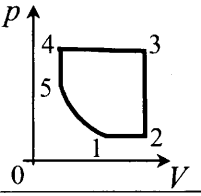
1.



2.

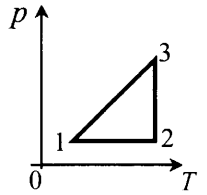


3.

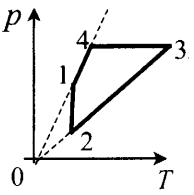


2) p,V и V,T

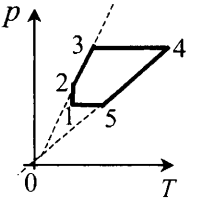
4.



5.

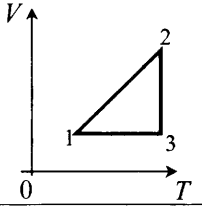


6.

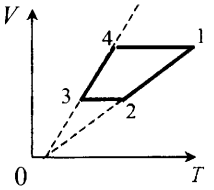


3) p,V и p,T

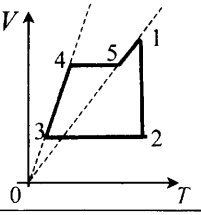
7.



8.



9.



Испарение и конденсация. Влажность воздуха

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

способные преодолеть притяжение молекул жидкости. Запомните, что в результате испарения из жидкости вылетают самые быстрые молекулы, поэтому температура жидкости понижается.

Скорость испарения зависит от:

1) температуры жидкости (больше или меньше «быстрых» молекул);

2) рода жидкости (сильнее или слабее взаимодействие между молекулами);

3) наличия воздушных потоков;

4) влажности воздуха;

5) площади открытой поверхности.

Конденсация — процесс, обратный испарению, т.е. молекулы из газообразного состояния переходят в жидкое. В открытом сосуде всегда преобладает испарение, а в герметично закрытом сосуде устанавливается равновесие между этими процессами.

Динамическое равновесие — это состояние, при котором число испарившихся за единицу времени молекул равно числу сконденсированных. Пар, находящийся в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью, называют *насыщенным.*

Давление насыщенного *пара в изотермическом процессе не зависит от объема.* При уменьшении объема пара «лишние» молекулы воды конденсируются, а при увеличении объема недостаток молекул восполняется за счет испарения. В итоге через некоторое время снова наступает динамическое равновесие.

ЗАДАЧИ

46. В цилиндре под поршнем находятся вода и насыщенный водяной пар. Поршень медленно изотермически вдвигают в цилиндр. Как изменяются при этом давление водяного пара и его масса? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) давление водяного пара в цилиндре	1) увеличивается
Б) масса водяного пара в цилиндре	2) уменьшается
	3) не изменяется

Ответ:

А	Б

47. В закрытом сосуде вместимостью 1 л при температуре 100 °С находятся в равновесии пары воды и капля воды. Определите массу паров воды в сосуде. Молярная масса воды 0,018 кг/моль, давление насыщенного водяного пара при 100 °С 101,3 кПа. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ г

48. В сосуде под поршнем при температуре 100 °С находится 2 г водяного пара и такое же количество воды. Не изменяя температуры, объем сосуда увеличили в 3 раза. Определите массу воды, перешедшей при этом в пар.

Ответ: ____ г

Влажность воздуха

Относительная влажность φ (%)

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{нас}} \cdot 100\% = \frac{p}{p_{нас}} \cdot 100\%,$$

где $\rho\left(кг/м^3\right)$ — плотность водяного пара, ρ — плотность насыщенного водяного пара при данной температуре (табличная величина); p (Па) — парциальное давление водяного пара; $p_{нас}$ — давление насыщенного пара при данной температуре (табличная величина).

Измерительный прибор: *психрометр*.

Помните: влажность воздуха не бывает больше 100%.

ЗАДАЧИ

49. Парциальное давление водяного пара в воздухе при 20 °С равно 699 Па, а давление насыщенных паров при этой температуре равно 2330 Па. Определите относительную влажность воздуха.

Ответ: ____%

50. Парциальное давление водяного пара в комнате в 2,5 раза меньше давления насыщенного водяного пара при такой же температуре. Чему равна относительная влажность воздуха в комнате?

Ответ: ____%

51. В одном кубическом метре воздуха в комнате при температуре 24 °С находится $1{,}6 \cdot 10^{-2}$ кг водяных паров. Определите относительную влажность воздуха в комнате, если плотность насыщенных паров при данной температуре равна $2{,}18 \cdot 10^{-2}$ кг/м^3. Ответ округлите до целых.

Ответ: ____%

52. Давление насыщенного водяного пара при температуре 40 °С приблизительно равно 6000 Па. Каково парциальное давление водяного пара в комнате при этой температуре, если относительная влажность равна 30%?

Ответ: ____ Па

53. Относительная влажность воздуха в цилиндре под поршнем равна 30%. Какой станет относительная влажность воздуха, если объем сосуда при неизменной температуре уменьшить в 2 раза?

Ответ: ____%

54. Относительная влажность воздуха в сосуде под поршнем равна 45%. Воздух изотермически сжали, уменьшив объем в 3 раза. Чему стала равна относительная влажность воздуха в сосуде?

Ответ: ____%

7. ТЕРМОДИНАМИКА

Внутренняя энергия вещества

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

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

где $\Sigma E_{k0}(\upsilon)$ — кинетическая энергия молекул (атомов), которая зависит от скорости их движения. Она изменяется только при изменении температуры. В процессе агрегатных переходов кинетическая энергия молекул остается неизменной;

$\Sigma E_{p0}(r)$ — потенциальная энергия взаимодействия молекул, которая зависит от расстояния между молекулами. Она изменяется при изменении температуры и объема. Например, в процессе агрегатных переходов изменяется именно потенциальная энергия молекул.

Способы изменения внутренней энергии:

1) совершение работы (за счет трения или ударов);

2) испарение (в процессе испарения внутренняя энергия жидкости понижается);

3) теплопередача (приведение в соприкосновение с более холодным или более нагретым телом).

Виды теплопередачи: теплопроводность, конвекция, излучение.

Теплопроводность. При теплопроводности происходит постепенное увеличение скорости движения молекул. Это возможно только благодаря межмолекулярному взаимодействию, поэтому теплопроводность в твердых телах происходит быстрее, чем в жидкостях. В газах она осуществляется еще медленнее. Для сохранения тепла используют пористые материалы, в которых много воздуха. Воздух — это смесь газов, поэтому он плохо проводит тепло.

Учтите: в вакууме теплопроводность невозможна.

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

Учтите: в твердых телах и в вакууме конвекция невозможна.

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

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

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

ЗАДАЧИ

1. При нагревании стальной стержень удлиняется. Как изменяются при этом плотность и внутренняя энергия? Для каждой физической величины определите соответствующий характер изменения.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) плотность	1) увеличивается
Б) внутренняя энергия	2) уменьшается
	3) не изменяется

Ответ:

А	Б

2. Подберите во второй колонке примеры тепловых явлений, иллюстрирующие способы теплопередачи, указанные в первой колонке.

СПОСОБЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ	ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ
А) теплопроводность	1) нагревание воды в электрическом чайнике
Б) излучение	2) высушивание белья, подвешенного над радиатором отопления или рядом со стенкой печи
	3) выжигание отверстий в бумаге с помощью лупы в солнечный день
	4) охлаждение воздуха кондиционером
	5) измерение температуры тела больного ртутным термометром

Ответ:

А	Б

3. Подберите во второй колонке примеры тепловых явлений, иллюстрирующие способы теплопередачи, указанные в первой колонке.

СПОСОБЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ	ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ
А) излучение	1) нагревание воздуха от радиатора центрального отопления
Б) конвекция	2) нагревание металлического стержня в пламени
	3) нагревание медной проволоки после ее многократного сгибания
	4) нагревание воды в озере летним днем
	5) нагревание детали после обработки ее напильником

Ответ:

А	Б

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

$$Q = \pm\Delta U .$$

Если внутренняя энергия вещества увеличивается, то $Q > 0$. Это происходит при нагревании, плавлении и кипении.

Если внутренняя энергия уменьшается, то $Q < 0$. Это происходит при охлаждении, отвердевании и конденсации.

Нагревание и охлаждение вещества

$$Q = cm(t_к - t_н),$$

где $(t_к - t_н)$ (°С, К) — изменение температуры вещества; $t_н$ (°С, К) — начальная температура вещества; $t_к$ (°С, К) — конечная температура вещества; m (кг) — масса вещества; c (Дж/(кг · К)) — удельная теплоемкость вещества показывает, какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы нагреть 1 кг данного вещества на 1 К (или на 1 °С). Такое же количество теплоты выделится при охлаждении 1 кг этого вещества на 1 К.

$$Q = C\Delta T ,$$

где $C = cm$ (Дж/К) — теплоемкость вещества.

Сгорание топлива

$$Q = q\,m,$$

где q (Дж/кг) — удельная теплота сгорания топлива, показывающая, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании 1 кг данного вида топлива.

ЗАДАЧИ

4. Температура медного образца массой 100 г увеличилась на 40 °С. Какое количество теплоты получил образец? Удельная теплоемкость меди 380 Дж/(кг · К).

Ответ: ____ Дж

5. Бронзовый подсвечник массой 2 кг нагрели до температуры 900 К. Какое количество теплоты выделилось при остывании подсвечника до температуры 300 К? Удельная теплоемкость бронзы 420 Дж/(кг · К).

Ответ: ____ кДж

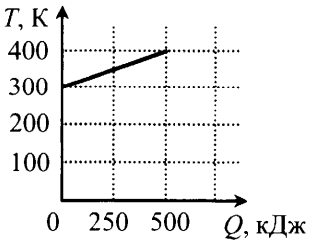
6. Для нагревания 5 кг вещества на 20 К необходимо 13 кДж теплоты. Определите удельную теплоемкость вещества.

Ответ: ____ Дж/(кг · К)

7. Железному и алюминиевому цилиндрам сообщили одинаковое количество теплоты, что привело к одинаковым изменениям температуры цилиндров. Определите отношение масс этих цилиндров m_{Fe} / m_{Al}. Удельная теплоемкость железа 460 Дж/(кг · К), алюминия 920 Дж/(кг · К).

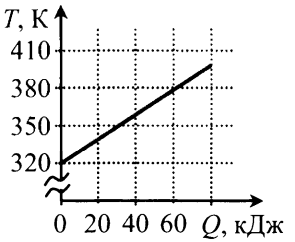
Ответ: ____

8. На рисунке приведен график зависимости температуры твердого тела от полученного им количества теплоты. Масса тела 8 кг. Какова удельная теплоемкость вещества этого тела?



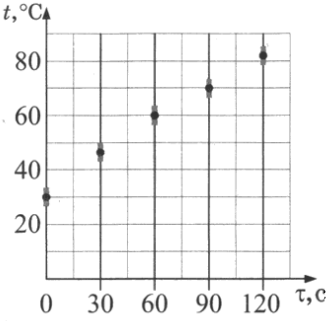
Ответ: ____ Дж/(кг · К)

9. Твердое тело нагревают. На рисунке приведен график зависимости температуры тела от переданного ему количества теплоты. Удельная теплоемкость вещества этого тела равна 1000 Дж/(кг · К). Чему равна масса тела?



Ответ: ____ кг

10. На рисунке представлены результаты измерения температуры воды в электрическом чайнике в последовательные моменты времени. Погрешность измерения времени равна 3 с, погрешность измерения температуры равна 4 °С. Какова полезная мощность нагревателя чайника, если масса воды равна 0,8 кг? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · К). Ответ округлите до десятых.



Ответ: ____ кВт

Агрегатные (фазовые) переходы

Плавление — переход вещества из твердого состояния в жидкое. Плавление каждого вещества происходит при определенной температуре, которую называют *температурой плавления*. Все подводимое тепло идет на разрушение кристаллической решетки, при этом увеличивается потенциальная энергия молекул. Кинетическая энергия остается без изменения и температура в процессе плавления не изменяется. Для расчета количества теплоты, необходимого для процесса плавления, следует применять формулу:

$$Q = \lambda m,$$

где λ (Дж/кг) — удельная теплота плавления, показывающая, какое количество теплоты необходимо сообщить 1 кг данного вещества,

чтобы перевести его из твердого состояния в жидкое при условии, что оно уже нагрето до температуры плавления. В процессе отвердевания 1 кг данной жидкости, охлажденной до температуры отвердевания, выделится такое же количество теплоты.

Отвердевание (кристаллизация) — процесс, обратный плавлению. Осуществляется переход вещества из жидкого состояния в твердое. Происходит он при той же температуре, что и плавление. В процессе отвердевания температура также не изменяется. Количество теплоты, выделяемое в процессе отвердевания:

$$Q = -\lambda m .$$

Кипение (парообразование) — переход вещества из жидкого состояния в газообразное. Происходит при определенной температуре, которую называют *температурой кипения*. В отличие от испарения, при кипении процесс парообразования идет со всего объема жидкости. Несмотря на то, что к кипящему веществу подводят тепло, температура не изменяется. Все затраты энергии идут на увеличение промежутков между молекулами. Температура кипения зависит от рода вещества и внешнего атмосферного давления. Количество теплоты, необходимое для процесса кипения, вычисляют по формуле:

$$Q = rm ,$$

где r (Дж/кг) — удельная теплота парообразования, показывающая, какое количество теплоты необходимо затратить, чтобы перевести в пар 1 кг жидкости, нагретой до температуры кипения. Такое же количество теплоты выделится в процессе конденсации 1 кг пара, охлажденного до температуры конденсации.

Конденсация — процесс, обратный кипению. Происходит при температуре кипения, которая также не изменяется во время всего процесса. Количество теплоты, выделяемое в процессе конденсации:

$$Q = -rm .$$

ЗАДАЧИ

11. Чтобы целиком расплавить брусок из олова, нагретый до температуры плавления, требуется количество теплоты Q. Такому бруску, нагретому до температуры плавления, передали количе-

ство теплоты $Q/2$. Для каждой физической величины определите соответствующий характер изменения.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) внутренняя энергия бруска	1) увеличивается
Б) температура бруска	2) уменьшается
	3) не изменяется

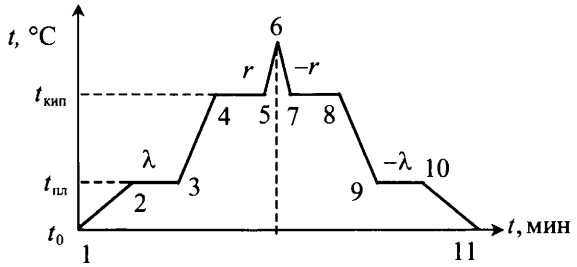
Ответ:

А	Б

12. Какова температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении по абсолютной шкале температур?

Ответ: ____ К

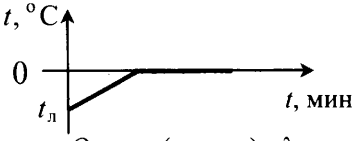
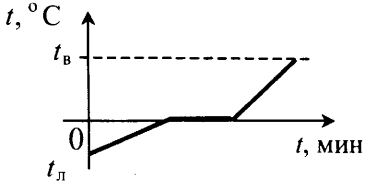
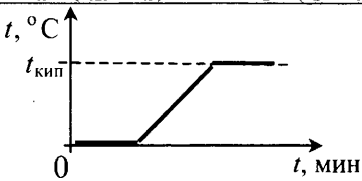
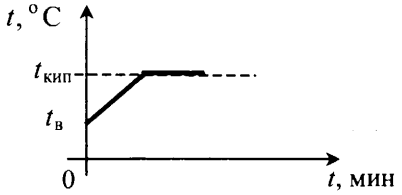
Тепловые процессы при нагревании и охлаждении



1–2	Нагревание твердого тела	$Q = c_т m(t_{пл} - t_0)$
2–3	Плавление ($t_{пл}$)	$Q = \lambda m$
3–4	Нагревание жидкости	$Q = c_ж m(t_{кип} - t_{пл})$
4–5	Кипение ($t_{кип}$)	$Q = rm$
5–6	Нагревание пара	$Q = c_п m(t - t_{кип})$
6–7	Охлаждение пара	$Q = c_п m(t_{кип} - t)$
7–8	Конденсация ($t_{кип}$)	$Q = -rm$
8–9	Охлаждение жидкости	$Q = c_ж m(t_{пл} - t_{кип})$
9–10	Отвердевание ($t_{пл}$)	$Q = -\lambda m$
10–11	Охлаждение твердого тела	$Q = c_т m(t_0 - t_{пл})$

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

Частные случаи тепловых процессов

1. Полностью растопили лед, имеющий отрицательную температуру	 $Q = c_л m(t_{пл} - t_л) + \lambda m$
2. Лед, взятый при отрицательной температуре, превратили в воду при комнатной температуре	 $Q = c_л m(t_{пл} - t_л) + \lambda m + c_в m(t_в - t_{пл.})$
3. Взяли лед при 0 °C и полностью испарили	 $Q = \lambda m + c_в m(t_{кип} - t_{пл.}) + rm$
4. Взяли воду при комнатной температуре и половину превратили в пар	 $Q = c_в m(t_{кип} - t_в) + r\frac{m}{2}$

Подсказки к задачам на тепловые процессы

Единицы измерения	Температуру можно оставлять в градусах Цельсия (°C)
Кипяток	Вода, имеющая температуру 100 °C
Объем воды 5 л	$m = 5$ кг, так как $m = \rho V = 10^3$ кг/м$^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ м$^3 = 5$ кг *Учтите:* равенство V(л) $= m$(кг) справедливо **только** для воды

ЗАДАЧИ

13. Кусок льда, имеющий температуру 0 °С, помещен в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лед в воду с температурой 20 °С, требуется количество теплоты 100 кДж. Какая температура установится внутри калориметра, если лед получит от нагревателя количество теплоты 75 кДж? Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж / (кг · К), удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг.

Ответ: ____ °С

14. В сосуде лежит кусок льда. Температура льда $t_1 = 0$ °С. Если сообщить ему количество теплоты $Q = 50$ кДж, то 3/4 льда растает. Какое количество теплоты q надо после этого сообщить содержимому сосуда дополнительно, чтобы весь лед растаял, и образовавшаяся вода нагрелась до температуры $t_2 = 20$ °С? Тепловыми потерями на нагрев сосуда пренебречь. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж / (кг · К), удельная теплота плавления льда 330 кДж / кг. Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ Дж

Теплообмен. Уравнение теплового баланса с учетом знаков количества теплоты:

$$Q_{\text{отд}} + Q_{\text{получ.}} = 0,$$

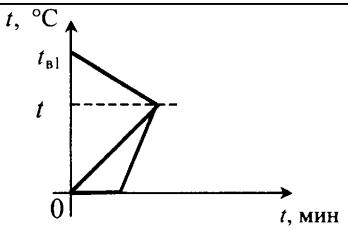
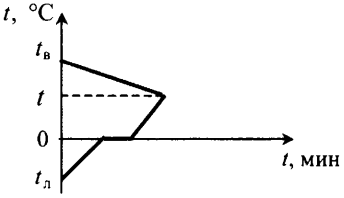
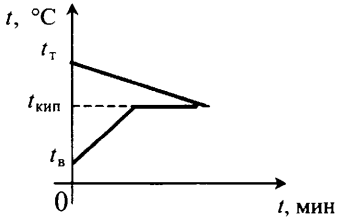
где $Q_{\text{отд}} < 0$, $Q_{\text{получ.}} > 0$.

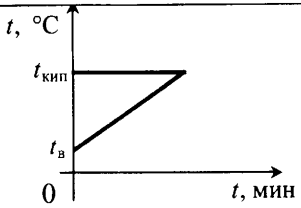
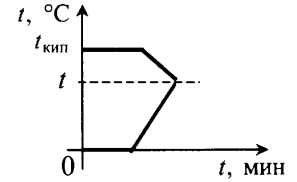
Подсказки к задачам на теплообмен

Теплообмен происходит в калориметре	Потерями энергии можно пренебречь
Жидкость нагревают в некотором сосуде	Начальные и конечные температуры жидкости и сосуда совпадают
В жидкость опускают термометр	Через некоторое время он покажет конечную температуру жидкости и термометра

Мокрый снег	Содержит воду и лед при 0 °С *Учтите*: лед плавится, если он находится при температуре 0 °С и получает энергию от более нагретого тела. Вода кристаллизуется при температуре 0 °С, если она отдает энергию более холодному телу. Если лед и вода находятся при температуре 0 °С, то никаких агрегатных переходов с ними не происходит

Частные случаи теплообмена

1. В воду комнатной температуры бросили ком снега, содержащий некоторое количество воды, после чего установилась некоторая положительная температура	 Уравнение теплового баланса $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$ $c_в m_{в1}(t - t_{в1}) + c_в m_{в2}(t - 0) + \lambda m_л + c_в m_л(t - 0) = 0$
2. Для получения некоторой положительной температуры воды используют горячую воду и лед, имеющий отрицательную температуру	 Уравнение теплового баланса $Q_1 + Q_2 = 0$ $c_в m_в(t - t_в) + c_л m_л(0 - t_л) + \lambda m_л + c_в m_л(t - 0) = 0$
3. В воду комнатной температуры бросают раскаленное твердое тело, в результате часть воды испаряется	 Уравнение теплового баланса $Q_1 + Q_2 = 0$ $c_т m_т(100 - t_т) + c_в m_в(100 - t_в) + rm_п = 0$

4. Воду комнатной температуры нагревают до кипения, вводя пар при $t = 100$ °C	 Уравнение теплового баланса $Q_1 + Q_2 = 0$ $-rm_п + c_в m_в (100 - t_в) = 0$
5. Лед, имеющий температуру плавления, нагревают до положительной температуры, вводя пар при $t = 100$ °C	 Уравнение теплового баланса $Q_1 + Q_2 = 0$ $-rm_п + c_в m_п (t - t_{кип}) + \lambda m_л + c_в m_л (t - t_{пл}) = 0$

УПРАЖНЕНИЯ

1. В кастрюлю, где находится вода объемом 2 л при температуре 25 °C, долили 3 л кипятка. Какая температура воды установилась? **(70 °C)**

2. Ванну вместимостью 85 л необходимо заполнить водой, имеющей температуру 30 °C, используя воду при 80 °C и лед при температуре (–20 °C). Определите массу льда, который следует положить в ванну. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда 336 кДж/кг, а его удельная теплоемкость 2100 Дж/(кг · °C). **(25 кг)**

3. В сосуд, содержащий 8 кг воды при температуре 15 °C, положили лед, имеющий температуру (–40 °C). В результате теплообмена установилась температура (–3 °C). Определите массу льда. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда $3{,}3 \cdot 10^5$ Дж/кг, а его удельная теплоемкость 2100 Дж/(кг · °C). **(41,11 кг)**

4. В сосуд, содержащий 4,6 кг воды при 20 °C, бросают кусок стали массой 10 кг, нагретый до 500 °C. Вода нагревается до 100 °C, и

часть ее обращается в пар. Найдите массу образовавшегося пара. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · °С), удельная теплота парообразования $2{,}3 \cdot 10^6$ Дж/кг, удельная теплоемкость стали 460 Дж/(кг · °С). **(128 г)**

5. Для определения удельной теплоты плавления льда в сосуд с водой бросают кусочки тающего льда при непрерывном помешивании. Первоначально в сосуде находилось 300 г воды при температуре 20 °С. К моменту, когда лед перестал таять, масса воды увеличилась на 84 г. Определите по этим данным удельную теплоту плавления льда. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · °С). **(300 кДж/кг)**

6. В сосуд, содержащий 9 кг воды при 20 °С, вводят 1 кг пара при температуре 100 °С, который превращается в воду. Определите конечную температуру воды. Теплоемкость сосуда и потери теплоты не учитывайте. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · °С), а ее удельная теплота парообразования $2{,}1 \cdot 10^6$ Дж/кг. **(78 °С)**

7. В сосуд, содержащий 1,5 кг воды при 15 °С, впускают водяной пар массой 200 г при температуре 100 °С. Какая температура установится после конденсации водяного пара? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · °С), а ее удельная теплота парообразования $2{,}3 \cdot 10^6$ Дж/кг. **(89,43 °С)**

Взаимные превращения механической и внутренней энергии

Совет: если в тексте задачи указан процент одного вида энергии, перешедшей в другой вид, то он указывается в виде десятичной дроби перед той энергией, которой тело обладало вначале.

Частные случаи проявления закона сохранения энергии

При неупругом ударе о стенку пуля нагрелась	$\frac{mv^2}{2} = cm\Delta t$
Тело падает с некоторой высоты и в момент падения нагревается	$mgh = cm\Delta t$
В результате того, что пуля пробивает стену, ее скорость уменьшается, 50% выделившейся при этом энергии идет на нагревание пули	$0{,}5\left(\frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2}\right) = cm\Delta t$

Летящая пуля при ударе о стенку расплавилась. Начальная температура пули меньше температуры плавления	$\frac{mv^2}{2} = cm\Delta t + \lambda m$
Капля воды, падая с некоторой высоты, в момент удара испарилась. Температура капли у поверхности земли меньше температуры кипения. На нагрев пошло 60% выделившейся механической энергии	$0,6mgh = cm\Delta t + rm$
Вследствие сгорания топлива ракета поднялась на некоторую высоту	$qm_{\text{топ}} = m_{\text{р}}gh$
Вследствие сгорания топлива снаряд приобрел некоторую скорость, и на это было затрачено 25% энергии	$0,25qm_{\text{топ}} = \frac{m_{\text{с}}v^2}{2}$

УПРАЖНЕНИЯ

1. Свинцовая дробинка, летящая со скоростью 100 м/с, попадает в доску и входит в нее, 52% кинетической энергии дробинки идет на ее нагревание. На сколько градусов нагрелась дробинка? Удельная теплоемкость свинца 130 Дж/(кг · К). **(20 К)**

2. Свинцовая пуля, летевшая со скоростью 500 м/с, пробила стенку. Определите, на сколько нагрелась пуля, если после стенки ее скорость снизилась до 400 м/с. Считайте, что на нагревание пошло 50% выделившейся теплоты. Удельная теплоемкость свинца 130 Дж/(кг · К). **(173 К)**

3. На сколько градусов температура воды у основания водопада высотой 20 м больше, чем у вершины? Считайте, что вся механическая энергия идет на нагревание воды. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · К). **(0,048 К)**

4. С какой наименьшей высоты должны были свободно падать дождевые капли, чтобы при ударе о землю от них не осталось бы «мокрого места»? В момент падения на землю температура капель 20 °С. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · °С), а удельная теплота парообразования 2,26 МДж/кг. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения считайте постоянным. **(259,6 км)**

5. При какой скорости пуля из свинца полностью расплавится при ударе о стенку, если 80% ее энергии будет затрачено на нагревание пули? Начальная температура пули 27 °С, температура плавления свинца 327 °С, удельная теплоемкость 130 Дж/(кг · К), удельная теплота плавления 25 кДж/кг. **(400 м/с)**

6. Чему равна скорость пули массой 12 г, если при выстреле сгорает 2,4 г пороха? Удельная теплота сгорания пороха $3{,}8 \cdot 10^6$ Дж/кг, КПД карабина 25%. **(616 м/с)**

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{E_{\text{полезн}}}{W_{\text{затрач}}} \cdot 100\%;$$

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затрач}}} \cdot 100\%, \text{ или } \eta = \frac{N_{\text{полезн}}}{P_{\text{потреб}}} \cdot 100\%.$$

Примеры КПД

Устройство	**Полезная энергия (работа), затраченная энергия (полная работа)**	**КПД**
Электронагреватель, электроплитка, электрочайник, кипятильник	$Q_{\text{полезн}} = cm\Delta t$ $(Q_{\text{полезн}} = cm\Delta t + rm)$ $W_{\text{затр}} = P \cdot t$	$\eta = \frac{cm\Delta t}{Pt} \cdot 100\%$
Газовая горелка, паровая турбина, спиртовка, плавильная печь	$Q_{\text{полезн}} = cm\Delta t$ $Q_{\text{затр}} = qm_{\text{топ}}$	$\eta = \frac{cm\Delta t}{qm_{\text{топ}}} \cdot 100\%$
Двигатель автомобиля, самолета	$A_{\text{полезн}} = Nt = N\frac{s}{v}$ $Q_{\text{затр}} = qm_{\text{топ}}$	$\eta = \frac{Ns}{vqm_{\text{топ}}} \cdot 100\%$
Ружье с пороховым зарядом, пушка	$E_{\text{полезн}} = \frac{mv^2}{2}$ $Q_{\text{затр}} = qm_{\text{пор}}$	$\eta = \frac{mv^2}{2qm_{\text{пор}}} \cdot 100\%$

Учтите: если в задаче указано *время*, в течение которого происходит один тепловой процесс, а спрашивают о времени протекания другого, то считайте, что мощность нагревателя или холодильника постоянна:

$$\frac{Q_1}{t_1} = \frac{Q_2}{t_2}.$$

УПРАЖНЕНИЯ

1. Для нагревания на электроплитке некоторого количества воды от 20 до 100 °С потребовалась 21 мин. Сколько времени после этого необходимо для полного испарения воды? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · °С), удельная теплота парообразования 2,24 МДж/кг. **(140 мин)**

2. Сосуд с водой нагревают на электроплитке от 20 °С до кипения за 20 мин. Сколько времени потребуется на то, чтобы 42% воды обратить в пар? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · °С), удельная теплота парообразования 2,2 МДж/кг. **(55 мин)**

3. В электрический кофейник налили воду объемом 0,16 л при температуре 30 °С и включили нагреватель. Через какое время после включения выкипит вся вода, если мощность нагревателя 1 кВт, КПД нагревателя 0,8? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг · °С). Удельная теплота парообразования воды 2256 кДж/кг. **(510 с)**

Внутренняя энергия идеального газа

Внутренняя энергия идеального газа представляет собой сумму только кинетической энергии всех молекул, а потенциальной энергией взаимодействия можно пренебречь:

$$U = \sum E_{k0} = NE_{k0} = \frac{mN_A}{M} \cdot \frac{ikT}{2} = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} RT = \frac{i}{2} \nu RT = \frac{i}{2} pV,$$

где i – степень свободы: $i = 3$ для одноатомного (или идеального) газа, $i = 5$ для двухатомного газа, $i = 6$ для трехатомного газа и больше.

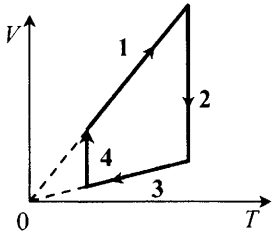
Числом степеней свободы механической системы называют количество независимых величин, с помощью которых может быть задано положение системы.

Изменение внутренней энергии идеального газа

Основная формула	$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} R\Delta T = \frac{3}{2} \nu R\Delta T = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1)$
Изотермический процесс	*Запомните*: $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = 0$
Изобарное расширение	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}(pV_2 - pV_1) = \frac{3}{2} p\Delta V$
Изохорное увеличение давления	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}(p_2 V - p_1 V) = \frac{3}{2} V\Delta p$
Произвольный процесс	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1)$

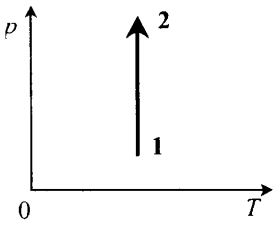
ЗАДАЧИ

15. На рисунке показан график циклического процесса, проведенного с идеальным газом. На каком из участков внутренняя энергия газа уменьшалась?



Ответ: ____

16. Идеальный одноатомный газ переходит из состояния 1 в состояние 2 (см. диаграмму). Масса газа не меняется. Как изменяются при этом следующие величины: объем газа и его внутренняя энергия?



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) объем газа	1) увеличивается
Б) внутренняя энергия	2) уменьшается
	3) не изменяется

Ответ:

А	Б

17. Объем сосуда с идеальным газом уменьшили вдвое, выпустив половину молекул газа и поддерживая температуру газа в сосуде постоянной. Как изменились в результате этого плотность газа и его внутренняя энергия?

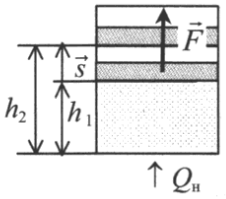
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) плотность	1) увеличилась
Б) внутренняя энергия	2) уменьшилась
	3) не изменилась

Ответ:

А	Б

Работа идеального газа

Работа идеального газа. Если газ, находящийся под поршнем, нагреть, то, расширяясь, он поднимет поршень, т.е. совершит механическую работу.



Изобарное расширение газа

$$A = Fs\cos\alpha;\ F = pS;$$

$$s = h_2 - h_1;\ \cos\alpha = 1,\ \vec{F} \uparrow\uparrow \vec{s};$$

$$A' = p(V_2 - V_1) = p\Delta V > 0.$$

Помните: знак работы определяется только знаком $\cos\alpha$.

Изобарное сжатие газа

$$A' = p(V_2 - V_1) = p\Delta V < 0.$$

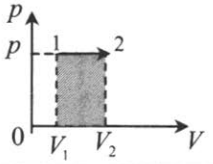
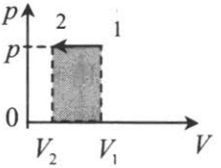
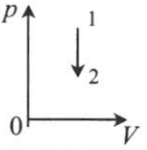
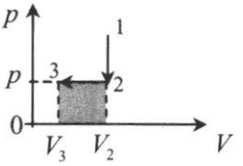
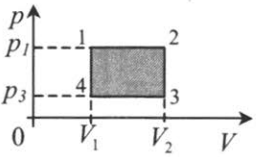
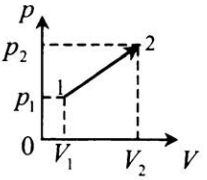
Изобарное нагревание газа

$$A' = \nu R\Delta T = \nu R(T_2 - T_1) = \frac{m}{M}R\Delta T.$$

Запомните: в изохорном процессе $\Delta V = 0,\ A' = 0$.

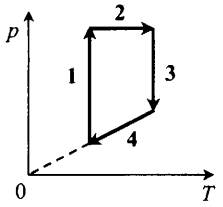
Геометрический смысл работы в термодинамике. В термодинамике для нахождения работы можно вычислить площадь фигуры под графиком в осях (p, V).

Примеры графических задач

Изобарное расширение: $A' = p(V_2 - V_1)$ $A' > 0$	
Изобарное сжатие: $A' = p(V_2 - V_1)$ $A' < 0$	
Изохорное охлаждение: $V = \text{const}$ $A' = 0$	
Изохорное охлаждение и изобарное сжатие: 1–2: $A' = 0$ 2–3: $A' = p\Delta V < 0$	
Замкнутый цикл: 1–2: $A' > 0$; 2–3: $A' = 0$ 3–4: $A' < 0$; 4–1: $A' = 0$ $A' = (p_1 - p_3)(V_2 - V_1)$	
Произвольный процесс: $A' = \frac{p_1 + p_2}{2}(V_2 - V_1)$	

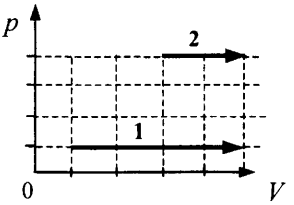
ЗАДАЧИ

18. На графике изображен цикл с идеальным газом неизменной массы. На каком участке графика работа равна нулю?



Ответ: ____

19. На pV-диаграмме показаны два процесса, проведенные с одним и тем же количеством газообразного неона. Определите отношение работ A_2 / A_1 в этих процессах.



Ответ: ____

Первое начало термодинамики

Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии в тепловых процессах): *внутренняя энергия идеального газа изменяется двумя способами: за счет теплопередачи или при совершении работы*

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

где $+\Delta U$ — внутренняя энергия газа увеличивается,

$-\Delta U$ — внутренняя энергия газа уменьшается,

$+Q$ — газ нагревают, газу передают количество теплоты,

$-Q$ — газ охлаждается, газ отдает тепло окружающей среде,

$+A'$ — газ сжимает внешняя сила,

$-A'$ — газ расширяется, газ совершает работу.

Учтите, что знак перед работой показывает, **как** процесс совершения работы влияет на изменение внутренней энергии газа.

УПРАЖНЕНИЯ

1. В некотором процессе внутренняя энергия газа уменьшилась на 300 Дж, а газ совершил работу 500 Дж. Какое количество теплоты было сообщено газу? **(200 Дж)**

2. В некотором процессе газу было сообщено количество теплоты 900 Дж. Газ совершил работу 500 Дж. Как изменилась внутренняя энергия газа? **(Увеличилась на 400 Дж)**

3. При передаче газу количества теплоты 300 Дж его внутренняя энергия уменьшилась на 100 Дж. Какую работу совершил газ? **(400 Дж)**

4. Идеальный газ отдал количество теплоты 600 Дж, при этом его внутренняя энергия увеличилась на 200 Дж. Чему равна работа, совершенная над газом? **(800 Дж)**

5. Внешние силы совершили над газом работу 500 Дж, при этом внутренняя энергия уменьшилась на 200 Дж. Определите количество теплоты, отданное газом. **(700 Дж)**

От чего зависят физические величины, входящие в первое начало термодинамики

Изменение внутренней энергии — от изменения температуры:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T .$$

Работа газа — от изменения объема:

$$A' = p\Delta V .$$

Первое начало термодинамики для изопроцессов

Изотермический (T = const)	$\Delta U = 0,\ Q = A'$
Изохорный (V = const)	$A' = 0\,,\ \Delta U = Q$
Изобарное расширение газа (p = const)	$\Delta U = Q - p\Delta V$ $\Delta U = Q - \nu R\Delta T$
Адиабатный (Q = 0) (или теплоизолированная система)	$Q = 0,\ \Delta U = A'$

ЗАДАЧИ

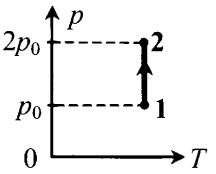
20. Установите соответствие между описанными в первом столбце особенностями применения первого закона термодинамики и названием изопроцесса.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРВОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ	НАЗВАНИЕ ПРОЦЕССА
А) все переданное газу количество теплоты идет на совершение работы, а внутренняя энергия газа остается без изменения	1) изотермический 2) изобарный 3) изохорный 4) адиабатный
Б) все переданное газу количество теплоты идет на изменение внутренней энергии газа	

Ответ:

А	Б

21. На pT-диаграмме (см. рисунок) показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа. Газ отдает 50 кДж теплоты. Определите работу внешних сил.

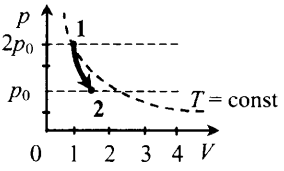


Ответ: ____ кДж

22. Идеальный одноатомный газ находится в сосуде с жесткими стенками объемом 0,6 м^3. При нагревании его внутренняя энергия увеличилась на 18 кДж. На сколько возросло давление газа?

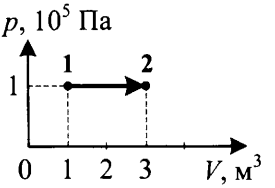
Ответ: ____ кПа

23. На рисунке представлен график зависимости давления идеального одноатомного газа от объема при адиабатном расширении. Газ совершает работу, равную 30 кДж. На сколько уменьшилась при этом внутренняя энергия газа?



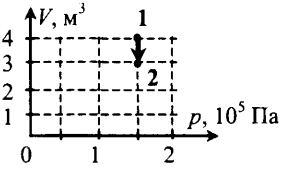
Ответ: ____ кДж

24. На рисунке приведен график зависимости давления одноатомного идеального газа от его объема. Внутренняя энергия газа увеличилась на 300 кДж. Какое количество теплоты сообщено газу?



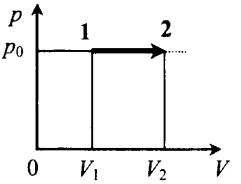
Ответ: ____ кДж

25. Идеальный одноатомный газ совершает переход из состояния 1 в состояние 2 (см. рисунок). Какое количество теплоты было отведено от системы в этом процессе?



Ответ: ____ кДж

26. Идеальный одноатомный газ изобарно расширяется, переходя из состояния 1 в состояние 2. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) изменение внутренней энергии при переходе из состояния 1 в состояние 2

Б) количество теплоты, полученное при переходе из состояния 1 в состояние 2

ФОРМУЛЫ

1) $p_0(V_2 - V_1)$

2) $\frac{1}{2}p_0(V_2 - V_1)$

3) $\frac{3}{2}p_0(V_2 - V_1)$

4) $\frac{5}{2}p_0(V_2 - V_1)$

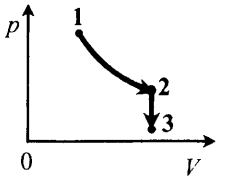
Ответ:

А	Б

Графические задачи на первое начало термодинамики

Задача. Один моль идеального одноатомного газа сначала изотермически расширился (T_1 = 300 К). Затем газ охладили, понизив

давление в 3 раза (см. рисунок). Какое количество теплоты отдал газ на участке 2–3?



Алгоритм решения

1. Определить температуры для всех указанных точек, учитывая графики процессов, масштаб и условие задачи.

$$T_1 = T_2 = 300 \text{ К}; \; T_3 = 100 \text{ К}.$$

2. Определить, к какому изопроцессу относится тот участок графика, о котором спрашивают в задаче.

2–3 *изохорный.*

3. Записать для него первое начало термодинамики.

В данном процессе:

$$\Delta U = Q.$$

4. Учитывая характер изменения величин, правильно расставить знаки: $-\Delta U = -Q$.

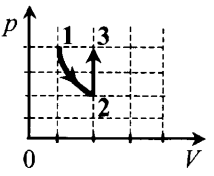
5. Подставляя в первое начало термодинамики формулы для расчета изменения внутренней энергии: $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R \Delta T$ и работы газа: $A' = p\Delta V$ ($A' = \nu R \Delta T$), решить задачу.

В данном случае процесс изохорный, и работа равна нулю, поэтому

$$Q_{23} = \frac{3}{2}\nu R \Delta T_{23} = \frac{3}{2} \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8{,}31 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 200 \text{ К} = 2493 \text{ Дж}.$$

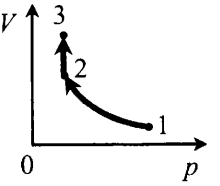
ЗАДАЧИ

27. Над идеальным одноатомным газом в количестве вещества 2 моль совершили процесс 1–2–3 (см. рисунок). Температура газа в состоянии 1 равна 280 К, участок 1–2 является изотермой. Какое количество теплоты было передано газу на участке 2–3? Ответ округлите до десятых.



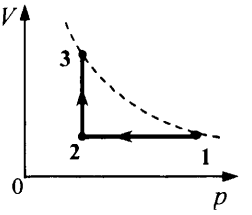
Ответ: ____ Дж

28. Идеальный одноатомный газ в количестве 2 моль сначала изотермически расширился (T_1 = 400 К). Затем газ изобарно нагрели, повысив температуру в 2 раза (см. рисунок). Какое количество теплоты получил газ на участке 2–3?



Ответ: ____ Дж

29. 10 моль идеального одноатомного газа охладили, уменьшив давление в 3 раза. Затем газ нагрели до первоначальной температуры 300 К (см. рисунок). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 2–3?



Ответ: ____ Дж

Тепловые машины

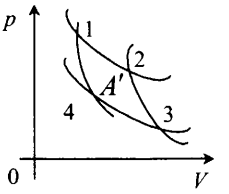
Тепловые машины — устройства, в которых за счет внутренней энергии топлива совершается механическая работа. Чтобы тепловая машина работала циклически, необходимо, чтобы часть энергии, полученной от нагревателя, она отдавала холодильнику.

Второе начало термодинамики: *в циклически действующем тепловом двигателе невозможно преобразовать все количество теплоты, полученное от нагревателя, в механическую работу.*

Цикл Карно происходит с идеальным газом.

График цикла Карно состоит из двух адиабат и двух изотерм:

1–2 — изотермическое расширение
2–3 — адиабатное расширение
3–4 — изотермическое сжатие
4–1 — адиабатное сжатие



Максимальный КПД соответствует циклу Карно:

$$\eta = \frac{Q_н - Q_х}{Q_н} 100\% = \frac{Q_н - P_х t}{Q_н} 100\%,$$

$$\eta = \frac{A'}{Q_н} 100\%,$$

$$\eta = \frac{Nt}{Q_н} 100\%,$$

$$\eta = \frac{A'}{A' + Q_х} 100\%,$$

$$\eta = \frac{T_н - T_х}{T_н} 100\%,$$

где $Q_н$ (Дж) — количество теплоты, полученное от нагревателя (полученное количество теплоты); $Q_х$ (Дж) — количество теплоты, отданное холодильнику (отданное количество теплоты); A' (Дж) — работа, совершенная газом; N (Вт) — полезная мощность; t (с) — время; $T_н$ (К) — температура нагревателя; $T_х$ (К) — температура холодильника.

Учтите: температуру следует выражать **только** в кельвинах (К) и КПД не бывает больше 100%.

ЗАДАЧИ

30. Рабочее тело тепловой машины получило 70 кДж теплоты. При этом холодильнику передано 52,5 кДж теплоты. Определите КПД такой машины.

Ответ: ____%

31. Тепловая машина с КПД 60% за цикл работы отдает холодильнику количество теплоты, равное 100 Дж. Какое количество теплоты за цикл получает машина от нагревателя?

Ответ: ____ Дж

32. Тепловая машина с КПД 75% за цикл работы получает от нагревателя количество теплоты, равное 60 Дж. Какую полезную работу машина совершает за один цикл?

Ответ: ____ Дж

33. Тепловая машина с КПД 20% за цикл работы отдает холодильнику количество теплоты, равное 80 Дж. Какую полезную работу машина совершает за цикл?

Ответ: ____ Дж

34. КПД идеального теплового двигателя 30%. Какова температура нагревателя, если температура холодильника 20 °С? Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ К

35. Температура струи, выходящей из сопла ракетного двигателя, равна 1000 К. КПД этого двигателя теоретически может достигать значения 70%. Чему равна температура в его камере сгорания? Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ К

36. Температура нагревателя идеального теплового двигателя Карно 227 °С, а температура холодильника 27 °С. Рабочее тело двигателя совершает за цикл работу, равную 10 кДж. Какое количество теплоты получает рабочее тело от нагревателя за один цикл?

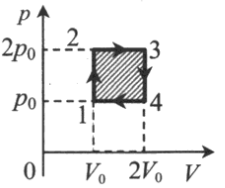
Ответ: ____ кДж

37. Тепловая машина имеет КПД 25%. Средняя мощность передачи теплоты холодильнику в ходе ее работы составляет 3 кВт. Какое количество теплоты получает рабочее тело машины от нагревателя за 10 с?

Ответ: ____ кДж

Алгоритм решения задач на определение КПД теплового процесса

Задача. На $p-V$-диаграмме изображен цикл, проводимый с одноатомным идеальным газом. Определите КПД этого цикла.



1. Определить работу газа.

Если тепловой процесс представлен в осях (p, V), то можно определить работу, вычислив площадь фигуры, ограниченной замкнутым циклом:

$$A' = p_0 V_0 .$$

Учтите: если тепловой процесс представлен в других осях координат, то следует сначала перестроить его в осях (p, V) и только потом определять работу.

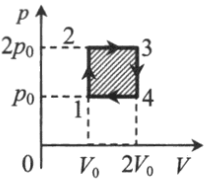
2. Выяснить, на каких этапах повышается температура газа. Именно здесь газ получает энергию:

1–2: $V = \text{const}, p \uparrow, T \uparrow$

2–3: $p = \text{const}, V \uparrow, T \uparrow$

3–4: $V = \text{const}, p \downarrow, T \downarrow$

4–1: $p = \text{const}, V \downarrow, T \downarrow$



Вывод: газ получает энергию только на первом и втором этапах.

3. Определить с помощью первого начала термодинамики количество теплоты, полученное газом:

1–2: $V = \text{const}$, $A'_{12} = 0$,

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2}\Delta pV = \frac{3}{2}p_0V_0 = 1,5p_0V_0$$

2–3: $p = \text{const}$,

$$\Delta U_{23} = Q_{23} - A'_{23}\,;\ \Delta U_{23} = \frac{3}{2}p\Delta V = \frac{3}{2}2p_0V_0 = 3p_0V_0$$

$$A'_{23} = p\Delta V = 2p_0V_0\,;\ Q_{23} = 3p_0V_0 + 2p_0V_0 = 5p_0V_0$$

Общее полученное количество теплоты

$$Q_{\text{получ.}} = Q_{12} + Q_{23} = 6,5p_0V_0\,.$$

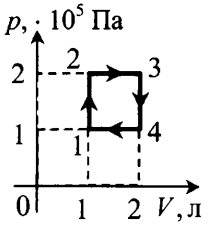
4. Вычислить КПД, используя основную формулу:

$$\eta = \frac{A'}{Q_{\text{получ.}}} \cdot 100\%$$

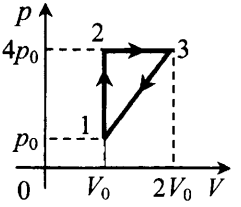
$$\eta = \frac{p_0V_0}{6,5p_0V_0}100\% = 15,4\%\,.$$

Упражнения. Определите КПД теплового процесса.

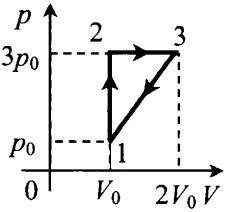
1.



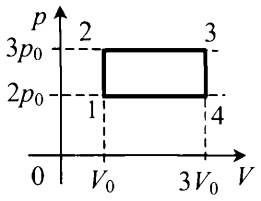
2.



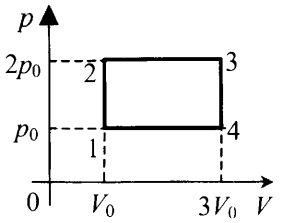
3.



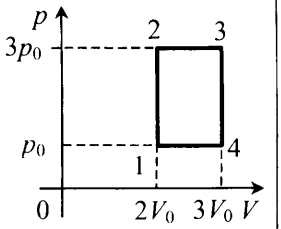
4.



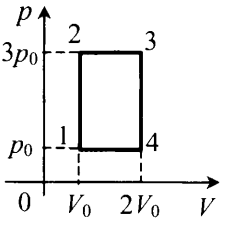
5.



6.

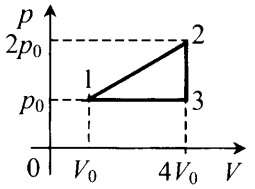


7.

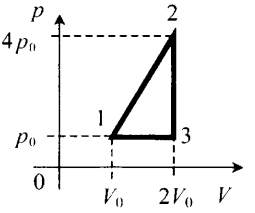


8. Идеальный одноатомный газ совершает замкнутый цикл, состоящий из двух изохорных и двух изобарных процессов. При изохорном нагревании давление газа увеличивается в 2 раза, а при изобарном нагревании объем увеличивается на 70%. Найдите КПД (в процентах) цикла.

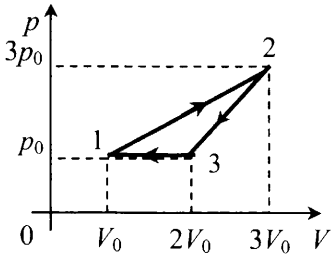
9.



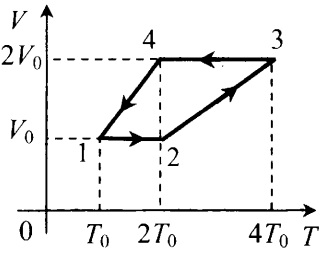
10.



11.



12.



Ответы: **1.** 15,38%. **2.** 10,34%. **3.** 9,52%. **4.** 12,12%. **5.** 17,39%. **6.** 14,81%. **7.** 19,05%. **8.** 14%. **9.** 10%. **10.** 11,54%. **11.** 6,25%. **12.** 15,38%.

8. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электрический заряд. Закон сохранения заряда. Электрическое поле

Электростатика изучает неподвижные заряды.

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

Электрический заряд q (Кл) определяет способность тел участвовать в электромагнитных взаимодействиях. В природе существуют два вида зарядов, которые условно назвали *положительными и отрицательными.* Одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются.

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

$$\Sigma q_i = \text{const}\,.$$

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

Экспериментально доказано, что заряды можно делить, но до определенного предела. Носитель наименьшего электрического заряда — отрицательно заряженный *электрон:*

$$q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{Кл};\ m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\text{кг}\,.$$

Модуль любого заряда кратен заряду электрона:

$$q = Nq_e\,,$$

где $N = q/q_e$ — избыток электронов.

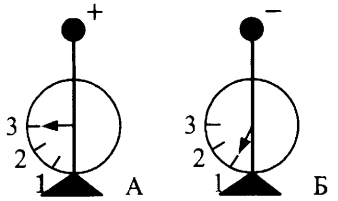
Учтите: в процессе электризации от одного тела к другому переходят **только** электроны. Если у тела избыток электронов, то оно заряжено отрицательно, а если недостаток, то — положительно. *Внимание:* заряженные тела притягивают к себе нейтральные тела и тела с противоположным зарядом. Отталкивание наблюдается **только** между одноименно заряженными телами.

ЗАДАЧИ

1. На двух одинаковых металлических шарах находятся положительный заряд 7 нКл и отрицательный заряд 1 нКл. Каким станет заряд на каждом шаре при соприкосновении шаров?

Ответ: ____ нКл

2. На рисунке изображены два одинаковых электрометра, шары которых имеют заряды противоположных знаков. Какими станут показания электрометров, если их шары соединить проволокой?



Ответ: ____

3. Пылинка, имеющая положительный заряд $+e$, потеряла электрон. Каким стал заряд пылинки, выраженный в единицах элементарного заряда?

Ответ: ____

4. От капли, имеющей электрический заряд $-2e$, отделилась капля с зарядом $+e$. Каков модуль электрического заряда оставшейся части капли, выраженный в единицах элементарного заряда?

Ответ: ____

5. Цинковая пластина, имеющая отрицательный заряд $-12e$, при освещении потеряла четыре электрона. Во сколько раз уменьшился заряд пластины?

Ответ: в ____ раза

6. Какой заряд можно было бы получить на алюминиевой спице, отбирая по одному электрону от каждого атома алюминия? Считать объем спицы $V = 10^{-10}$ м^3; плотность алюминия $\rho = 2700$ кг/м^3 и его молярную массу $M = 0{,}027$ кг/моль. Ответ приведите с точностью до целых.

Ответ: ____ Кл

Вокруг заряженных тел существует особая среда — **электрическое поле**. Именно это поле является посредником в передаче электрического взаимодействия.

Свойства электрического поля:

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

Закон Кулона

Закон Кулона — основной закон электростатики — был открыт экспериментально в 1785 г.: *два неподвижных точечных заряда в вакууме взаимодействуют друг с другом с силой, прямо пропорциональной произведению модулей зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними*:

$$F_{\text{К}} = \frac{k|q_1| \cdot |q_2|}{r^2},$$

где $|q_1|$ (Кл) и $|q_2|$ (Кл) — модули зарядов, r (м) — расстояние между зарядами, k — коэффициент пропорциональности, который численно равен силе взаимодействия между двумя точечными зарядами по 1 Кл, находящимися на расстоянии 1 м друг от друга:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2;$$

$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Кл^2/(Н $\cdot$ м^2) — электрическая постоянная.

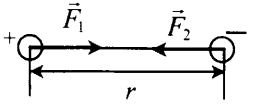
Закон Кулона в среде:

$$F_{\text{К}} = \frac{k|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon r^2},$$

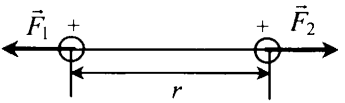
где ε — диэлектрическая проницаемость (табличная величина, показывающая, во сколько раз электрическое взаимодействие в среде уменьшается по сравнению с вакуумом).

Направление силы Кулона зависит от знаков зарядов.

Взаимное притяжение разноименных зарядов:



Взаимное отталкивание одноименных зарядов:



Подсказки к задачам

Задачи	*Подсказки*
1. Шарик, имеющий заряд q, приводят в соприкосновение с таким же по размеру, но не заряженным шариком. Затем шарики разводят на расстояние r. Определите силу взаимодействия шариков. **Ответ:** $F = \frac{kq^2}{4r^2}$	*Учтите:* при соприкосновении одинаковых проводящих шариков, один из которых заряжен, заряд между шариками поделится поровну: $q_1' = q_2' = \frac{q}{2}$
2. Два одинаковых по размеру металлических шарика имеют заряды $+q_1$ и $-q_2$. Шарики привели в соприкосновение и развели на некоторое расстояние r, после чего сила их взаимодействия оказалась равна F. Определите расстояние r. **Ответ:** $r = \left\|\frac{q_1 - q_2}{2}\right\| \sqrt{\frac{k}{F}}$	*Учтите:* при соприкосновении одинаковых проводящих шариков заряды складываются (с учетом знаков) и делятся поровну. Модули зарядов двух шариков: $q_1' = q_2' = \frac{\|q_1 \pm q_2\|}{2}$

УПРАЖНЕНИЯ

1. Два маленьких одинаковых металлических шарика заряжены положительными зарядами q и $5q$ и находятся на некотором расстоянии друг от друга. Шарики привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Как изменилась сила взаимодействия шариков? **(Увеличилась в 1,8 раза)**

2. Два маленьких одинаковых металлических шарика заряжены разноименными зарядами $+q$ и $-5q$ и находятся на некотором расстоянии друг от друга. Шарики привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Как изменился модуль силы взаимодействия шариков? **(Уменьшился в 1,25 раза)**

3. Как изменится модуль силы взаимодействия двух небольших металлических шариков одинакового диаметра, имеющих заряды $q_1 = +6$ нКл и $q_2 = -2$ нКл, если шары привести в соприкосновение и раздвинуть на прежнее расстояние? **(Уменьшится в 3 раза)**

4. Два одинаковых металлических шарика заряжены положительными зарядами q и $4q$. Центры шариков находятся на некотором расстоянии друг от друга. Шарики привели в соприкосновение. Во сколько раз необходимо увеличить расстояние между их центрами, чтобы сила взаимодействия осталась прежней? **(В 1,25 раза)**

Характеристики электрического поля

Напряженность $\vec{E}$ (Н/Кл = В/м) — силовая характеристика электрического поля, численно равная электрической силе, действующей на единичный положительный заряд:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_К}{q_0},$$

где q_0 — пробный заряд.

Направление вектора напряженности совпадает с направлением силы Кулона, если пробный заряд положительный: $q_0 > 0, \vec{E} \uparrow\uparrow \vec{F}_К$.

Силовые линии — линии, касательные к которым совпадают с вектором напряженности.

- Направление силовой линии совпадает с направлением вектора напряженности.
- Чем гуще силовые линии, тем сильнее электрическое поле.
- Линии напряженности начинаются на положительных зарядах, а заканчиваются на отрицательных или на бесконечности.

• Если силовые линии поля параллельны, то поле называют однородным.

Потенциальная энергия взаимодействия двух зарядов W (Дж)

В вакууме

$$W = \frac{kq_1q_2}{r},$$

в среде

$$W = \frac{kq_1q_2}{\varepsilon r}.$$

Знак потенциальной энергии зависит от знаков заряженных тел. $W_{12} < 0$ — энергия притяжения разноименно заряженных тел; $W_{12} > 0$ — энергия отталкивания одноименно заряженных тел.

Потенциал φ (В) — энергетическая характеристика электрического поля:

$$\varphi = \frac{W_p}{q_0},$$

где q_0 — пробный заряд.

Потенциал — скалярная физическая величина. Знак потенциала зависит от **знака заряда**, создающего поле.

Значение потенциала зависит от выбора нулевого уровня для отсчета потенциальной энергии, а разность потенциалов (напряжение U (В)) — от выбора нулевого уровня не зависит:

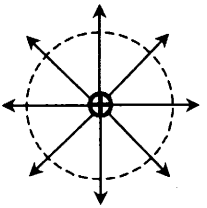
$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q},$$

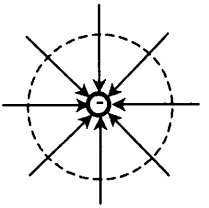
где A_{12} (Дж) — работа электрических сил по перемещению заряда из точки 1 в точку 2.

Эквипотенциальные поверхности — это поверхности, имеющие одинаковый потенциал. Они равноудалены от заряженных тел и обычно повторяют их форму. Эквипотенциальные поверхности перпендикулярны силовым линиям.

Электростатическое поле точечного заряда

Положительный заряд $+Q$ Отрицательный заряд $-Q$





Силовые линии: у положительного заряда силовые линии направлены по радиальным линиям от заряда; у отрицательного заряда — по радиальным линиям к заряду.

Модуль напряженности:

1) не зависит от значения пробного заряда q_0

$$E = \frac{F_K}{q_0} = \frac{kQq_0}{r^2 q_0} = \frac{kQ}{r^2},$$

где r — расстояние от точечного заряда до изучаемой точки;

2) в вакууме

$$E = \frac{kQ}{r^2};$$

3) в среде

$$E_{\text{ср.}} = \frac{E_{\text{вак}}}{\varepsilon} = \frac{kQ}{\varepsilon r^2}.$$

Сила Кулона

$$\vec{F} = q\vec{E}.$$

Потенциал:

1) не зависит от значения пробного заряда q_0

$$\varphi = \frac{W_p}{q_0} = \pm\frac{kQq_0}{rq_0} = \pm\frac{kQ}{r};$$

2) в вакууме

$$\varphi = \pm\frac{kQ}{r};$$

3) в среде

$$\varphi = \pm\frac{kQ}{\varepsilon r}.$$

Учтите: знак потенциала зависит от знака заряда, создающего поле.

Эквипотенциальные поверхности — концентрические сферы, центр которых совпадает с положением заряда.

Работа электрического поля по перемещению точечного заряда:

$$A_{12} = \pm q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

ЗАДАЧИ

7. Сила, действующая в поле на заряд в 20 мкКл, равна 4 Н. Вычислите напряженность поля в этой точке.

Ответ: ____ кН/Кл

8. Во сколько раз увеличится ускорение заряженной пылинки, движущейся в электрическом поле, если и заряд пылинки, и напряженность поля увеличить в 2 раза? Силу тяжести не учитывать.

Ответ: в ____ раз(а)

9. Во сколько раз увеличится модуль напряженности электрического поля, созданного точечным зарядом Q в некоторой точке, при увеличении значения этого заряда в 5 раз?

Ответ: в ____ раз(а)

10. С помощью пробного заряда q определили напряженность E_1 в некоторой точке электрического поля. Величину пробного заряда уменьшили в 5 раз и измерили напряженность в той же точке E_2. Определите отношение напряженностей E_1 / E_2.

Ответ: ____

11. Во сколько раз увеличится модуль напряженности электрического поля, созданного точечным зарядом, при уменьшении расстояния от него до точки измерения в 2 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

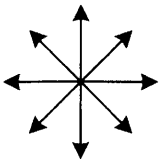
12. Установите соответствие между точечными электрическими зарядами и картиной силовых линий электростатического поля.

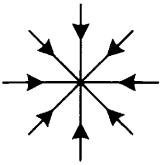
ЗАРЯД

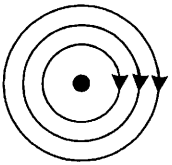
А) положительный заряд

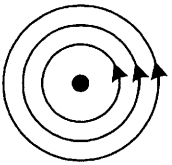
Б) отрицательный заряд

СИЛОВЫЕ ЛИНИИ

1) 

2) 

3) 

4) 

Ответ:

А	Б

Принцип суперпозиции сил и полей

Принцип суперпозиции сил. Результирующая (равнодействующая) сила равна векторной сумме всех сил, действующих на тело:

$$\vec{R} = \Sigma \overrightarrow{F_i}\text{, где } F_i = \frac{kq_i q}{r_i^2}.$$

Алгоритм решения задач на определение равнодействующей силы (точечный заряд находится в поле, созданном другими точечными зарядами).

1. Сделать чертеж, указать расположение всех зарядов и их знаки.

2. Выделить заряд, для которого определяют равнодействующую.

3. Пронумеровать остальные заряды.

4. Определить расстояния от выделенного заряда до всех остальных.

5. Построить все силы, действующие на интересующий нас заряд, при этом необходимо учитывать знаки зарядов, их модули и расстояния между зарядами.

6. Найти геометрическую (векторную) сумму всех сил, действующих на выделенный заряд.

7. Пользуясь формулами геометрии и законом Кулона, определить модуль равнодействующей.

Принцип суперпозиции полей. Если в некоторой точке пространства накладываются электрические поля от нескольких зарядов, то результирующая напряженность находится как векторная сумма напряженностей отдельных полей:

$$\vec{E} = \Sigma \vec{E}_i \text{, где } E_i = \frac{kq_i}{r_i^2}.$$

Совет. Векторное сложение напряженностей аналогично нахождению равнодействующей сил Кулона, только в интересующую точку пространства всегда помещают «+» пробный заряд. Чтобы найти результирующий потенциал в точке, необходимо *алгебраически* сложить потенциалы всех полей.

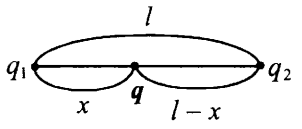
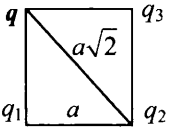
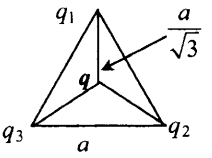
Учтите, что знак потенциала определяется знаком заряда, создающим электрическое поле:

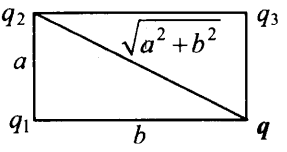
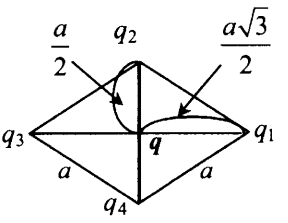
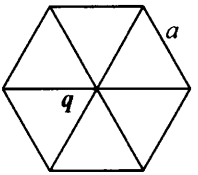
$$\varphi = \Sigma \varphi_i \text{, где } \varphi_i = \pm \frac{kq_i}{r_i}.$$

Для определения полной энергии надо сложить потенциальные энергии всех пар зарядов:

$$W_p = \Sigma W_{ip} \text{, где } W_{ip} = \pm \frac{kq_i q_n}{r_i}.$$

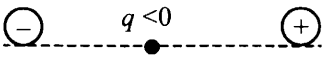
Примеры определения расстояний

Два заряда лежат на одной прямой на расстоянии l друг от друга. Изучаемый заряд лежит между ними: $r_1 = x$; $r_2 = l - x$	
Изучаемый заряд лежит в вершине квадрата со стороной a: $r_1 = r_3 = a$, $r_2 = a\sqrt{2}$	
Изучаемый заряд лежит в центре равностороннего треугольника со стороной a: $r_1 = r_2 = r_3 = \frac{a}{\sqrt{3}}$	

Изучаемый заряд лежит в вершине прямоугольника со сторонами a и b: $r_1 = b\,;\ r_2 = \sqrt{a^2 + b^2}\ ;\ r_3 = a$	
Изучаемый заряд лежит в точке пересечения диагоналей ромба со стороной a. Угол при вершине ромба 120°: $r_1 = r_3 = \frac{a\sqrt{3}}{2}\ ;\ r_2 = r_4 = \frac{a}{2}$	
Изучаемый заряд лежит в центре правильного шестиугольника со стороной a: $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r_5 = r_6 = a$	

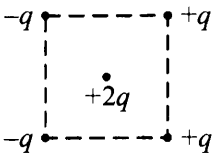
ЗАДАЧИ

13. Точечный отрицательный заряд q помещен между разноименно заряженными шариками (см. рисунок). Куда направлена (***вправо, влево, вверх, вниз***) равнодействующая кулоновских сил, действующих на заряд q?



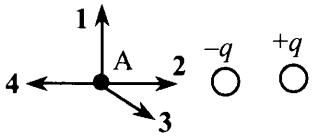
Ответ: ____

14. Как направлена (***вправо, влево, вверх, вниз***) кулоновская сила $\vec{F}$, действующая на положительный точечный электрический заряд $+2q$, помещенный в центр квадрата, в вершинах которого находятся заряды $+q$, $+q$, $-q$, $-q$?



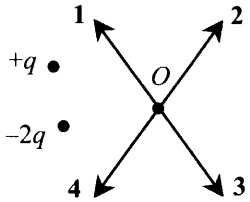
Ответ: ____

15. На рисунке представлено расположение двух неподвижных точечных электрических зарядов $-q$ и $+q$. Какая стрелка соответствует направлению вектора напряженности электрического поля этих зарядов в точке А?



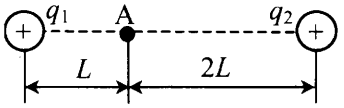
Ответ: ____

16. По какой из стрелок 1–4 направлен вектор напряженности электрического поля $\vec{E}$, созданного двумя разноименными неподвижными точечными зарядами, в точке O (см. рисунок)? Точка O равноудалена от зарядов.



Ответ: ____

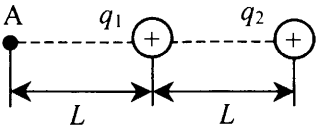
17. Два точечных положительных заряда $q_1 = 200$ нКл и $q_2 = 400$ нКл находятся в вакууме. Определите величину напряженности электрического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии L от первого заряда и на расстоянии $2L$ от второго заряда. L = 1,5 м.



Ответ: ____ В/м

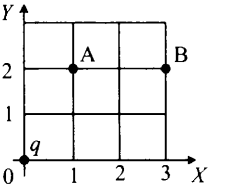
18. Два точечных положительных заряда $q_1 = 85$ нКл и $q_2 = 140$ нКл находятся в вакууме на расстоянии L = 2 м друг от друга. Определите величину напряженности электрического поля этих заря-

дов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии L от первого заряда (см. рисунок).



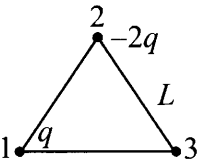
Ответ: ____ В/м

19. Точечный заряд q, помещенный в начало координат, создает в точке А электростатическое поле напряженностью $E_A = 65$ В/м. Какова напряженность E_B в точке В?



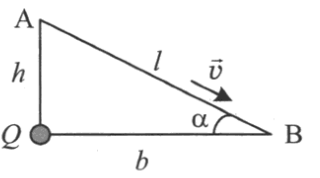
Ответ: ____ В/м

20. В двух вершинах (точках 1 и 2) равностороннего треугольника со стороной L помещены заряды q и $-2q$. Определите модуль вектора напряженности электрического поля в точке 3, являющейся третьей вершиной этого треугольника. Известно, что точечный заряд q создает на расстоянии L электрическое поле напряженностью $E = 10$ мВ/м. Ответ округлите до целых.



Ответ: ____ мВ/м

Подсказка к задаче

Задача	*Подсказка*
Маленький заряженный шарик массой m, имеющий заряд q, движется с высоты h по наклонной плоскости с углом наклона α. В вершине прямого угла, образованного высотой и горизонталью, находится неподвижный	*Закон сохранения энергии* $E_A = E_B$ 

заряд Q. Какова скорость шарика у основания наклонной плоскости v, если его начальная скорость равна нулю? Трением пренебречь. **Ответ:** $v = \sqrt{2gh + \frac{kqQ(1 - \operatorname{tg}\alpha)}{mh}}$	Полная энергия шарика с зарядом q в точке А: $E_A = mgh + \frac{kqQ}{h}$ В точке В: $E_B = \frac{mv^2}{2} + \frac{kqQ}{b}$, где $b = \frac{h}{\operatorname{tg}\alpha}$

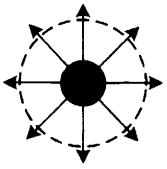
ЗАДАЧИ

21. Маленький заряженный шарик массой 50 г, имеющий заряд 1 мкКл, движется с высоты 0,5 м по наклонной плоскости с углом наклона 30°. В вершине прямого угла, образованного высотой и горизонталью, находится неподвижный заряд 7,4 мкКл. Какова скорость шарика у основания наклонной плоскости, если его начальная скорость равна нулю? Трением пренебречь. Ответ округлите до десятых.

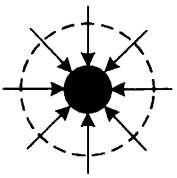
Ответ: ____ м/с

Электростатическое поле заряженной сферы

Положительно заряженная сфера $+Q$



Отрицательно заряженная сфера $-Q$



Силовые линии — радиальные линии, начинающиеся на положительно заряженной сфере, или радиальные линии, заканчивающиеся на отрицательно заряженной сфере.

Модуль напряженности:

1) внутри проводника ($r < R$)

$$E = 0;$$

2) на поверхности проводника ($r = R$)

$$E = \frac{kQ}{R^2},$$

где R — радиус сферы;

3) вне проводника ($r > R$)

$$E = \frac{kQ}{r^2} = \frac{kQ}{(R+a)^2},$$

где a — расстояние от поверхности сферы до изучаемой точки; r — расстояние от центра сферы до изучаемой точки.

Сила Кулона

$$\vec{F} = q\vec{E}.$$

Потенциал:

1) внутри проводника ($r < R$) и на поверхности проводника ($r = R$) одинаков

$$\varphi = \pm\frac{kQ}{R};$$

2) вне проводника ($r > R$)

$$\varphi = \pm\frac{kQ}{r} = \pm\frac{kQ}{R+a}.$$

ЗАДАЧИ

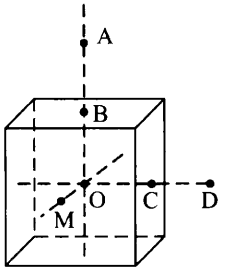
22. В точке А на поверхности равномерно заряженной сферы модуль напряженности ее электростатического поля равен $E_A > 0$. Чему равен модуль напряженности электростатического поля сферы в ее центре О и в точке В, лежащей на середине отрезка ОА? Установите соответствие между физическими величинами и их значениями.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ
А) Напряженность электростатического поля сферы в точке О	1) 0
	2) $E_A / 4$
Б) Напряженность электростатического поля сферы в точке В	3) $E_A / 2$
	4) $4E_A$

Ответ:

А	Б

23. На неподвижном проводящем уединенном кубике находится заряд Q. Точка O — центр кубика, точки B и C — центры его граней, AB = OB, CD = OC, OM = OB/2. Модуль напряженности электростатического поля заряда Q в точке A равен E_A. Чему равен модуль напряженности электростатического поля заряда Q в точке D и точке M? Установите соответствие между физическими величинами и их значениями.

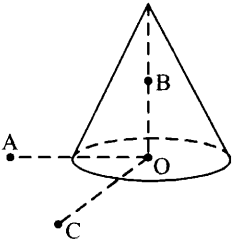


ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ
А) Модуль напряженности электростатического поля в точке D	1) 0
Б) Модуль напряженности электростатического поля в точке M	2) E_A
	3) $4E_A$
	4) $16E_A$

Ответ:

А	Б

24. На неподвижном проводящем уединенном конусе высотой H и радиусом $R = H/2$ находится заряд Q. Точка O — центр основания конуса, OA = OC = $2R$, OB = R, угол AOC прямой, отрезки OA и OC лежат в плоскости основания конуса. Модуль напряженности электростатического поля заряда Q в точке C равен E_C. Чему равен модуль напряженности электростатического поля заряда Q в точке A и точке B? Установите соответствие между физическими величинами и их значениями.

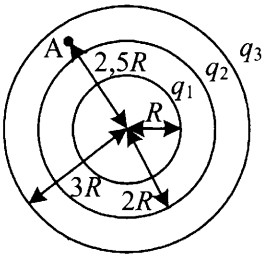


ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ
А) Модуль напряженности электростатического поля конуса в точке A	1) 0
Б) Модуль напряженности электростатического поля конуса в точке B	2) E_C
	3) $2E_C$
	4) $4E_C$

Ответ:

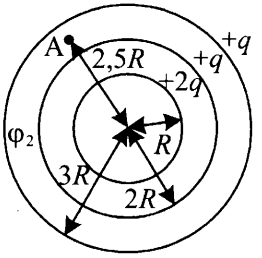
А	Б

25. Точечный заряд q создает на расстоянии R электрическое поле напряженностью $E_1 = 62{,}5$ В / м. Три концентрические сферы радиусами R, $2R$ и $3R$ несут равномерно распределенные по их поверхностям заряды $q_1 = +2q$, $q_2 = -q$ и $q_3 = +q$ соответственно. Чему равна напряженность поля в точке А, отстоящей от центра сфер на расстоянии $R_A = 2{,}5R$?



Ответ: ____ В/м

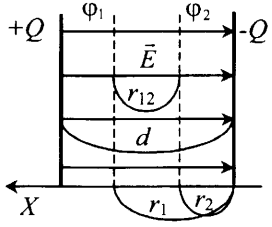
26. Точечный заряд q создает на расстоянии R электрическое поле с потенциалом $\varphi_1 = 100$ В. Три концентрические сферы радиусами R, $2R$ и $3R$ имеют равномерно распределенные по их поверхностям заряды $q_1 = +2q$, $q_2 = +q$, $q_3 = +q$ соответственно. Каков потенциал в точке А, отстоящей от центра сфер на расстоянии $R_A = 2{,}5R$? Ответ округлите до целых.



Ответ: ____ В

Однородное электростатическое поле

Электрическое поле сосредоточено между разноименно заряженными пластинами (обкладками конденсатора).



Силовые линии начинаются на положительно заряженной пластине, а заканчиваются на отрицательно заряженной. Силовые линии параллельны друг другу, т.е. поле однородно.

Напряженность:

$$\vec{E}.$$

Потенциал:

$$\varphi = Er.$$

Разность потенциалов:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Er_{12}.$$

Напряжение между пластинами:

$$U = Ed.$$

Эквипотенциальные поверхности — плоскости, параллельные заряженным пластинам.

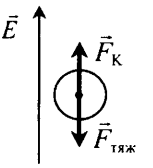
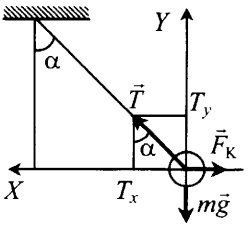
Сила Кулона:

$$F = qE = \frac{qU}{d}.$$

Ускорение силы Кулона (из второго закона Ньютона):

$$a = \frac{F_К}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}.$$

Подсказки к решению задач

1. Равновесие заряженного тела в электростатическом поле $F_{тяж} = F_К$, где $F_{тяж} = mg$; $F_К = qE = q\frac{U}{d}$	
2. Отклонение от вертикали нити с заряженным телом в горизонтальном электростатическом поле *Второй закон Ньютона в векторной форме*: $\vec{F}_К + m\vec{g} + \vec{T} = m\vec{a}$; $0X: T\sin\alpha - F_К = 0$ $0Y: T\cos\alpha - mg = 0$ $F_К = mg\,\mathrm{tg}\,\alpha$; $F_К = qE = q\frac{U}{d}$.	

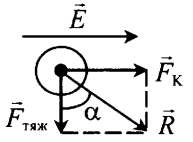
3. Направление траектории полого шарика массой m и зарядом q, который движется в горизонтальном электрическом поле напряженностью $\vec{E}$.

Учтите: направление траектории совпадает с направлением равнодействующей силы

$$\vec{R} = \vec{F}_{\text{К}} + m\vec{g}$$

Из рисунка видно, что

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_{\text{К}}}{F_{\text{тяж}}} = \frac{qE}{mg}$$



УПРАЖНЕНИЯ

1. Пылинка, имеющая положительный заряд 10^{-11} Кл и массу 10^{-6} кг, влетела в однородное электрическое поле вдоль его силовых линий с начальной скоростью 0,1 м/с и переместилась на расстояние 4 см. Какой стала скорость пылинки, если напряженность поля 10^{5} В/м? Действием силы тяжести пренебречь. **(0,3 м/с)**

2. В электрическом поле, вектор напряженности которого направлен вертикально вверх и равен по модулю 200 В/м, неподвижно «висит» пылинка, заряд которой 40 нКл. Чему равна масса пылинки? **(0,8 мг)**

3. Нить с подвешенным на ней маленьким заряженным шариком отклонилась на некоторый угол в электрическом поле, вектор напряженности которого направлен горизонтально и по модулю равен 2000 В/м. Заряд шарика 20 мкКл, его масса 5,6 г. Чему равен тангенс угла отклонения нити от вертикали? **(0,7)**

4. В электрическом поле, вектор напряженности которого направлен горизонтально и равен по модулю 1000 В/м, нить с подвешенным на ней маленьким заряженным шариком отклонилась на угол 45° от вертикали. Масса шарика 1,4 г. Чему равен заряд шарика? **(14 мкКл)**

5. На неизвестной планете для измерения ускорения свободного падения использовали заряженный шарик массой 1 г. Оказалось, что в горизонтальном электрическом поле напряженностью 2000 В/м нить с подвешенным на ней маленьким шариком отклонилась на 45° от вертикали. Заряд шарика 2,5 мкКл. Найдите по этим данным ускорение свободного падения на планете. **(5 м/с^2)**

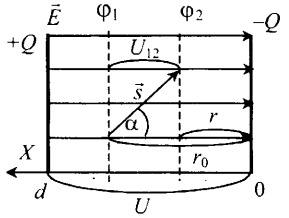
6. Полый шарик массой $m = 0,4$ г с зарядом $q = 8$ нКл движется в горизонтальном однородном электрическом поле, напряженность которого $E = 500$ кВ/м. Какой угол α образует с вертикалью траектория шарика, если его начальная скорость равна нулю? **(45^0)**

Работа однородного электрического поля

Механическая работа

$$A = Fs\cos\alpha,$$

где $F_К = qE = q\dfrac{U}{d}$ — сила Кулона; $s\cos\alpha = r_0 - r$ — проекция перемещения на силовую линию.



Основные формулы для расчета работы:

$$A = F_К s\cos\alpha = \pm qEs\cos\alpha,$$

$$A = \pm qE(r_0 - r) = qEr_0 - qEr,$$

$$A = \pm q\frac{U}{d}s\cos\alpha = \pm q\frac{U}{d}(r_0 - r),$$

где E (В/м; Н/Кл) — модуль напряженности электрического поля, U (В) — разность потенциалов (напряжение) между пластинами, d (м) — расстояние между пластинами, $\pm q$ (Кл) — заряд, переносимый полем, s (м) — модуль перемещения заряда, α — угол между силой Кулона и перемещением, r_0 (м) — начальное положение заряда, r (м) — конечное положение заряда.

Работа и разность потенциалов:

$$A = \pm q(\varphi_1 - \varphi_2) = \pm q U_{12},$$

где φ_1 (В) — начальный потенциал, φ_2 (В) — конечный потенциал, U_{12} (В) — напряжение между начальным и конечным положением заряда.

Помните: работа электростатического поля не зависит от вида траектории.

Работа и изменение кинетической энергии:

$$A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \Delta E_k .$$

Работа и изменение потенциальной энергии:

$$A = -(qEr - qEr_0) = -\Delta W_p .$$

Учитывайте знак переносимого заряда!

ЗАДАЧИ

27. В точке А потенциал электрического поля равен 200 В, потенциал в точке В равен 100 В. Какую работу совершают силы электрического поля при перемещении положительного заряда 5 мКл из точки А в точку В?

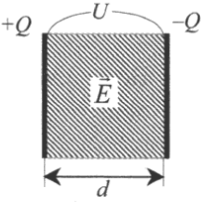
Ответ: ____ Дж

28. Заряженная пылинка движется между двумя одинаковыми заряженными вертикальными пластинами, расположенными напротив друг друга. Разность потенциалов между пластинами 500 В, масса пылинки столь мала, что силой тяжести можно пренебречь. Какую кинетическую энергию приобретает пылинка при перемещении от одной пластины до другой, если ее заряд 4 нКл?

Ответ: ____ мкДж

Конденсаторы

Конденсатор служит для накопления электрического заряда. Он представляет собой два проводника, разделенных слоем диэлектрика.



Плоский конденсатор — система двух разноименно заряженных пластин.

Разность потенциалов U (В) между обкладками конденсатора (напряжение между пластинами):

$$U = Ed,$$

где E (В/м) — напряженность однородного электрического поля, d (м) — расстояние между пластинами конденсатора.

Электроемкость конденсатора. Электроемкость плоского конденсатора C (Ф):

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d},$$

где $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Кл^2/(Н$\cdot$м^2); ε — диэлектрическая проницаемость среды, S (м^2) — площадь каждой пластины.

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

Электроемкость конденсатора, заряд и напряжение

$$C = \frac{Q}{U} \text{ или } C = \frac{q}{U}.$$

Помните: электроемкость конденсатора зависит только от параметров S, d, ε и не зависит от заряда Q (q) и напряжения U.

Энергия конденсатора $W_э$ (Дж):

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

Подсказки к задачам

Конденсатор отключен от источника	$q = q'$
Конденсатор подключен к источнику	$U = U'$
Количество теплоты и энергия конденсатора	$Q = \Delta W_э$

ЗАДАЧИ

29. Вычислите электроемкость плоского воздушного конденсатора с квадратными пластинами со стороной 10 см, расположенными на расстоянии 1 мм друг от друга. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ нФ

30. Во сколько раз увеличится электрическая емкость плоского конденсатора, если площадь пластин увеличить в 3 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

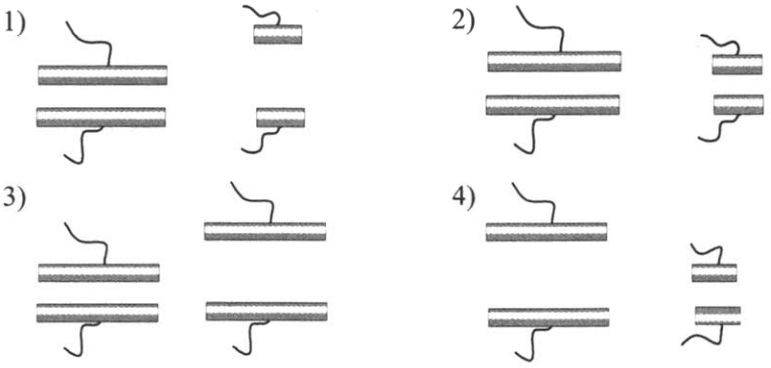
31. Во сколько раз уменьшится электроемкость плоского воздушного конденсатора, если расстояние между его пластинами увеличить в 2 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

32. Во сколько раз возрастет емкость плоского воздушного конденсатора, если площадь его обкладок увеличить в 2 раза, а расстояние между ними уменьшить в 2 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

33. Конденсатор состоит из двух круглых пластин, разделенных воздушным промежутком. Необходимо экспериментально обнаружить зависимость емкости конденсатора от расстояния между пластинами. Какую пару конденсаторов нужно использовать для этой цели?



Ответ: ____

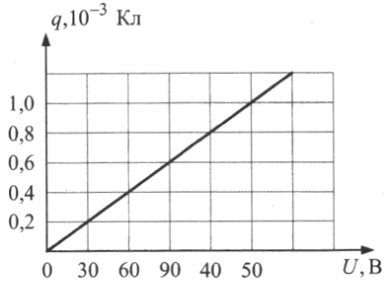
34. Электрический заряд на одной пластине конденсатора равен +2 Кл, на другой равен –2 Кл. Напряжение между пластинами равно 5000 В. Чему равна электрическая емкость конденсатора?

Ответ: ____ мкФ

35. Воздушный конденсатор подсоединен к источнику напряжения 24 В. Найдите напряженность электрического поля между обкладками конденсатора, расположенными на расстоянии 2 см друг от друга.

Ответ: ____ В/м

36. При исследовании зависимости заряда на обкладках конденсатора от приложенного напряжения был получен изображенный на рисунке график. Определите, чему равна емкость конденсатора.



Ответ: ____ мкФ

37. Плоский конденсатор зарядили и отключили от источника тока, а затем увеличили расстояние между пластинами. Что произойдет при этом с электроемкостью конденсатора и напряжением на обкладках?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) электроемкость	1) увеличится
Б) напряжение на обкладках	2) уменьшится
	3) не изменится

Ответ:

А	Б

38. Плоский конденсатор подключили к источнику тока, а затем пространство между пластинами конденсатора заполнили жидким диэлектриком. Что произойдет при этом с электроемкостью конденсатора и зарядом на обкладках конденсатора?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) электроемкость	1) увеличится
Б) заряд конденсатора	2) уменьшится
	3) не изменится

Ответ:

А	Б

39. Конденсатор электроемкостью 0,01 Ф заряжен до напряжения 20 В. Какой энергией обладает конденсатор?

Ответ: ____ Дж

40. Плоский конденсатор зарядили и отключили от источника тока. Во сколько раз увеличится энергия электрического поля внутри конденсатора, если увеличить в 2 раза расстояние между обкладками конденсатора? Расстояние между обкладками конденсатора мало как до, так и после увеличения расстояния между ними.

Ответ: в ____ раз(а)

41. Первый конденсатор емкостью $3C$ подключен к источнику с ЭДС $\mathcal{E}$, а второй — емкостью C подключен к источнику с ЭДС $3\mathcal{E}$. Определите отношение энергии электрического поля второго конденсатора к энергии электрического поля первого.

Ответ: ____

42. Заряженный до разности потенциалов 100 В конденсатор электроемкостью 1000 мкФ разряжают на резистор, опущенный в воду массой 10 г. На сколько градусов нагреется вода, если ее удельная теплоемкость 4200 Дж/(кг · К)? Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ К

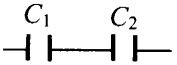
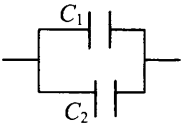
43. Плоский конденсатор зарядили и отключили от источника тока, а затем пространство между пластинами конденсатора заполнили жидким диэлектриком. Что произойдет при этом с электроемкостью конденсатора и энергией?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) электроемкость	1) увеличится
Б) энергия	2) уменьшится
	3) не изменится

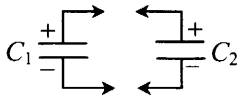
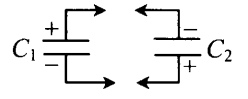
Ответ:

А	Б

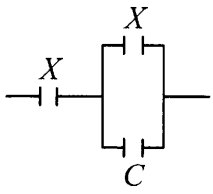
Соединения конденсаторов

	Последовательное соединение	**Параллельное соединение**
Схема		
Напряжение	$U = U_1 + U_2$	$U = U_1 = U_2$
Заряд	$q = q_1 = q_2$	$q = q_1 + q_2$
Электроемкость	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$	$C = C_1 + C_2$

Подсказки к задачам

Задачи	***Подсказки***
1. Два конденсатора, электроемкости которых C_1 и C_2, заряжены до напряжения U_1 и U_2. Найдите разность потенциалов после соединения конденсаторов одноименными полюсами.	Соединение конденсаторов одноименными полюсами  $q' = C_1U_1 + C_2U_2$; $C' = C_1 + C_2$ $U' = \frac{q'}{C'} = \frac{C_1U_1 + C_2U_2}{C_1 + C_2}$
2. Два конденсатора, электроемкости которых C_1 и C_2, заряжены до напряжения U_1 и U_2. Найдите разность потенциалов после соединения конденсаторов разноименными полюсами.	Соединение конденсаторов разноименными полюсами  $q' = C_1U_1 - C_2U_2$; $C' = C_1 + C_2$ $U' = \frac{q'}{C'} = \frac{C_1U_1 - C_2U_2}{C_1 + C_2}$

44. К конденсатору, электрическая емкость которого $C = 16$ пФ, подключают два одинаковых конденсатора емкостью X: один параллельно, а второй — последовательно (см. рисунок). Емкость образовавшейся батареи конденсаторов равна емкости C. Какова емкость X? Ответ округлите до целых.



Ответ: ____ пФ

45. Конденсатор, электрическая емкость которого $C_1 = 5$ мкФ, заряжен так, что разность потенциалов между его пластинами $U_1 = 120$ В. Второй конденсатор, электрическая емкость которого $C_2 = 7$ мкФ, имеет разность потенциалов между пластинами $U_2 = 240$ В. Одноименно заряженные пластины конденсаторов попарно соединили проводниками. Каков модуль разности потенциалов U между пластинами каждого конденсатора?

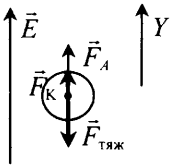
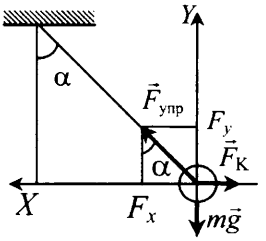
Ответ: ____ В

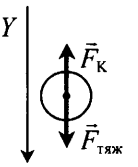
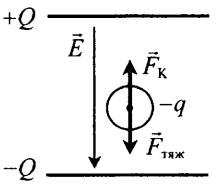
46. Конденсатор, электрическая емкость которого $C_1 = 5$ мкФ, заряжен так, что разность потенциалов между его пластинами $U_1 = 100$ В. Второй конденсатор, электрическая емкость которого $C_2 = 10$ мкФ, имеет разность потенциалов между пластинами $U_2 = 50$ В. Одноименно заряженные пластины конденсаторов попарно соединили проводниками. Чему равен модуль разности потенциалов U между пластинами каждого конденсатора? Ответ округлите до десятых.

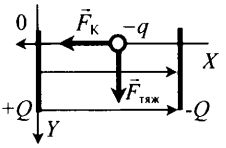
Ответ: ____ В

Заряженная частица в поле конденсатора

Подсказки к задачам

Задачи	*Подсказки*
1. Шарик, находящийся в масле плотностью ρ, «висит» в поле плоского конденсатора. Плотность вещества шарика $\rho_ш > \rho$, его радиус r, расстояние между обкладками конденсатора d. Каков заряд шарика, если электрическое поле направлено вверх, а разность потенциалов между обкладками U? **Ответ:** $q = \dfrac{4\pi r^3 g(\rho_ш - \rho)d}{3U}$	*Условие равновесия* $\vec{F}_{тяж} + \vec{F}_К + \vec{F}_А = 0$ $\rho_ш > \rho$, значит, $F_{тяж} > F_А$, тогда $\vec{F}_К \uparrow$ и заряд шарика $q > 0$  $0Y: F_К + F_А = F_{тяж}$, где $F_{тяж} = \rho_ш \cdot \dfrac{4}{3}\pi r^3 g$; $F_А = \rho \cdot \dfrac{4}{3}\pi r^3 g$; $F_К = \dfrac{qU}{d}$
2. Маленький шарик с зарядом q и массой m, подвешенный на невесомой нити с коэффициентом упругости k, находится между вертикальными пластинами воздушного конденсатора. Расстояние между обкладками конденсатора d. Какова разность потенциалов между обкладками конденсатора U, если удлинение нити Δl? **Ответ:** $U = \dfrac{d\sqrt{(k\Delta l)^2 - (mg)^2}}{q}$	 $0X: F_{упр}\sin\alpha - F_К = 0$ $0Y: F_{упр}\cos\alpha - mg = 0$ 1) $k\Delta l \sin\alpha = \dfrac{qU}{d}$ 2) $k\Delta l \cos\alpha = mg$ *Совет:* возведите в квадрат оба уравнения (1 и 2), сложите правые и левые части, чтобы избавиться от угла α.

Задачи	*Подсказки*
3. Пластины плоского конденсатора расположены горизонтально на расстоянии d друг от друга. Напряжение на пластинах конденсатора U. В пространстве между пластинами падает с постоянной скоростью капля жидкости. Масса капли m, ее заряд q. Определите расстояние между пластинами. Влиянием воздуха на движение капли пренебречь. **Ответ:** $d = \dfrac{qU}{mg}$	*Движение с постоянной скоростью* $\vec{F}_{тяж} + \vec{F}_К = 0$  $0Y: F_{тяж} - F_К = 0$, где $F_{тяж} = mg$; $F_К = \dfrac{qU}{d}$
4. Между двумя параллельными, горизонтально расположенными диэлектрическими пластинами создано однородное электрическое поле с напряженностью $\vec{E}$, направленное вертикально вниз. Между пластинами помещен шарик на расстоянии d от верхней пластины и b от нижней. Заряд шарика $-q$, масса m. Шарик освобождают, и он начинает двигаться. Через какой промежуток времени t шарик ударится об одну из пластин, если система находится в поле силы тяжести Земли? **Ответы:** 1) $t = \sqrt{\dfrac{2mb}{(mg - qE)}}$ 2) $t = \sqrt{\dfrac{2md}{(qE - mg)}}$	*Ускоренное движение по вертикали* $\vec{F}_{тяж} + \vec{F}_К = m\vec{a}$ В данной задаче $\vec{F}_К \uparrow\downarrow \vec{F}_{тяж}$  Сравните $F_{тяж}$ и $F_К$. 1) Если $F_{тяж} > F_К$, то $\vec{a} \downarrow$ и равно $a = \dfrac{mg - qE}{m}$; перемещение шарика $s = b$ 2) Если $F_{тяж} < F_К$, то $\vec{a} \uparrow$ и равно $a = \dfrac{qE - mg}{m}$; перемещение шарика $s = d$ *Повторение*: $s = \dfrac{at^2}{2}$, так как $\upsilon_0 = 0$

Задачи	*Подсказки*
5. Между двумя параллельными, вертикально расположенными диэлектрическими пластинами создано однородное электрическое поле, напряженность которого равна $\vec{E}$ и направлена слева направо. Между пластинами помещен шарик на расстоянии b от левой пластины и d от правой. Заряд шарика $-q$, масса m. Шарик освобождают, и он начинает двигаться. Найдите смещение шарика по вертикали Δh до удара об одну из пластин. Пластины имеют достаточно большой размер. **Ответы:** 1) $\Delta h = \dfrac{mgd}{qE}$; 2) $\Delta h = \dfrac{mgb}{qE}$	*Ускоренное движение* $\vec{F}_{\text{тяж}} + \vec{F}_{\text{К}} = m\vec{a}$  Определите направление $\vec{F}_{\text{К}}$ 1) Если $\vec{F}_{\text{К}}$ вправо, то $s_x = d$ 2) Если $\vec{F}_{\text{К}}$ влево, то $s_x = b$ В данной задаче $\vec{F}_{\text{К}}$ направлена влево, так как заряд $q < 0$ и $\vec{E}$ вправо. *Учтите:* время движения шарика по горизонтали и вертикали одинаково $a_x = \dfrac{qE}{m}; a_y = g$ $s_x = \dfrac{a_x t^2}{2}; s_y = \Delta h = \dfrac{gt^2}{2}$

ЗАДАЧИ

47. В электрическом поле, вектор напряженности которого направлен вертикально вверх, неподвижно «висит» песчинка, заряд которой равен $2 \cdot 10^{-11}$ Кл. Масса песчинки равна 10^{-6} кг. Чему равен модуль вектора напряженности электрического поля?

Ответ: ____ кВ/м

48. Шарик, находящийся в масле плотностью 800 кг/м^3, «висит» в поле плоского конденсатора. Плотность вещества шарика 2700 кг/м^3, его радиус 2 мкм, расстояние между обкладками конденсатора 1 см. Каков заряд шарика, если электрическое поле направлено вверх, а разность потенциалов между обкладками 2,5 кВ? Объем шара $V = \dfrac{4}{3}\pi R^3$. Полученный ответ умножьте на 10^{18} и округлите до сотых.

Ответ: ____ Кл

49. Пластины большого по размерам плоского конденсатора расположены горизонтально на расстоянии $d = 1$ см друг от друга. Напряжение на пластинах конденсатора 5000 В. В пространстве между пластинами падает капля жидкости. Масса капли 4 мг. При каком значении заряда капли ее скорость будет постоянной? Влиянием воздуха на движение капли пренебречь.

Ответ: ____ пКл

50. Между двумя параллельными, горизонтально расположенными диэлектрическими пластинами создано однородное электрическое поле с напряженностью $E = 3 \cdot 10^6$ Н/Кл, направленное вертикально вниз. Между пластинами помещен шарик на расстоянии $d = 1{,}0$ см от верхней пластины и $b = 1{,}8$ см от нижней. Заряд шарика $q = -27$ пКл, масса $m = 3$ мг. Шарик освобождают, и он начинает двигаться. Через какой промежуток времени шарик ударится об одну из пластин, если система находится в поле силы тяжести Земли? Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ мс

51. Между двумя параллельными, горизонтально расположенными диэлектрическими пластинами создано однородное электрическое поле напряженностью $E = 4 \cdot 10^6$ Н/Кл, направленное вертикально вверх. Между пластинами помещен шарик на расстоянии $d = 1{,}2$ см от верхней пластины и $b = 2{,}5$ см от нижней. Заряд шарика $q = 3$ пКл, масса $m = 3$ мг. Шарик освобождают, и он начинает двигаться. Через какой промежуток времени шарик ударится об одну из пластин, если система находится в поле силы тяжести Земли? Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ мс

52. Конденсатор состоит из двух неподвижных, вертикально расположенных, параллельных, разноименно заряженных пластин. Пластины расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Напряженность поля внутри конденсатора равна $E = 10^4$ В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещен шарик с зарядом $q = 10^{-5}$ Кл и массой $m = 20$ г. После того как шарик

отпустили, он начинает падать и ударяется об одну из пластин. На сколько уменьшится высота шарика Δh к моменту его удара об одну из пластин?

Ответ: на ____ см

53. Между двумя параллельными, вертикально расположенными диэлектрическими пластинами создано однородное электрическое поле, напряженность которого равна $E = 2 \cdot 10^5$ В/м, направленное слева направо. Между пластинами помещен шарик на расстоянии $d = 1{,}5$ см от левой пластины и $b = 2{,}5$ см от правой. Заряд шарика $q = -0{,}2$ нКл, масса $m = 20$ мг. Шарик освобождают, и он начинает двигаться. На сколько успеет сместиться шарик по вертикали до удара об одну из пластин? Пластины имеют достаточно большой размер.

Ответ: ____ см

54. Между двумя параллельными, вертикально расположенными диэлектрическими пластинами создано однородное электрическое поле напряженностью $E = 2{,}5 \cdot 10^5$ В/м, направленное справа налево. Между пластинами помещен шарик на расстоянии $d = 0{,}5$ см от правой пластины и $b = 2{,}5$ см от левой. Заряд шарика $q = -20$ пКл, масса $m = 10$ мг. Шарик освобождают, и он начинает двигаться. На сколько успеет сместиться шарик по вертикали до удара об одну из пластин? Пластины имеют достаточно большой размер и находятся в поле силы тяжести Земли.

Ответ: ____ м

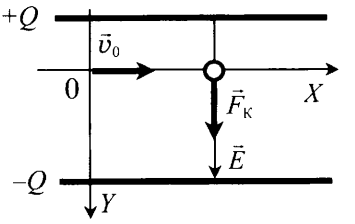
55. Конденсатор состоит из двух неподвижных, вертикально расположенных, параллельных, разноименно заряженных пластин. Пластины расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Напряженность поля внутри конденсатора равна $E = 10^4$ В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещен шарик с зарядом $q = 10^{-5}$ Кл и массой $m = 20$ г. После того как шарик отпустили, он начинает падать и через некоторое время ударяется об одну из пластин. Оцените время падения Δt шарика.

Ответ: ____ с

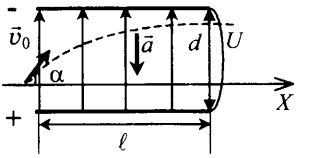
56. Электрическое поле образовано двумя неподвижными, вертикально расположенными, параллельными, разноименно заряженными непроводящими пластинами. Пластины расположены на расстоянии $d = 9$ см друг от друга. Напряженность поля внутри конденсатора равна $E = 10^4$ В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещен шарик с зарядом $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл и массой $m = 1$ г. После того как шарик отпустили, он начинает падать. Какую скорость будет иметь шарик, когда коснется одной из пластин?

Ответ: ____ м/с

Аналогия с горизонтальным броском

1. Частица массой m и зарядом q влетает со скоростью $\vec{v}_0$ перпендикулярно линиям напряженности конденсатора $\vec{E}$ (силу тяжести не учитывать). Длина пластин конденсатора l, расстояние между ними d	
Проекции начальной скорости	$v_{0x} = v_0;\ v_{0y} = 0$
Проекции ускорения	$a_x = 0;\ a_y = \dfrac{qE}{m} = \dfrac{qU}{dm}$
Проекции мгновенной скорости	$v_x = v_0;\ v_y = a_y t$
Модуль мгновенной скорости $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$	$v = \sqrt{v_0^2 + (a_y t)^2}$
Угол наклона вектора скорости к пластинам конденсатора	$\operatorname{tg}\beta = \dfrac{v_y}{v_x} = \dfrac{a_y t}{v_0}$
Горизонтальное смещение $x = x_0 + v_{0x}t + \dfrac{a_x t^2}{2}$	$x = v_0 t$
Вертикальное смещение $y = y_0 + v_{0y}t + \dfrac{a_y t^2}{2}$	$y = \dfrac{a_y t^2}{2}$
Время движения внутри конденсатора	$t = \dfrac{l}{v_0}$ или $t = \sqrt{\dfrac{2y}{a_y}}$

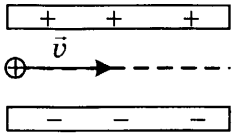
Подсказки к задачам

Задачи	*Подсказки*
1. В плоский конденсатор длиной l с расстоянием между обкладками d влетает электрон с энергией E_k и зарядом q под углом α к пластинам. Чему равно напряжение между пластинами, при котором электрон на выходе из конденсатора будет двигаться параллельно им? Силу тяжести не учитывать. **Ответ:** $U = \dfrac{E_k d \sin 2\alpha}{q\ell}$	 *По аналогии с броском под углом к горизонту* Скорость электрона параллельна пластинам в момент наивысшего подъема, т.е. $t_{\text{под}} = \dfrac{v_0 \sin\alpha}{a}$, где $a = \dfrac{qU}{dm}$ *Учтите:* $l = v_0 \cos\alpha \cdot t_{\text{под}}$ $E_k = \dfrac{mv_0^2}{2}$
2. В электрическое поле конденсатора, пластины которого изогнуты дугой радиуса R, влетает легкая частица массой m и зарядом q со скоростью v. Напряженность поля $\vec{E}$. Найдите радиус орбиты частицы R. Влиянием силы тяжести пренебречь. **Ответ:** $R = \dfrac{mv^2}{qE}$	*Второй закон Ньютона для движения по окружности* $F_{\text{К}} = ma_{\text{ц.с.}}$ В этой задаче $F_{\text{К}} = qE$; $a_{\text{ц.с.}} = \dfrac{v^2}{R}$

ЗАДАЧИ

57. Протон влетает в электрическое поле конденсатора параллельно его пластинам в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рисунок). Минимальная скорость, с которой протон

должен влететь в конденсатор, чтобы затем вылететь из него, равна 350 км/с. Длина пластин конденсатора 5 см, напряженность электрического поля конденсатора 5200 В/м. Чему равно расстояние между пластинами конденсатора? Масса протона $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг, его заряд $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Поле внутри конденсатора считать однородным, силой тяжести пренебречь. Ответ округлите до целых.

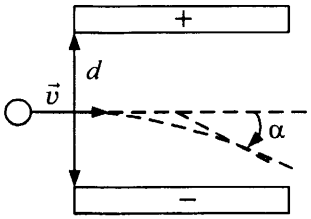


Ответ: ____ см

58. Протон влетает в электрическое поле конденсатора параллельно его пластинам в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рисунок к задаче 57). Минимальная скорость, с которой протон должен влететь в конденсатор, чтобы затем вылететь из него, равна 350 км/с. Расстояние между пластинами конденсатора 1 см, напряжение на пластинах конденсатора 50 В. Чему равна длина пластин конденсатора? Поле внутри конденсатора считать однородным, силой тяжести пренебречь. Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ см

59. Заряженная частица массой m, движущаяся со скоростью $\vec{v}$, влетает в поле плоского конденсатора (см. рисунок). Расстояние между пластинами d, а напряженность электрического поля $\vec{E}$. Пролетев конденсатор, частица отклоняется от первоначального направления на угол α. Как изменится модуль скорости вылетевшей частицы и угол α, если уменьшить напряженность электрического поля между пластинами конденсатора?



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) модуль скорости вылетевшей частицы	1) увеличится
Б) угол отклонения α	2) уменьшится
	3) не изменится

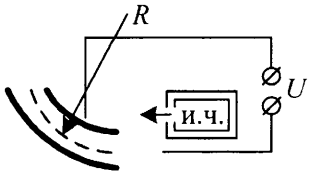
Ответ:

А	Б

60. В плоский конденсатор длиной $L = 5$ см влетает электрон под углом $\alpha = 15°$ к пластинам. Энергия электрона $W = 2{,}4 \cdot 10^{-16}$ Дж. Расстояние между пластинами $d = 1$ см. Определите разность потенциалов между пластинами конденсатора U, при которой электрон на выходе из конденсатора будет двигаться параллельно пластинам. Заряд электрона $q_e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Ответ: ____ В

61. На рисунке показана схема устройства для предварительного отбора заряженных частиц для последующего детального исследования. Устройство представляет собой конденсатор, пластины которого изогнуты дугой радиуса $R = 50$ см. Предположим, что в промежуток между обкладками конденсатора из источника заряженных частиц (и. ч.) частицы влетают, как показано на рисунке. Напряженность электрического поля в конденсаторе по модулю равна 5 кВ/м. Скорость ионов 100 км/с. Определите отношение заряда к массе q/m для тех ионов, которые пролетят сквозь конденсатор, не коснувшись его пластин. Считать, что расстояние между обкладками конденсатора мало, напряженность электрического поля в конденсаторе всюду одинакова по модулю, а вне конденсатора электрическое поле отсутствует. Влиянием силы тяжести пренебречь.



Ответ: ____ МКл/кг

9. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Электрический ток в металлах

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

Условия существования электрического тока:

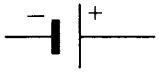
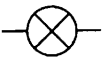
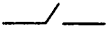
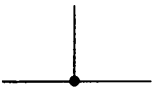
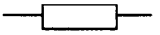
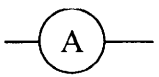
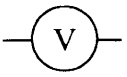
1) наличие заряженных частиц;

2) электрическое поле (создается источниками тока).

Носители электрического тока в различных средах:

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

Графическое изображение некоторых элементов электрической цепи

Источник тока 	Лампа 	Ключ 
Соединительный провод	Соединение проводов 	Резистор 
Амперметр 	Вольтметр 	Конденсатор

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

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

Сила тока I (А) показывает, какой заряд q проходит через поперечное сечение проводника за 1 с:

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

где N — число электронов; $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд электрона; t (с) — время.

Заряд, проходящий по проводнику за время t при силе тока, равной I:

$$q = I \cdot t.$$

Заряд, проходящий за время Δt при равномерном изменении силы тока от I_1 до I_2:

$$\Delta q = \frac{I_1 + I_2}{2} \cdot \Delta t.$$

Сила тока и скорость движения электронов:

$$I = nq_eS\upsilon,$$

где n ($м^{-3}$) — концентрация; $S\,(м^2)$ — площадь сечения; υ (м/с) — скорость электронов.

Учтите: электроны движутся по проводам со скоростью, равной долям мм/с. Но электрическое поле распространяется со скоростью света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

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

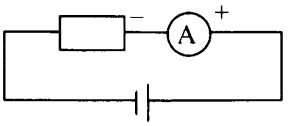
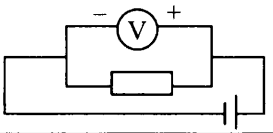
$$R = \frac{\rho l}{S},$$

где ρ (Ом · м) — *удельное сопротивление,* показывающее, какое сопротивление имеет проводник длиной 1 м, площадью поперечного сечения 1 $м^2$, изготовленный из определенного материала; l (м) — длина проводника; S ($м^2$) — площадь сечения.

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

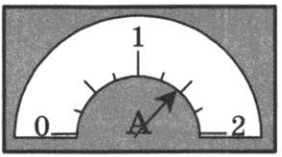
$$U = \frac{A}{q}.$$

Измерительные приборы

	Амперметр измеряет силу тока, включается в цепь последовательно, соблюдая полярность	*Вольтметр* измеряет напряжение, включается в цепь параллельно, соблюдая полярность
Схема включения		
Идеальный прибор	В идеальном амперметре $R_A \to 0$, и он не влияет на значение силы тока	В идеальном вольтметре $R_V \to \infty$, ток через него не проходит

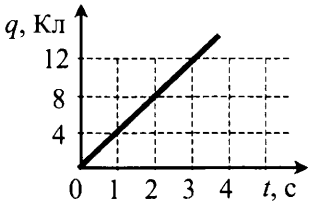
ЗАДАЧИ

1. На рисунке изображена шкала делений амперметра. Погрешность измерения равна цене деления. Чему равна сила тока?



Ответ: ____ А

2. По проводнику течет постоянный электрический ток. Значение заряда, прошедшего через проводник, возрастает с течением времени согласно графику, представленному на рисунке. Чему равна сила тока в проводнике?



Ответ: ____ А

3. Источник тока присоединили к двум пластинам, опущенным в раствор поваренной соли. Сила тока в цепи 0,2 А. Какой заряд проходит между пластинами в ванне за 2 мин?

Ответ: ____ Кл

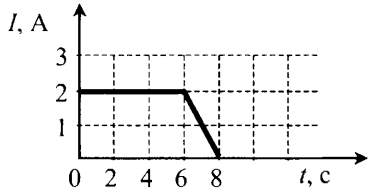
4. Сколько времени длится разряд молнии, если через поперечное сечение ее канала протекает заряд 30 Кл, а сила тока в среднем равна 24 кА?

Ответ: ____ мс

5. На электроды вакуумного диода подается переменное напряжение, в результате чего сила тока, протекающая через диод, равномерно увеличивается за 2 мкс от 0 до 12 А. Определите величину заряда, который прошел через диод за это время.

Ответ: ____ мкКл

6. На рисунке показана зависимость силы тока в проводнике от времени. Какой заряд прошел по проводу за 8 с?



Ответ: ____ Кл

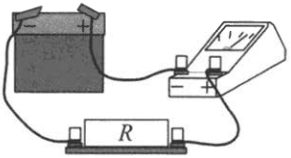
7. Скорость направленного дрейфа электронов в электрической цепи увеличилась в 2 раза. Во сколько раз возросла сила тока в цепи?

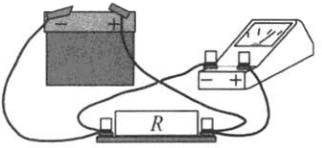
Ответ: в ____ раз(а)

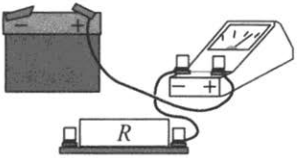
8. Медная проволока имеет электрическое сопротивление 6 Ом. Какое электрическое сопротивление имеет медная проволока, у которой в 2 раза больше длина и в 3 раза больше площадь поперечного сечения?

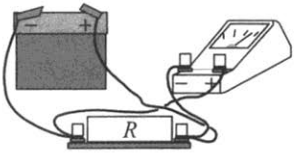
Ответ: ____ Ом

9. Для измерения напряжения в проволочной спирали R четыре ученика по-разному подсоединили вольтметр. Результат изображен на рисунке. Укажите верное подсоединение вольтметра.

1) 

2) 

3) 

4) 

Ответ: ____

10. Перемещая заряд в первом проводнике, электрическое поле совершает работу 20 Дж. Во втором проводнике при перемещении такого же заряда электрическое поле совершает работу 40 Дж. Определите отношение U_1 / U_2 напряжений на концах первого и второго проводников.

Ответ: ____

Закон Ома для участка цепи: *сила тока в участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению.*

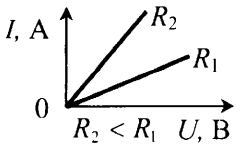
$$I = \frac{U}{R}.$$

С учетом формулы для расчета сопротивления

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

Вольтамперная характеристика — это зависимость силы тока от напряжения. Позволяет сравнивать и рассчитывать сопротивления.

Совет: обращайте внимание на единицы измерения, стоящие на осях.



ЗАДАЧИ

11. При напряжении 4,5 В сила тока, идущего через металлический проводник, равна 0,75 А. Какое напряжение должно быть на проводнике, чтобы через него протекал ток 1 А?

Ответ: ____ В

12. При напряжении 2 В сила тока, идущего через металлический проводник длиной 2 м, равна 1 А. Какой будет сила тока через такой же проводник длиной 1 м при напряжении на нем 4 В?

Ответ: ____ А

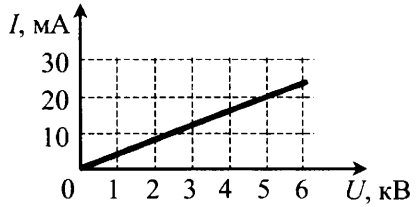
13. Напряжение между концами проводника увеличили в 2 раза, а его длину уменьшили в 2 раза. Во сколько раз возросло значение силы тока, протекающего через проводник?

Ответ: в ____ раз(а)

14. Сила тока, протекающего через проводник, 0,2 А. Чему будет равно значение силы тока, если напряжение между концами проводника и площадь его поперечного сечения уменьшить в 2 раза?

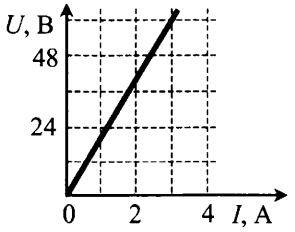
Ответ: ____ мА

15. На рисунке изображен график зависимости силы тока от напряжения на одной секции телевизора. Каково сопротивление этой секции?



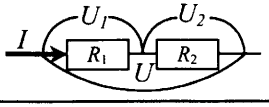
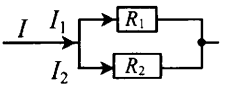
Ответ: ____ кОм

16. На рисунке представлен график зависимости напряжения U на концах резистора от силы тока I, текущего через него. Чему равно сопротивление R резистора?



Ответ: ____ Ом

Соединения проводников

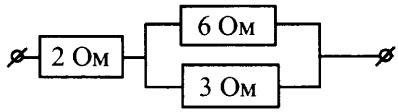
	Последовательное соединение	Параллельное соединение
Схема		
Полная сила тока	$I = I_1 = I_2$	$I = I_1 + I_2$
Полное напряжение	$U = U_1 + U_2$	$U = U_1 = U_2$
Полное сопротивление	$R = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
Два резистора	$R = R_1 + R_2$	$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
n одинаковых резисторов	$R = nR_0$	$R = \frac{R_0}{n}$

Задание. Выберите произвольно значения двух сопротивлений, причем $R_1 < R_2$. Рассчитайте их общее сопротивление сначала при последовательном соединении, а затем при параллельном. В каждом случае сравните общее сопротивление с R_1 и R_2. Сделайте вывод.

Учтите: в задачах принято считать, что соединительный провод не имеет сопротивления. Если соединительный провод присоединяют параллельно некоторому участку цепи, то ток пойдет только через этот провод и $R_{общ} = 0$.

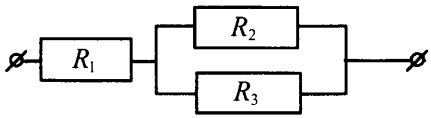
ЗАДАЧИ

17. Чему равно сопротивление участка цепи, изображенного на рисунке?



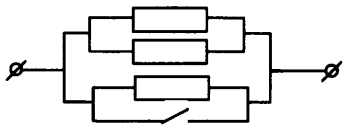
Ответ: ____ Ом

18. Участок цепи состоит из сопротивления R_1 и двух одинаковых параллельно соединенных резисторов R_2 и R_3. Общее сопротивление участка 4 Ом. Чему равно сопротивление R_2, если сопротивление $R_1 = 3$ Ом?



Ответ: ____ Ом

19. Каким будет сопротивление участка цепи, изображенного на рисунке, при замыкании ключа? Каждый из резисторов имеет сопротивление 6 Ом.



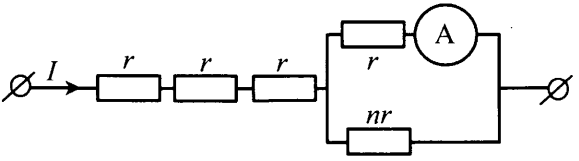
Ответ: ____ Ом

20. Участок цепи состоит из четырех последовательно соединенных резисторов, сопротивления которых равны 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом и 40 Ом. Каким должно быть сопротивление пятого резистора, добавленного в этот участок последовательно к первым четырем, чтобы суммарное сопротивление участка увеличилось в 3 раза?

Ответ: ____ Ом

Алгоритм решения задач на расчет силы тока

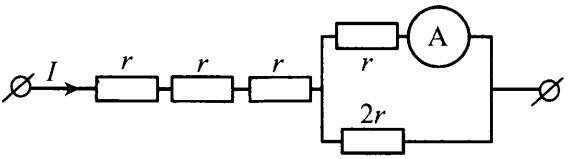
Задача. Через участок цепи (см. рисунок) течет постоянный ток I. Какую силу тока показывает амперметр? Сопротивлением амперметра пренебречь.



1. Определите полное сопротивление параллельного участка цепи	$\frac{1}{R_{\text{пар}}} = \frac{1}{r} + \frac{1}{nr} = \frac{n+1}{nr}$ $R_{\text{пар}} = \frac{nr}{n+1}$
2. Найдите напряжение на параллельном участке цепи	$U_{\text{пар}} = IR_{\text{пар}} = I \cdot \frac{nr}{n+1}$
3. Учтите равенство напряжений при параллельном соединении	$U_{\text{пар}} = U_{\text{верх}} = U_{\text{ниж}}$
4. Вычислите силу тока на верхнем участке параллельного соединения	$I_{\text{верх}} = \frac{U_{\text{пар}}}{r}$
5. Если бы амперметр был включен на нижнем участке, то он бы показал	$I_{\text{нижн}} = \frac{U_{\text{пар}}}{nr}$
Проверьте	$I = I_{\text{верх}} + I_{\text{нижн}}$

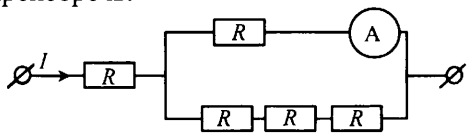
ЗАДАЧИ

21. Через участок цепи (см. рисунок) течет постоянный ток $I = 6$ А. Какую силу тока показывает амперметр? Сопротивлением амперметра пренебречь.



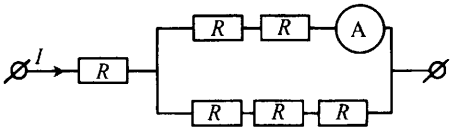
Ответ: ____ А

22. Через участок цепи (см. рисунок) течет постоянный ток $I = 4$ А. Какую силу тока показывает амперметр? Сопротивлением амперметра пренебречь.



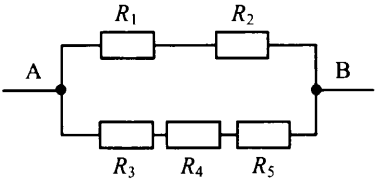
Ответ: ____ А

23. Через участок цепи (см. рисунок) течет постоянный ток $I = 4$ А. Какую силу тока показывает амперметр? Сопротивлением амперметра пренебречь.



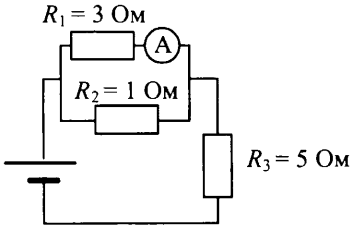
Ответ: ____ А

24. Сопротивление каждого резистора в цепи, показанной на рисунке, равно 100 Ом. Участок подключен к источнику постоянного напряжения выводами A и B. Напряжение на резисторе R_4 равно 12 В. Определите напряжение между выводами схемы U_{AB}.



Ответ: ____ В

25. В цепи, изображенной на рисунке, идеальный амперметр показывает 1 А. Найдите ток через резистор R_3.



Ответ: ____ А

Полная цепь

Полная цепь содержит источник тока.

Сторонние силы — это силы любой природы (кроме электрической), которые разделяют заряды внутри источника тока.

Виды сторонних сил: механические, магнитные, химические, световые, тепловые.

Электродвижущая сила $\mathcal{E}$ (В) характеризует работу сторонних сил $A_{ст}$ (Дж) по перемещению зарядов q (Кл) внутри источника:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}.$$

Учтите, что сторонние силы переносят положительные заряды внутри источника от «–» к «+».

Закон Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

где R (Ом) — **полное** сопротивление внешней цепи, r (Ом) — внутреннее сопротивление источника.

Сила тока короткого замыкания ($R \to 0$):

$$I_{к.з.} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Напряжение на внешней цепи (напряжение на клеммах источника, падение напряжения на внешней цепи):

$$U = IR = \mathcal{E} - Ir.$$

КПД источника тока:

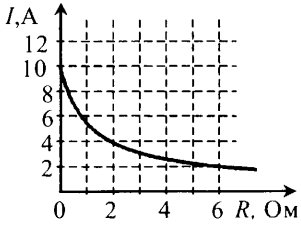
$$\eta = \frac{U}{\mathcal{E}} \cdot 100\% = \frac{R}{R + r} \cdot 100\%.$$

ЗАДАЧИ

26. Рассчитайте силу тока в замкнутой цепи, состоящей из источника тока, у которого ЭДС равна 10 В, а внутреннее сопротивление равно 1 Ом. Сопротивление резистора равно 4 Ом.

Ответ: ____ А

27. К источнику тока с внутренним сопротивлением 2 Ом подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. Чему равна ЭДС источника тока?



Ответ: ____ В

28. При подключении к источнику тока резистора с электрическим сопротивлением 2 Ом сила тока в электрической цепи была равна 2 А. При подключении к источнику тока резистора с электрическим сопротивлением 1 Ом сила в электрической цепи была равна 3 А. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

Ответ: ____ Ом

29. При подключении к источнику тока резистора с электрическим сопротивлением 2 Ом сила тока в электрической цепи была равна 2 А. При подключении к источнику тока резистора с электрическим сопротивлением 1 Ом сила тока в электрической цепи была равна 3 А. Чему равна электродвижущая сила источника тока?

Ответ: ____ В

30. Источник тока с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r сначала был замкнут на внешнее сопротивление R. Затем внешнее сопротивление увеличили. Как при этом изменятся сила тока в цепи и напряжение на внешнем сопротивлении? Установите соответствие между физическими величинами этого процесса и характером их изменения.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) сила тока	1) увеличится
Б) напряжение на внешнем сопротивлении	2) уменьшится
	3) не изменится

Ответ:

А	Б

Работа и мощность электрического тока

Работа и энергия электрического тока:

$$A = W = qU = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t.$$

Закон Джоуля–Ленца:

$$Q = I^2Rt\,.$$

Мощность P (Вт) — это работа, производимая за 1 с:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Мощность тока (мощность на внешней цепи, мощность на нагрузке, полезная мощность, тепловая мощность):

$$P = \frac{qU}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R} = \left(\frac{\mathscr{E}}{R+r}\right)^2 R.$$

Мощность на внешней цепи будет максимальная, если $R = r$:

$$P_{\max} = \left(\frac{\mathscr{E}}{r+r}\right)^2 r = \frac{\mathscr{E}^2}{4r}.$$

Мощность внутренней цепи: $P_{\text{внутр}} = I^2r = \left(\frac{\mathscr{E}}{R+r}\right)^2 r.$

Полная мощность: $P_{\text{полн}} = I^2(R+r) = \frac{\mathscr{E}^2}{R+r}.$

Подсказки к задачам

Объем проводника цилиндрической формы	$V = Sl$
Масса проводника цилиндрической формы	$m = \rho V = \rho Sl$
Количество теплоты и изменение температуры	$Q = cm\Delta T$

ЗАДАЧИ

31. На штепсельных вилках некоторых бытовых электрических приборов имеется надпись: «6 А, 250 В». Определите максимально допустимую мощность электроприборов, которые можно включать, используя такие вилки.

Ответ: ____ Вт

32. При силе тока в электрической цепи 0,3 А сопротивление лампы равно 10 Ом. Определите мощность электрического тока, выделяющуюся на нити лампы.

Ответ: ____ Вт

33. По проволочному резистору течет ток. Резистор заменили на другой, с проволокой из того же металла и той же длины, но имеющей вдвое меньшую площадь поперечного сечения, и пропустили через него вдвое меньший ток. Как изменятся при этом сопротивление резистора и тепловая мощность, выделяющаяся на резисторе?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) сопротивление резистора	1) увеличится
Б) тепловая мощность	2) уменьшится
	3) не изменится

Ответ:

А	Б

34. К концам длинного однородного проводника приложено напряжение U. Провод укоротили вдвое и приложили к нему прежнее напряжение U. Что произойдет при этом с сопротивлением проводника и мощностью?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ
А) сопротивление проводника	1) увеличится
Б) выделяющаяся на проводнике мощность	2) уменьшится
	3) не изменится

Ответ:

А	Б

35. Резисторы поочередно подключают к источнику постоянного тока. Сопротивления резисторов равны соответственно 3 Ом и 12 Ом. Мощность тока в резисторах одинакова. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

Ответ: ____ Ом

36. ЭДС источника постоянного тока $\mathcal{E}$ = 2 В, а его внутреннее сопротивление r = 1 Ом. Мощность тока в резисторе, подключенном к источнику, p_0 = 0,75 Вт. Чему равно минимальное значение силы тока в цепи?

Ответ: ____ А

37. Электрическая цепь состоит из источника тока и реостата. ЭДС источника 6 В, его внутреннее сопротивление r = 2 Ом. Сопротивление реостата можно изменять в пределах от 1 Ом до 5 Ом. Чему равна максимальная мощность, выделяемая на реостате?

Ответ: ____ Вт

38. К однородному медному цилиндрическому проводнику длиной 10 м приложили разность потенциалов 1 В. Определите промежуток времени, в течение которого температура проводника повысится на 10 К. Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании пренебречь. Плотность меди 8900 кг/м^3, удельное сопротивление меди $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м, удельная теплоемкость меди 380 Дж/(кг · К). Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ с

Конденсатор в цепи постоянного тока

Помните: постоянный ток через конденсатор не идет, но заряд на нем накапливается, и напряжение между обкладками поддерживается. Напряжение на конденсаторе такое же, как напряжение на параллельном ему участке цепи.

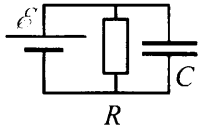
Внимание. Ток не проходит через те резисторы, которые соединены с конденсатором последовательно. При расчете электрической цепи их сопротивления не учитывают.

Подсказки к задачам

Электроемкость, заряд и напряжение	$C = \frac{q}{U}$
Напряженность и напряжение	$E = \frac{U}{d}$
Энергия конденсатора	$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$
Количество теплоты	$Q = \Delta W$

ЗАДАЧИ

39. К источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 9$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом подключили параллельно соединенные резистор с сопротивлением $R = 8$ Ом и плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого $d = 0{,}002$ м. Какова напряженность электрического поля между пластинами конденсатора?



Ответ: ____ кВ/м

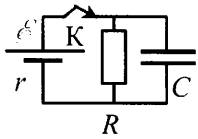
40. Какой должна быть ЭДС источника тока (см. рисунок к задаче 39), чтобы напряженность E электрического поля в плоском конденсаторе была равна 2 кВ/м, если внутреннее сопротивление источника тока $r = 2$ Ом, сопротивление резистора $R = 10$ Ом, расстояние между пластинами конденсатора $d = 2$ мм?

Ответ: ____ В

41. Каков электрический заряд конденсатора емкостью $C = 1000$ мкФ (см. рисунок к задаче 39), если внутреннее сопротивление источника тока $r = 2$ Ом, его ЭДС равна 24 В, сопротивление резистора $R = 10$ Ом?

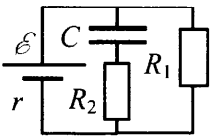
Ответ: ____ Кл

42. В электрической схеме, показанной на рисунке, ключ К замкнут. Заряд конденсатора $q = 2$ мкКл, ЭДС батарейки $\mathcal{E} = 24$ В, ее внутреннее сопротивление $r = 5$ Ом, сопротивление резистора $R = 25$ Ом. Найдите количество теплоты, которое выделяется на резисторе после размыкания ключа К в результате разряда конденсатора. Потерями на излучение пренебречь.



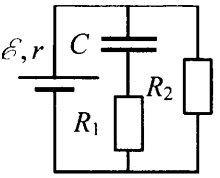
Ответ: ____ мкДж

43. Какова напряженность электрического поля внутри плоского конденсатора (см. рисунок), если внутреннее сопротивление источника тока r = 10 Ом, его ЭДС равна 30 В, сопротивления резисторов R_1 = 20 Ом, R_2 = 40 Ом? Расстояние между обкладками конденсатора d = 1 мм.



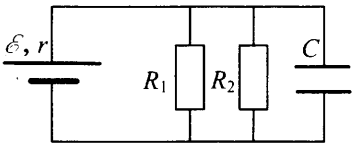
Ответ: ____ кВ/м

44. Напряженность электрического поля плоского конденсатора (см. рисунок) равна 24 кВ/м. Внутреннее сопротивление источника тока r = 10 Ом, ЭДС $\mathscr{E}$ = 30 В, а сопротивления резисторов R_1 = 20 Ом и R_2 = 40 Ом. Найдите расстояние между пластинами конденсатора.



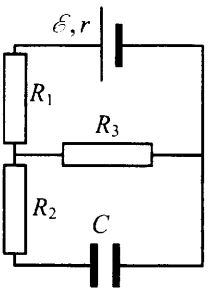
Ответ: ____ мм

45. Источник постоянного тока с ЭДС $\mathscr{E}$ = 10 В и внутренним сопротивлением r = 0,4 Ом подсоединен к параллельно соединенным резисторам R_1 = 4 Ом и R_2 = 6 Ом и конденсатору. Определите емкость конденсатора C, если энергия электрического поля конденсатора равна W = 60 мкДж. Ответ округлите до десятых.



Ответ: ____ мкФ

46. Конденсатор емкостью 2 мкФ присоединен к источнику постоянного тока с ЭДС 3,6 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Сопротивления резисторов R_1 = 4 Ом, R_2 = 7 Ом, R_3 = 3 Ом. Чему равно напряжение между обкладками конденсатора?



Ответ: ____ В

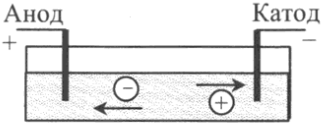
Электрический ток в жидкостях, полупроводниках, в вакууме, в газах

Повторение. Носители электрического тока в различных средах:

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

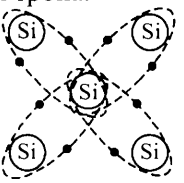
Учтите: перенос вещества осуществляется только ионами.

Электролиты — жидкости, проводящие электрический ток. К ним относят растворы солей, щелочей и кислот.

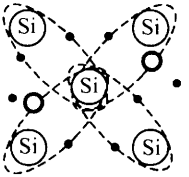


Положительные ионы движутся к катоду, а отрицательные — к аноду.

Электрический ток в полупроводниках. К полупроводникам относят элементы четвертой группы таблицы химических элементов Д.И. Менделеева, которые имеют четыре валентных электрона.

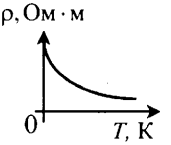


Собственная проводимость полупроводников — электронно-дырочная. При низкой температуре все электроны участвуют в создании ковалентных связей, свободных электронов нет. Полупроводник ведет себя как диэлектрик.

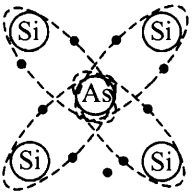


При повышении температуры или облучении полупроводников часть ковалентных связей разрушается и появляются свободные электроны. На месте разрушенной связи возникает электронная вакансия — дырка. Она также перемещается по кристаллу, но ведет себя подобно положительной частице.

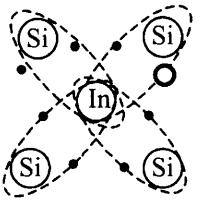
Зависимость удельного сопротивления полупроводников от температуры и внешнего излучения показана на графике.



Примесная проводимость полупроводников. Донорные примеси — элементы 5-й группы таблицы химических элементов Д.И. Менделеева. Только 4 из 5 валентных электрона участвуют в создании ковалентных связей, остальные сразу становятся свободными. Полупроводник, основными носителями в котором являются отрицательные электроны, относится к полупроводникам *n-типа.*



Акцепторные примеси — элементы 3-й группы таблицы химических элементов Д.И. Менделеева. Три валентных электрона устанавливают ковалентные связи, а на месте четвертой появляется дырка. Полупроводник с положительными носителями относится к полупроводникам *p-типа.*



Применение полупроводниковых приборов

Термисторы — приборы, сопротивление которых изменяется при нагревании. Они позволяют определять малые изменения температуры.

Фоторезисторы чувствительны к изменению освещенности.

Полупроводниковый диод — соединение полупроводников двух типов. Обладает односторонней проводимостью.

Электрический ток в вакууме. Получение основных носителей происходит за счет термоэлектронной эмиссии.

Термоэлектронная эмиссия — процесс испускания электронов при нагревании катода до высокой температуры.

Свойства электронных пучков:

- вызывают нагрев тел,
- при торможении возникает рентгеновское излучение,
- при попадании на некоторые вещества (люминофоры) вызывают их свечение,
- направление электронов может изменяться под действием электрического или магнитного полей.

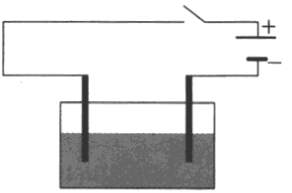
Электрический ток в газах называют разрядом. Обычно газы состоят из нейтральных молекул, поэтому являются диэлектриками. Чтобы появились носители электрического заряда, необходима затрата энергии.

Несамостоятельный разряд. При нагреве газа или его облучении от атомов могут отделиться электроны и атомы превращаются в положительные ионы.

Самостоятельный разряд. В газах при столкновении молекул может освободиться хотя бы один электрон. Если он попадет в электрическое поле, то начнет двигаться с ускорением. Сталкиваясь с нейтральным атомом газа, ускоренный электрон может «выбить» из него другой электрон, превратив сам атом в положительный ион. Электроны будут и дальше ускоряться, разрушая атомы. Ионы создают ток в противоположном направлении. Таким образом, электрический ток в газах создается электронами и ионами.

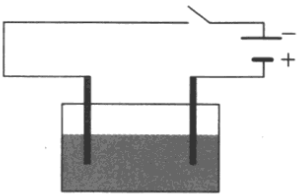
ЗАДАЧИ

47. Электрическая цепь, изображенная на рисунке, включает в себя сосуд со слабым раствором поваренной соли (NaCl) и опущенными в него двумя электродами. В каком направлении (***вправо, влево, вверх, вниз***) будут двигаться ионы натрия при замыкании ключа?



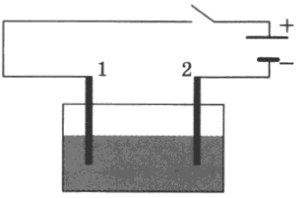
Ответ: _____

48. Электрическая цепь, изображенная на рисунке, включает в себя сосуд с раствором медного купороса $CuSO_4$ и опущенными в него двумя электродами. В каком направлении (***вправо, влево, вверх, вниз***) будут двигаться сульфат-ионы при замыкании ключа?



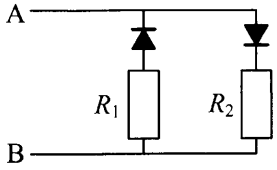
Ответ: _____

49. Электрическая цепь, изображенная на рисунке, включает в себя сосуд со слабым раствором медного купороса $CuSO_4$ и опущенными в него двумя электродами. На каком электроде после замыкания ключа будет оседать металлическая медь?



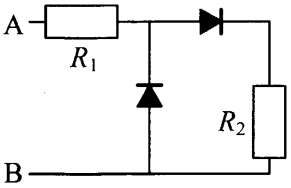
Ответ: на _____

50. В цепи, изображенной на рисунке, сопротивление диодов в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном — многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке А положительного полюса, а к точке В отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением потребляемая мощность равна 7,2 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 14,4 Вт. Определите сопротивление второго резистора.



Ответ: ____ Ом

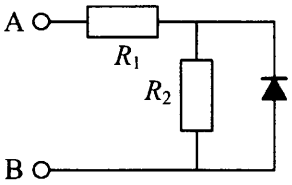
51. В цепи, изображенной на рисунке, сопротивление диодов в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном — многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке А — положительного, а к точке В — отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением потребляемая мощность равна 4,8 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 14,4 Вт. Определите сопротивление первого резистора.



Ответ: ____ Ом

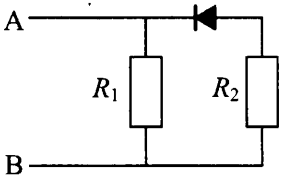
52. В цепи, изображенной на рисунке, сопротивление диода в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном — многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке

А — положительного, а к точке В — отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением потребляемая мощность равна 4,8 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 14,4 Вт. Определите сопротивление второго резистора.



Ответ: ____ Ом

53. В цепи, изображенной на рисунке, сопротивление диода в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном — многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке А — положительного, а к точке В — отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением потребляемая мощность равна 7,2 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 21,6 Вт. Определите сопротивление второго резистора.



Ответ: ____ Ом

10. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Вектор магнитной индукции. Линии магнитной индукции

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

Модуль вектора магнитной индукции — физическая величина, равная отношению максимальной силы, действующей со стороны магнитного поля на отрезок проводника с током, к произведению силы тока и длины проводника: $B = \dfrac{F_{A\max}}{Il}$.

Вектор напряженности магнитного поля $\vec{H}\,(\text{А/м})$:

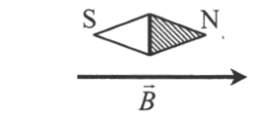
$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0},$$

где μ — магнитная проницаемость среды (у воздуха μ = 1); $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная. Направление напряженности $\vec{H}$ совпадает с направлением вектора магнитной индукции, т.е. $\vec{H} \uparrow\uparrow \vec{B}$.

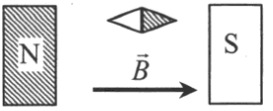
Способы определения направления вектора магнитной индукции (или напряженности)

1. С помощью постоянных магнитов:

1) направление вектора магнитной индукции $\vec{B}$ совпадает с направлением на север магнитной стрелки;

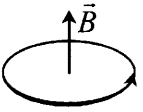


2) в пространстве между полюсами постоянного магнита вектор магнитной индукции $\vec{B}$ выходит из северного полюса.

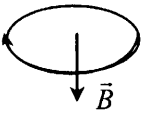


2. При определении направления вектора магнитной индукции с помощью витка с током следует применять правило буравчика:

1) если по витку ток идет против часовой стрелки, то вектор магнитной индукции $\vec{B}$ направлен вверх;



2) если ток идет по часовой стрелке, то вектор магнитной индукции $\vec{B}$ направлен вниз.



Обозначения направлений векторов

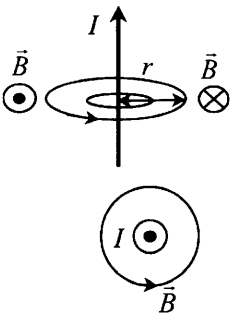
Вверх ↑	Вниз ↓	Вправо →
Влево ←	На нас ⊥ плоскости чертежа 	От нас ⊥ плоскости чертежа 

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

Магнитное поле прямолинейного тока

1. Линии магнитной индукции представляют собой концентрические окружности, лежащие в плоскости, перпендикулярной проводнику. Центр окружностей совпадает с осью проводника.

2. Если ток идет вверх, то силовые линии направлены против часовой стрелки; если вниз, то по часовой стрелке.



Вид сверху

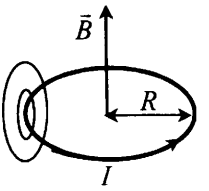
Вектор магнитной индукции на расстоянии r от оси проводника:

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

а напряженность

$$H = \frac{I}{2\pi r}.$$

Магнитное поле кругового тока



1. Линии представляют собой окружности, опоясывающие круговой ток.

2. Вектор магнитной индукции в центре витка направлен вверх, если ток идет против часовой стрелки, и вниз, если по часовой стрелке.

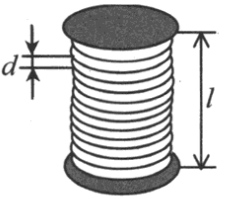
Вектор магнитной индукции в центре витка, радиус которого R:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R},$$

а напряженность в центре витка

$$H = \frac{I}{2R}.$$

Магнитное поле электромагнита (соленоида)



1. Линии магнитной индукции являются замкнутыми, причем внутри соленоида они располагаются параллельно друг другу. Поле внутри соленоида *однородно* ($N = \frac{l}{d}$ — число витков, l — длина соленоида, d — диаметр проволоки).

2. Если ток по виткам соленоида идет против часовой стрелки, то вектор магнитной индукции $\vec{B}$ внутри соленоида направлен вверх; если по часовой стрелке, то вниз.

Вектор магнитной индукции в центральной области соленоида:

$$B = \frac{\mu\mu_0 IN}{l} = \frac{\mu\mu_0 I}{d},$$

а напряженность

$$H = \frac{IN}{l} = \frac{I}{d}.$$

Алгоритм определения полярности электромагнита

1. Определить полярность источника.

2. Указать на витках электромагнита условное направление тока (от «+» источника к «–»).

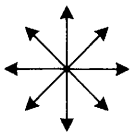
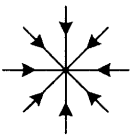
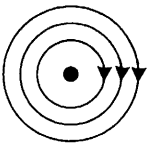
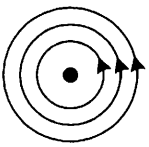
3. Определить направление вектора магнитной индукции с помощью правила буравчика.

Если по виткам ток идет против часовой стрелки, то линии магнитной индукции направлены вверх; если по часовой стрелке, то вниз.

4. Определить полюса электромагнита. Там, откуда выходят линии магнитной индукции, располагается северный полюс электромагнита. С противоположной стороны — южный.

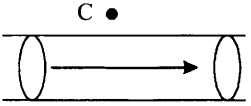
ЗАДАЧИ

1. На каком рисунке правильно изображена картина линий индукции магнитного поля длинного проводника с постоянным током, направленным перпендикулярно плоскости чертежа на нас?

1) 
2) 
3) 
4) 

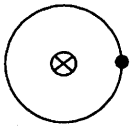
Ответ: ____

2. На рисунке изображен проводник, по которому течет электрический ток. Направление тока указано стрелкой. Как направлен (***вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю***) вектор магнитной индукции в точке С?



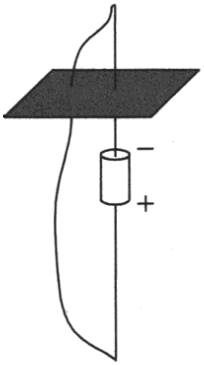
Ответ: _____

3. По проводнику течет ток от нас. Как направлен (***вверх, вниз, влево, вправо***) вектор индукции магнитного поля в точке, находящейся справа от проводника?

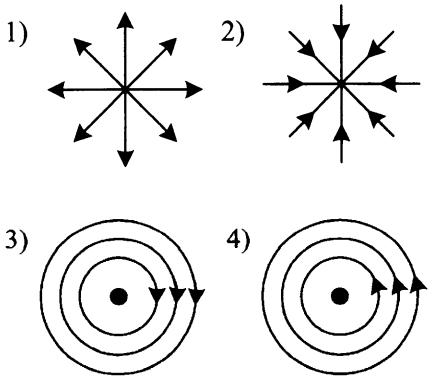


Ответ: _____

4. При подключении проводника к полюсам гальванического элемента на поверхности проводника появляются заряды: положительные вблизи положительного полюса, отрицательные вблизи отрицательного полюса — и возникает электрический ток. Заряды на поверхности проводника создают в пространстве электрическое поле, а ток — магнитное поле. Проводник, подключенный к гальваническому элементу, проходит через отверстие в доске. На рисунках 1–4 при помощи силовых линий (линий поля) изображены электрическое и магнитное поля, создаваемые проводником (вид сверху).



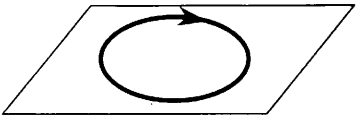
ВИД ПОЛЯ	ИЗОБРАЖЕНИЕ СИЛОВЫХ ЛИНИЙ
А) электрическое поле	
Б) магнитное поле	



Ответ:

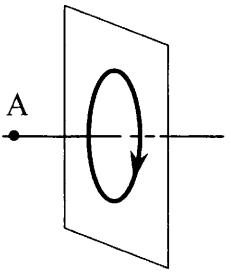
А	Б

5. На рисунке изображен проволочный виток, по которому течет электрический ток в направлении, указанном стрелкой. Виток расположен в горизонтальной плоскости. Какое направление (***вверх, вниз, влево, вправо***) имеет вектор магнитной индукции в центре витка?



Ответ: _____

6. На рисунке изображен проволочный виток, по которому течет электрический ток в направлении, указанном стрелкой. Виток расположен в вертикальной плоскости. Точка А находится на горизонтальной прямой, проходящей через центр витка. Как направлен (***вверх, вниз, влево, вправо***) вектор индукции магнитного поля тока в точке А?



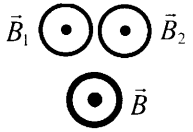
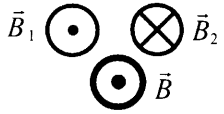
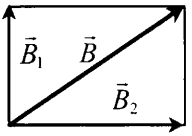
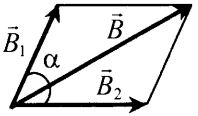
Ответ: _____

Принцип суперпозиции полей

Если в некоторой точке пространства накладываются магнитные поля, то результирующий вектор магнитной индукции находят как геометрическую сумму векторов магнитной индукции, составляющих магнитное поле:

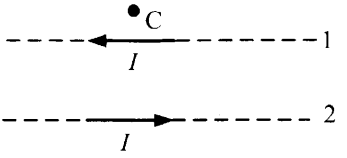
$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i.$$

Частные случаи принципа суперпозиции полей

Сложение векторов магнитной индукции, направленных вдоль одной прямой	
	Если $\vec{B}_1 \uparrow\uparrow \vec{B}_2$, то $B = B_1 + B_2$
	Если $\vec{B}_1 \uparrow\downarrow \vec{B}_2$, $B_1 > B_2$, то $B = \lvert B_1 - B_2 \rvert$
Сложение векторов магнитной индукции, перпендикулярных друг другу	
	Если $\vec{B}_1 \perp \vec{B}_2$, то по теореме Пифагора $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$
Сложение векторов магнитной индукции, направленных под углом α друг к другу	
	По теореме косинусов $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2\cos(180^\circ - \alpha)}$

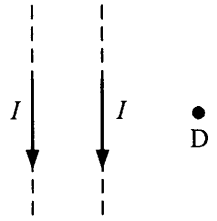
ЗАДАЧИ

7. По двум тонким прямым проводникам, параллельным друг другу, текут одинаковые токи I (см. рисунок). Как направлено (***вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю***) создаваемое ими магнитное поле в точке С?



Ответ: _____

8. По двум тонким прямым проводникам, параллельным друг другу, текут одинаковые токи I (см. рисунок), направление которых указано стрелками. Как направлен (***вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю***) вектор индукции создаваемого ими магнитного поля в точке D?



Ответ: _____

Сила Ампера

Сила Ампера — сила, которая действует на проводник с током в магнитном поле:

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

где B (Тл) — модуль вектора магнитной индукции; I (А) — сила тока; l (м) — длина проводника; α — угол между условным направлением тока и вектором магнитной индукции.

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

ЗАДАЧИ

9. С какой силой действует однородное магнитное поле с индукцией 2,5 Тл на проводник длиной 50 см, расположенный под углом 30° к вектору индукции, при силе тока в проводнике 0,5 А?

Ответ: ____ мН

10. Прямолинейный проводник длиной l = 0,2 м, по которому течет ток I = 2 А, находится в однородном магнитном поле с индукцией B = 0,6 Тл и расположен параллельно вектору $\vec{B}$. Каков модуль силы, действующей на проводник со стороны магнитного поля?

Ответ: ____ Н

11. Максимальная сила, действующая в однородном магнитном поле на проводник с током длиной 10 см, равна 0,02 Н. Сила тока равна 8 А. Найдите модуль вектора магнитной индукции этого поля.

Ответ: ____ мТл

12. На проводник, расположенный в однородном магнитном поле под углом 30° к направлению линий магнитной индукции, действует сила F. Во сколько раз увеличится сила, действующая на проводник, если увеличить угол в 3 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

13. Прямолинейный проводник длиной L с током I помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции B. Во сколько раз увеличится сила Ампера, действующая на проводник, если силу тока уменьшить в 2 раза, а индукцию магнитного поля увеличить в 3 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

14. Медный проводник расположен между полюсами постоянного магнита перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Определите площадь поперечного сечения проводника, если сила Ампера, действующая на него, равна 5 Н, модуль вектора магнитной индукции магнитного поля 10 мТл, а напряжение, приложенное к концам проводника, 8,5 В. Удельное сопротивление меди $\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-2}$ Ом $\cdot$ мм^2/м.

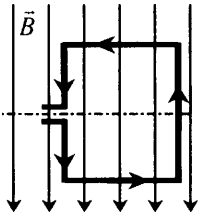
Ответ: ____ мм^2

Направление силы Ампера определяется по *правилу левой руки:*

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

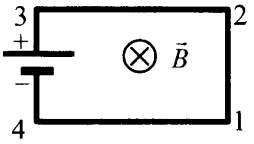
ЗАДАЧИ

15. В однородном магнитном поле находится рамка, по которой начинает течь ток (см. рисунок). Какое направление (***вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю***) имеет сила, действующая на нижнюю сторону рамки?



Ответ: _____

16. Электрическая цепь, состоящая из четырех прямолинейных горизонтальных проводников (1–2, 2–3, 3–4, 4–1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого $\vec{B}$ направлен вертикально вниз (см. рисунок, вид сверху). Куда направлена (***вверх, вниз, влево, вправо***) сила Ампера, действующая на проводник 1–2?



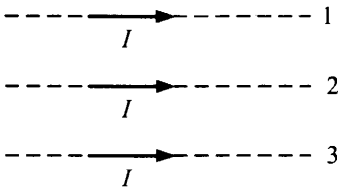
Ответ: _____

17. Силовые линии магнитного поля идут слева направо параллельно плоскости листа, проводник с электрическим током перпендикулярен плоскости листа, а ток течет в плоскость листа. Куда направлена (***вверх, вниз, влево, вправо***) сила Ампера, действующая на проводник?

Ответ: _____

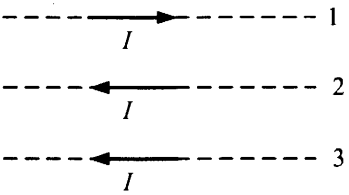
Учтите: если токи направлены в одну сторону, то проводники *притягиваются*, а если в противоположные, то *отталкиваются*.

18. Как направлена (***вверх, вниз, от наблюдателя, к наблюдателю***) сила Ампера, действующая на проводник 1 со стороны двух других (см. рисунок), если все проводники тонкие, лежат в одной плоскости, параллельны друг другу и расстояния между соседними проводниками одинаковы? (I — сила тока.)



Ответ: _____

19. Как направлена (***вверх, вниз, от наблюдателя, к наблюдателю***) сила Ампера, действующая на проводник 3 со стороны двух других (см. рисунок)? Все проводники тонкие, лежат в одной плоскости и параллельны друг другу. По проводникам идет одинаковый ток силой I.



Ответ: _____

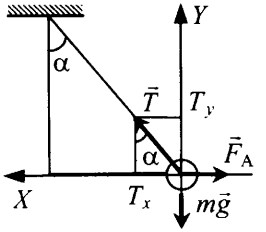
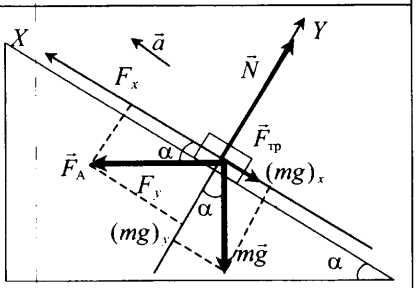
20. Установите соответствие между научными открытиями и именами ученых, которым эти открытия принадлежат.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОТКРЫТИЯ	ИМЕНА УЧЕНЫХ
А) закон магнитного взаимодействия параллельных проводников с током	1) А. Ампер
Б) закон, связывающий силу тока в проводнике и напряжение на концах проводника	2) Э. Х. Ленц
	3) Ш. Кулон
	4) Г. Ом
	5) М. Фарадей

Ответ:

А	Б

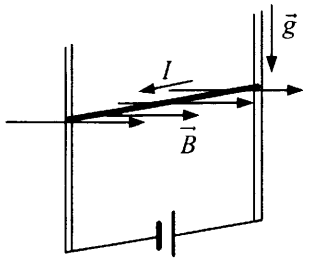
Подсказки к задачам

Задачи	*Подсказки*
1. Проводник массой m и длиной l подвешен в горизонтальном положении в вертикальном магнитном поле индукцией $\vec{B}$. На какой угол α от вертикали отклонятся нити, на которых подвешен проводник, если по нему пропустить ток? Сила тока в проводнике I. Массой нитей пренебречь. **Ответ:** $\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{BIl}{mg}\right)$	 Отклонение нитей от вертикали: $0X: T_x - F_A = 0$ $0Y: T_y - mg = 0$ $F_A = mg \operatorname{tg}\alpha$
2. Равноускоренное движение вверх под действием горизонтальной силы Ампера *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_A + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$ $0X: F_A \cos\alpha - mg \sin\alpha - F_{тр} = ma$ $0Y: N - F_A \sin\alpha - mg \cos\alpha = 0$	
3. Определите работу A, совершаемую силой Ампера при перемещении проводника длиной l с током в однородном магнитном поле на расстояние s. Сила тока в проводнике I. Проводник расположен перпендикулярно линиям поля и движется в направлении силы Ампера. Индукция магнитного поля $\vec{B}$. **Ответ:** $A = BIls$	Работа силы Ампера: $A = F_A s \cos\alpha'$, где α' — угол между направлением силы Ампера и перемещением; $F_A = BIl \sin\alpha$ — сила Ампера; α — угол между направлением вектора магнитной индукции и направлением тока

Задачи	*Подсказки*
4. Прямоугольную рамку со сторонами a и b поместили в магнитное поле так, что его линии индукции параллельны плоскости рамки. Когда по рамке пропустили электрический ток I, на нее стал действовать момент сил M. Чему равен модуль вектора индукции магнитного поля? **Ответ:** $B = M / Iab$	Момент силы Ампера $M = BIab \sin\alpha$ В данной задаче $\sin\alpha = 1$

ЗАДАЧИ

21. В однородном магнитном поле по вертикальным направляющим без трения скользит прямой горизонтальный проводник массой 0,2 кг, по которому течет ток 2 А. Вектор магнитной индукции направлен горизонтально перпендикулярно проводнику (см. рисунок), B = 2 Тл. Чему равна длина проводника, если известно, что ускорение проводника направлено вниз и равно 2 м/с^2?



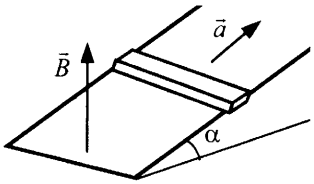
Ответ: ____ м

22. По прямому горизонтальному проводнику длиной 1 м с площадью поперечного сечения $1{,}25 \cdot 10^{-5}$ м^2, подвешенному с помощью двух одинаковых невесомых пружинок жесткостью 100 Н/м, течет ток 10 А. На какой угол от вертикали отклонятся пружины при включении вертикального магнитного поля с индукцией 0,1 Тл, если абсолютное удлинение каждой из пружинок при

этом составляет $7 \cdot 10^{-3}$ м? (Плотность материала проводника $8 \cdot 10^3$ кг/м^3.)

Ответ: ____°

23. Горизонтальный проводящий стержень прямоугольного сечения поступательно движется с ускорением вверх по гладкой наклонной плоскости в вертикальном однородном магнитном поле (см. рисунок). По стержню протекает ток I. Угол наклона плоскости $\alpha = 30°$. Отношение массы стержня к его длине $m / L = 0{,}1$ кг/м. Модуль индукции магнитного поля $B = 0{,}2$ Тл. Ускорение стержня $a = 1{,}9$ м/с^2. Чему равна сила тока в стержне? Ответ округлите до целых.



Ответ: ____ А

24. Участок проводника находится в магнитном поле, индукция которого 50 мТл. Сила электрического тока, протекающего по проводнику, равна 10 А. При перемещении проводника на 8 см в направлении действия силы Ампера поле совершает работу 0,004 Дж. Чему равна длина участка проводника? Проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции.

Ответ: ____ см

Сила Лоренца

Сила Лоренца — сила, действующая на *движущуюся заряженную* частицу в магнитном поле.

Сила Лоренца и сила Ампера создаются магнитным полем, но сила Лоренца действует на одну частицу, а сила Ампера на электрический ток, т.е. поток заряженных частиц:

$$F_Л = \frac{F_A}{N} = \frac{BIl \sin\alpha}{nV} = \frac{BqnvSl \sin\alpha}{nlS}.$$

Модуль силы Лоренца:

$$F_Л = qvB \sin\alpha.$$

Внимание. Сила Лоренца не действует:

1) на нейтральные частицы (нейтрон, атом, молекулу, фотон);

2) на неподвижные частицы;

3) на частицы, скорость которых параллельна направлению силовых линий.

ЗАДАЧИ

25. Электрон движется в вакууме со скоростью $3 \cdot 10^6$ м/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Чему равна сила, действующая на электрон, если угол между направлениями скорости электрона и линиями магнитной индукции равен 90^o? Заряд электрона равен $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Ответ умножьте на 10^{15}.

Ответ: ____ Н

26. Электрон и протон влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции со скоростями 2υ и υ. Модули зарядов электрона и протона равны. Определите отношение модуля силы, действующей со стороны магнитного поля на электрон, к модулю силы, действующей на протон, в этот момент времени.

Ответ: ____

27. Протон и α-частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции на расстоянии L друг от друга с одинаковыми скоростями υ. Заряд протона в 2 раза меньше заряда α-частицы. Определите отношение модулей сил, действующих на них со стороны магнитного поля в этот момент времени.

Ответ: ____

28. Нейтрон ${}^1_0 n$ и электрон ${}^0_{-1} e$ влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции со скоростями 2υ и 4υ. Определите отношение $F_n : F_e$ модуля силы, действующей со стороны магнитного поля на нейтрон, к модулю силы, действующей на электрон, в этот момент времени.

Ответ: ____

Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки:

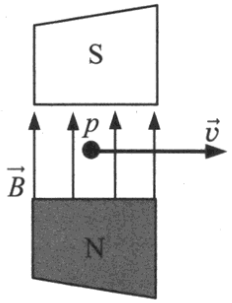
1) четыре пальца расположить по направлению скорости положительно заряженной частицы (для отрицательной частицы меняем направление руки на противоположное);

2) вектор магнитной индукции входит в ладонь;

3) большой палец укажет направление силы Лоренца.

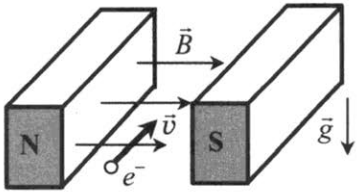
ЗАДАЧИ

29. Протон p, влетевший в зазор между полюсами электромагнита, имеет горизонтальную скорость $\vec{v}$, перпендикулярную вектору индукции $\vec{B}$ магнитного поля, направленного вверх (см. рисунок). Куда направлена (***вверх, вниз, от наблюдателя, к наблюдателю***) действующая на протон сила Лоренца $\vec{F}$?



Ответ: _____

30. Электрон e^-, влетевший в зазор между полюсами электромагнита, имеет горизонтально направленную скорость $\vec{v}$, перпендикулярную вектору индукции магнитного поля $\vec{B}$ (см. рисунок). Куда направлена (***вверх, вниз, от наблюдателя, к наблюдателю***) действующая на электрон сила Лоренца $\vec{F}$?

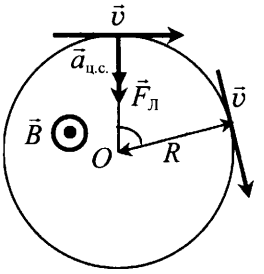


Ответ: _____

Заряженная частица в магнитном поле

В магнитном поле на движущуюся заряженную частицу действует сила Лоренца. Характер движения зависит от направления скорости частицы и вектора магнитной индукции.

1. Если скорость заряженной частицы параллельна вектору магнитной индукции ($\vec{\upsilon} \parallel \vec{B}$), то $\sin\alpha = 0$. Следовательно, сила Лоренца и ускорение равны нулю. Движение частицы равномерное и прямолинейное.



2. Если скорость заряженной частицы перпендикулярна вектору магнитной индукции ($\vec{\upsilon} \perp \vec{B}$), то сила Лоренца «закручивает» частицу, сообщает ей центростремительное ускорение. Происходит движение по окружности с постоянной по модулю скоростью.

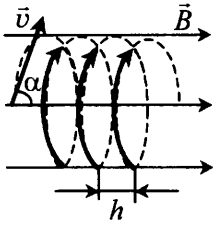
Совет: при решении задач следует во втором законе Ньютона выражать линейную скорость и центростремительное ускорение через другие кинематические величины.

	Замены величин во втором законе Ньютона: $qvB = ma_{\text{ц.с.}}$		**Итоговая формула**
Линейная скорость	—	$a_{\text{ц.с.}} = \dfrac{\upsilon^2}{R}$	$\upsilon = \dfrac{qBR}{m}$
Радиус окружности	—	$a_{\text{ц.с.}} = \dfrac{\upsilon^2}{R}$	$R = \dfrac{m\upsilon}{qB}$
Угловая скорость	$\upsilon = \omega R$	$a_{\text{ц.с.}} = \omega^2 R$	$\omega = \dfrac{qB}{m}$
Период	$\upsilon = \dfrac{2\pi R}{T}$	$a_{\text{ц.с.}} = \dfrac{4\pi^2 R}{T^2}$	$T = \dfrac{2\pi m}{qB}$
Частота	$\upsilon = 2\pi R\nu$	$a_{\text{ц.с.}} = 4\pi^2 R\nu^2$	$\nu = \dfrac{qB}{2\pi m}$
Импульс	—	$a_{\text{ц.с.}} = \dfrac{\upsilon^2}{R}$	$p = qBR$
Кинетическая энергия	—	—	$E_k = \dfrac{m\upsilon^2}{2}$

3. Если скорость заряженной частицы $\vec{v}$ направлена под углом α к вектору магнитной индукции $\vec{B}$, то заряженная частица движется по спирали.

Радиус спирали $R = \dfrac{mv\sin\alpha}{qB}$.

Шаг спирали $h = \dfrac{2\pi mv\cos\alpha}{qB}$.



ЗАДАЧИ

31. Заряженная частица движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом 2 мм. Сила, действующая на частицу со стороны магнитного поля, равна $1,6\cdot10^{-13}$ Н. Какова кинетическая энергия движущейся частицы?

Ответ: ____ эВ

32. Две частицы, имеющие отношение масс $m_2 / m_1 = 8$, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Найдите отношение зарядов частиц q_2 / q_1, если их скорости равны, а отношение радиусов траекторий $R_2 / R_1 = 2$.

Ответ: ____

33. Частица, обладающая зарядом $e = 1,6\cdot10^{-19}$ Кл, движется в однородном магнитном поле индукцией B по круговой орбите радиусом $R = 3\cdot10^{-4}$ м. Значение импульса частицы равно $p = 2,4\cdot10^{-22}$ кг · м/с. Чему равна индукция B магнитного поля?

Ответ: ____ Тл

34. Две частицы, имеющие отношение зарядов $q_1 / q_2 = 1/4$ и отношение масс $m_1 / m_2 = 2$, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно его линиям индукции и движутся по окружностям. Определите отношение радиусов траекторий R_1 / R_2 частиц, если отношение их скоростей $v_1 / v_2 = 2$.

Ответ: ____

35. Заряженная частица массой m, несущая положительный заряд q, движется перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля $\vec{B}$ по окружности радиусом R. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) скорость движения частицы по окружности	1) $\frac{qm}{RB}$
Б) период обращения частицы по окружности	2) $\frac{2\pi m}{qB}$
	3) $\frac{qBR}{m}$
	4) $qmBR$

Ответ:

А	Б

36. Частица массой m, несущая заряд q, движется в однородном магнитном поле с индукцией B по окружности радиуса R со скоростью υ. Что произойдет с радиусом орбиты и периодом обращения частицы при увеличении индукции магнитного поля?

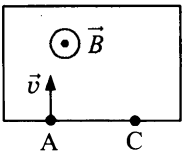
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
А) радиус орбиты	1) увеличится
Б) период обращения	2) уменьшится
	3) не изменится

Ответ:

А	Б

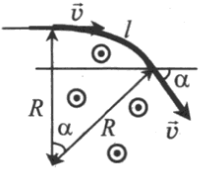
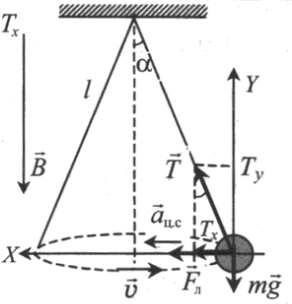
37. Пучок ионов попадает в камеру масс-спектрометра через отверстие в точке А со скоростью $\upsilon = 3 \cdot 10^4$ м/с, направленной перпендикулярно стенке АС. В камере создается однородное магнитное поле, линии вектора индукции которого перпендикулярны вектору скорости ионов. Двигаясь в этом поле, ионы попадают на мишень, расположенную в точке С на расстоянии 18 см от

точки A (см. рисунок). Чему равна индукция магнитного поля, если отношение массы иона к его заряду $m/q = 6 \cdot 10^{-7}$ кг / Кл ?



Ответ: ____ Тл

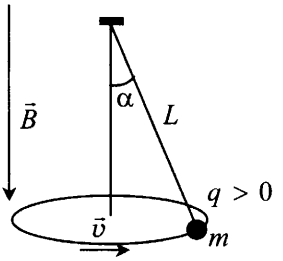
Подсказки к задачам

Задачи	*Подсказки*
1. Заряженный шарик влетает в область магнитного поля B, имея скорость υ, перпендикулярную вектору магнитной индукции. Какой путь он пройдет к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на угол α ? Масса шарика m, заряд q. **Ответ:** $l = \dfrac{\pi m \upsilon}{180° q B} \cdot \alpha°$	 *Учтите:* движение шарика происходит по дуге окружности. Путь равен длине дуги окружности: $l = \dfrac{\pi R}{180°} \cdot \alpha°$
2. В однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, направленной вертикально вниз, равномерно вращается в горизонтальной плоскости против часовой стрелки положительно заряженный шарик массой m, подвешенный на нити длиной l. Угол отклонения нити от вертикали α, скорость движения шарика υ. Найдите заряд шарика. **Ответ:** $q = \dfrac{m}{B}\left(\dfrac{\upsilon}{l \sin\alpha} - \dfrac{g}{\upsilon}\operatorname{tg}\alpha\right)$	 *Второй закон Ньютона в векторной форме:* $\vec{T} + m\vec{g} + \vec{F}_{Л} = m\vec{a}_{ц.с}$ $0X : T \sin\alpha \pm F_{Л} = ma_{ц.с.}$ $0Y : T \cos\alpha - mg = 0$ В данной задаче: $\vec{F}_{Л} \uparrow\uparrow 0X$, т.е. $0X : T \sin\alpha + F_{Л} = ma_{ц.с.}$ *Учтите:* $R = l \sin\alpha$

УПРАЖНЕНИЯ

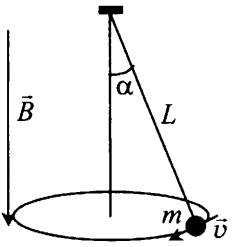
1. Электрон влетает в область магнитного поля $B = 0{,}01$ Тл, имея скорость $v = 1000$ км/с, перпендикулярную вектору магнитной индукции. Какой путь он пройдет к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на 1°? Заряд электрона $q_e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл и его масса $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг. **(9,9 мкм)**

2. В однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, направленной вертикально вниз, равномерно вращается в горизонтальной плоскости против часовой стрелки шарик, имеющий положительный заряд q. Шарик подвешен на нити длиной L (конический маятник). Угол отклонения нити от вертикали α, скорость движения шарика v. Найдите массу шарика m.



$$\left(m = \frac{qB}{\frac{v}{L\sin\alpha} - \frac{g\,\mathrm{tg}\alpha}{v}} \right)$$

3. Положительно заряженный шарик массой m подвешен на нити длиной L и равномерно движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, направленной вертикально вниз. Заряд шарика q. Нить образует с вертикалью угол α = 60°. Найдите угловую скорость равномерного обращения шарика по окружности.



$$\left(\omega = \sqrt{\left(\frac{qB}{2m}\right)^2 + \frac{2g}{L}} - \frac{qB}{2m} \right)$$

Сравнение электрического и магнитного полей

Электростатическое поле	Вихревое электрическое поле	Магнитное поле
Определение		
Среда, через которую передается электрическое взаимодействие	Среда, через которую передается электрическое взаимодействие	Среда, через которую передается магнитное взаимодействие
Где возникает?		
В пространстве вокруг неподвижного заряда	Порождается переменным магнитным полем	В пространстве вокруг движущихся зарядов
Как обнаружить?		
По действию на пробный неподвижный электрический заряд	По действию на пробный неподвижный электрический заряд	По действию на движущийся заряд или на магнитную стрелку
Общие свойства: поля материальны, непрерывно распределены в пространстве		
Силовая характеристика		
Напряженность электрического поля $\vec{E}$	Напряженность электрического поля $\vec{E}$	Вектор магнитной индукции $\vec{B}$
Силовые линии		
Силовые линии начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных	Силовые линии замкнуты	Силовые линии замкнуты
Характер поля		
Потенциально, т.е. работа не зависит от вида траектории и по замкнутому контуру равна нулю	Вихревое, т.е. работа поля по замкнутому контуру не равна нулю	Вихревое, т.е. работа поля по замкнутому контуру не равна нулю

В природе существует единое *электромагнитное поле.*

Заряженная частица в электрическом и магнитном полях

	Электрическое поле	Магнитное поле
Сила	Электрическая сила (сила Кулона): $F_К = qE = \frac{qU}{d}$	Магнитная сила (сила Лоренца): $F_Л = q\upsilon B \sin\alpha$
Ускорение и его направление	Тангенциальное ускорение: $a_E = \frac{qE}{m}$, $\vec{a}_E \uparrow\uparrow \vec{F}_К$	Нормальное ускорение: $a_B = \frac{q\upsilon B}{m}$, $\vec{a}_B \uparrow\uparrow \vec{F}_Л$
Полное ускорение	$a = \sqrt{a_E^2 + a_B^2}$	

Подсказки к задачам

Задачи	*Подсказки*
1. Электрон движется по прямой в перекрещивающихся под прямым углом электрическом поле напряженностью $\vec{E}$ и магнитном поле с вектором магнитной индукции $\vec{B}$. Определите скорость электрона. **Ответ:** $\upsilon = E / B$	При равномерном прямолинейном движении полное ускорение равно нулю: $a = 0 \Rightarrow a_E = a_B$ $\frac{qE}{m} = \frac{q\upsilon B}{m}$
2. Электрон (m, q_e), ускоренный электрическим полем при разности потенциалов U, влетел в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции $\vec{B}$. Определите радиус окружности, по которой будет двигаться электрон. **Ответ:** $R = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q_e}}$	*Закон сохранения энергии*: $q_eU = \frac{m\upsilon^2}{2} \Rightarrow \upsilon = \sqrt{\frac{2q_eU}{m}}$ *Второй закон Ньютона*: $F_Л = ma_{ц.с.}$ или $q_e\upsilon B = m\frac{\upsilon^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m\upsilon}{q_eB}$

38. В первой экспериментальной установке положительно заряженная частица влетает в однородное магнитное поле так, что вектор скорости $\vec{v}_0$ перпендикулярен индукции магнитного поля (рис. 1). Во второй экспериментальной установке вектор скорости $\vec{v}_0$ такой же частицы параллелен напряженности электрического поля (рис. 2).

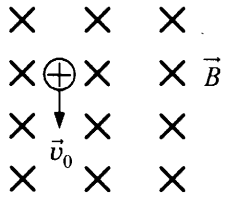


Рис. 1

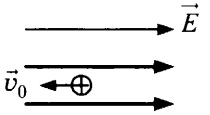


Рис. 2

По каким траекториям движутся частицы в этих установках?

ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ	ТРАЕКТОРИЯ
А) в первой установке	1) прямая линия
Б) во второй установке	2) окружность
	3) спираль
	4) парабола

Ответ:

А	Б

39. Два первоначально покоившихся электрона ускоряются в электрическом поле: первый в поле с разностью потенциалов U, второй $4U$. Ускорившиеся электроны попадают в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны скорости движения электронов. Определите отношение радиусов кривизны траекторий первого и второго электронов в магнитном поле.

Ответ: ____

40. Протон ускоряется постоянным электрическим полем конденсатора, напряжение на обкладках которого 2160 В. Затем он влетает в однородное магнитное поле и движется по дуге окружности радиуса 20 см в плоскости, перпендикулярной линиям магнит-

ной индукции. Каков модуль вектора индукции магнитного поля? Начальной скоростью протона в электрическом поле пренебречь. Масса протона $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг, его заряд $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ мТл

Магнитный поток

$$\Phi = BS\cos\alpha\,,$$

где Ф (Вб) — магнитный поток, B (Тл) — модуль вектора магнитной индукции, S ($м^2$) — площадь, ограниченная контуром, α — угол между вектором $\vec{B}$ и положительной нормалью к контуру $\vec{n}$. Направление положительной нормали определяется *правилом буравчика.*



Внимание. Очень часто в условии задачи дается информация о значении угла β между плоскостью контура и вектором магнитной индукции, тогда $\alpha = 90° - \beta$ и

$$\Phi = BS\cos(90° - \beta)\,.$$

Магнитный поток вращающейся рамки:

$$\Phi = BS\cos(\omega t)\,,$$

где ω — угловая скорость вращения рамки.

Магнитный поток вращающейся рамки (N витков):

$$\Phi = NSB\cos(\omega t)\,.$$

Магнитный поток Ф и индуктивность L проводника:

$$\Phi = LI\,, \quad N\Phi = LI\,.$$

Индуктивность

Индуктивность L (Гн) характеризует способность проводника создавать магнитный поток.

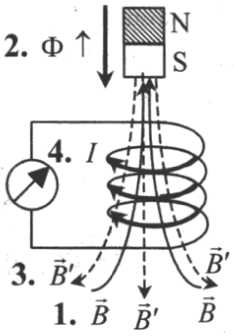
Индуктивность — коэффициент пропорциональности между магнитным потоком Ф и силой тока I.

Индуктивность — мера инертности электрической цепи.

Правило Ленца

Правило Ленца: *в замкнутом проводящем контуре возникает индукционный ток такого направления, что созданное им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, в результате которого этот ток возник. Таким образом, индукционное магнитное поле препятствует изменению внешнего магнитного поля.*

Алгоритм решения задач на определение направления индукционного тока с помощью правила Ленца



1. Определить направление вектора магнитной индукции $\vec{B}$ внешнего магнитного поля.

Учтите: у постоянного магнита и электромагнита вектор магнитной индукции $\vec{B}$ выходит из северного полюса.

2. Определить, какие изменения происходят с магнитным потоком Ф.

Учтите: магнитный поток увеличивается, если:

а) магнит (или электромагнит) приближается к проводнику;

б) вектор магнитной индукции увеличивается;

в) площадь контура увеличивается.

3. Определить направление вектора магнитной индукции $\vec{B}'$ магнитного поля, созданного индукционным током.

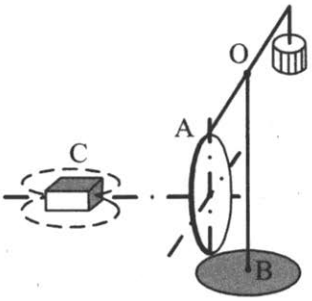
Учтите: а) при увеличении магнитного потока направление вектора магнитной индукции индукционного тока противоположно направлению вектора магнитной индукции внешнего магнитного поля, т.е. если Ф $\uparrow$, то $\vec{B}' \uparrow\downarrow \vec{B}$;

б) при уменьшении магнитного потока направление вектора магнитной индукции индукционного тока совпадает с направлением вектора магнитной индукции внешнего магнитного поля, т.е. если Ф $\downarrow$, то $\vec{B}' \uparrow\uparrow \vec{B}$.

4. Определить направление индукционного тока I, пользуясь правилом буравчика.

ЗАДАЧИ

41. Медное кольцо на горизонтальном коромысле поворачивается вокруг вертикальной оси OB под действием движущегося магнита C. Установите соответствие между направлением движения магнита, вращением коромысла с кольцом и направлением индукционного тока в кольце.



МАГНИТ

А) Движется по направлению к кольцу, северный полюс обращен к кольцу

Б) Движется к кольцу, к кольцу обращен южный полюс

ПОВОРОТ КОРОМЫСЛА И ТОК В КОЛЬЦЕ

1) коромысло с кольцом поворачивается, отталкиваясь от магнита, ток идет по часовой стрелке
2) коромысло с кольцом поворачивается, отталкиваясь от магнита, ток идет против часовой стрелки
3) коромысло с кольцом поворачивается, притягиваясь к магниту, ток идет по часовой стрелке
4) коромысло с кольцом поворачивается, притягиваясь к магниту, ток идет против часовой стрелки

Ответ:

А	Б

Закон электромагнитной индукции

ЭДС индукции равна скорости изменения магнитного потока, взятой со знаком минус (следствие правила Ленца).

Для одного витка	Для N витков
$\mathcal{E}_i = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{\Phi_0 - \Phi}{\Delta t}$	$\mathcal{E}_i = -N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
$\mathcal{E}_i = -\dfrac{\Delta B}{\Delta t} S\cos\alpha = \dfrac{B_0 - B}{\Delta t} S\cos\alpha$	$\mathcal{E}_i = -N\dfrac{\Delta B}{\Delta t} S\cos\alpha$
$\mathcal{E}_i = -\dfrac{\Delta S}{\Delta t} B\cos\alpha = \dfrac{S_0 - S}{\Delta t} B\cos\alpha$	$\mathcal{E}_i = -N\dfrac{\Delta S}{\Delta t} B\cos\alpha$
$\mathcal{E}_i = -\dfrac{\Delta\cos\alpha}{\Delta t} BS = \dfrac{\cos\alpha_0 - \cos\alpha}{\Delta t} BS$	$\mathcal{E}_i = -N\dfrac{\Delta\cos\alpha}{\Delta t} BS$

ЭДС индукции равна первой производной от магнитного потока по времени, взятой со знаком минус:

$\mathcal{E}_i = -\Phi'(t)$	$\mathcal{E}_i = NBS\omega\sin(\omega t)$
$\mathcal{E}_i = BS\omega\sin(\omega t)$	

ЭДС индукции в движущихся проводниках:

$$\mathcal{E}_i = Bvl\sin\alpha,$$

где α – угол между векторами $\vec{B}$ и $\vec{v}$.

ЭДС индукции прямо пропорциональна скорости изменения силы тока, взятой со знаком минус:

ЭДС индукции и индуктивность	Магнитный поток и индуктивность
$\mathcal{E}_i = -L\dfrac{\Delta I}{\Delta t} = L\dfrac{I_0 - I}{\Delta t}$	$N\Phi = LI$ $N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$

Самоиндукция

При изменении силы тока в катушке происходит изменение магнитного потока, создаваемого этим током. Изменение магнитного потока, пронизывающего катушку, должно вызывать появление ЭДС индукции в катушке.

Явление возникновения ЭДС индукции в электрической цепи в результате изменения силы тока в этой цепи называют **самоиндукцией.**

В соответствии с правилом Ленца ЭДС самоиндукции препятствует нарастанию силы тока при включении и убыванию силы тока при выключении цепи. Индуктивность аналогична массе, т.е. является мерой инертности электрической цепи:

$$\mathcal{E}_{is} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Энергия магнитного поля:

$$W_{\text{м}} = \frac{LI^2}{2}.$$

ЗАДАЧИ

42. За 5 с магнитный поток, пронизывающий проволочную рамку, увеличился от 3 до 8 Вб. Чему равно при этом значение ЭДС индукции в рамке?

Ответ: ____ В

43. Замкнутый проводник сопротивлением R = 3 Ом находится в магнитном поле. В результате изменения этого поля магнитный поток, пронизывающий контур, возрос с Φ_1 = 0,002 Вб до Φ_2 = 0,005 Вб. Какой заряд прошел через поперечное сечение проводника?

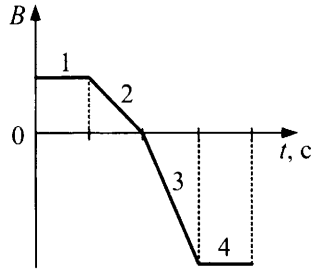
Ответ: ____ мКл

44. Круглый проволочный виток площади S = 2 м^2 расположен перпендикулярно линиям вектора магнитной индукции однородного магнитного поля. Величина вектора магнитной индукции равна 0,04 Тл. За время t = 0,01 с магнитное поле равномерно спадает до нуля. Чему равна ЭДС индукции, генерируемая при этом в витке?

Ответ: ____ В

45. Виток провода находится в магнитном поле, перпендикулярном плоскости витка, и своими концами замкнут на амперметр. Магнитная индукция поля меняется с течением времени согласно

графику на рисунке. Какому участку графика соответствует максимальное показание амперметра?

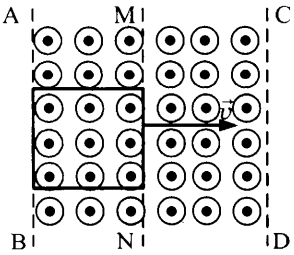


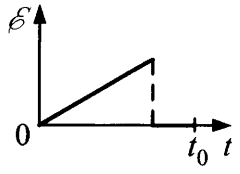
Ответ: ____

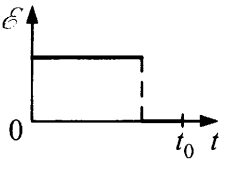
46. В опыте по исследованию ЭДС электромагнитной индукции квадратная рамка из тонкого провода со стороной квадрата b находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости рамки. Индукция поля возрастает за время t по линейному закону от 0 до максимального значения B_{max}. Во сколько раз увеличится ЭДС индукции, возникающая в рамке, если b увеличить в 2 раза?

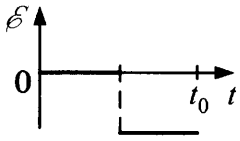
Ответ: в ____ раз(а)

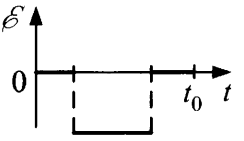
47. В некоторой области пространства, ограниченной плоскостями AB и CD, создано однородное магнитное поле. Металлическая квадратная рамка движется с постоянной скоростью $\vec{v}$, направленной вдоль плоскости рамки и перпендикулярно его силовым линиям. На каком из графиков правильно показана зависимость от времени ЭДС индукции в рамке, если в начальный момент времени рамка начинает пересекать линию MN (см. рисунок), а в момент времени t_0 задней стороной пересекает линию CD?



1) 

2) 

3) 

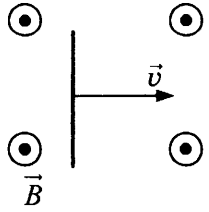
4) 

Ответ: ____

48. При скорости υ_1 поступательного движения прямолинейного проводника в постоянном однородном магнитном поле на концах проводника возникает разность потенциалов U. При движении этого проводника в том же направлении в той же плоскости со скоростью υ_2 разность потенциалов на концах проводника уменьшилась в 4 раза. Чему равно отношение υ_1 / υ_2?

Ответ: ____

49. Горизонтально расположенный проводник движется равноускоренно в вертикальном однородном магнитном поле, индукция которого равна 1 Тл и направлена перпендикулярно проводнику и скорости его движения (см. рисунок). При начальной скорости проводника, равной нулю, и ускорении 8 м/с^2 проводник переместился на 1 м. ЭДС индукции на концах проводника в конце перемещения равна 6 В. Какова длина проводника?

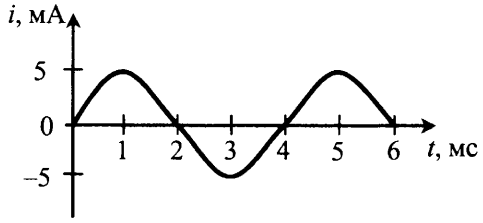


Ответ: ____ м

50. В проводнике индуктивностью 5 мГн сила тока в течение 0,2 с равномерно возрастает с 2 А до какого-то конечного значения. При этом в проводнике возбуждается ЭДС самоиндукции, равная 0,2 В. Определите конечное значение силы тока в проводнике.

Ответ: ____ А

51. На рисунке приведен график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре, состоящем из последовательно соединенных конденсатора и катушки, индуктивность которой равна 0,2 Гн. Определите максимальное значение энергии магнитного поля катушки.



Ответ: ____ мкДж

52. Чему равна энергия магнитного поля соленоида, в котором при силе тока 10 А возникает магнитный поток 1 Вб?

Ответ: ____ Дж

53. Во сколько раз надо уменьшить индуктивность катушки, чтобы при неизменном значении силы тока в ней энергия магнитного поля катушки уменьшилась в 4 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

54. В катушке сила тока равномерно увеличивается со скоростью 2 А/с. При этом в ней возникает ЭДС самоиндукции 20 В. Какова энергия магнитного поля катушки при силе тока в ней 5 А?

Ответ: ____ Дж

Повторение

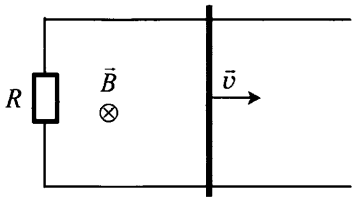
Закон Ома	$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$
Сопротивление	$R = \frac{\rho l}{S}$
Длина металлического кольца	$l = \pi D$, где D — диаметр кольца
Площадь сечения провода	$S = \frac{\pi d^2}{4}$, где d — диаметр провода

ЗАДАЧИ

55. Медное кольцо из провода диаметром 2 мм расположено в однородном магнитном поле, магнитная индукция которого меняется по модулю со скоростью 1,09 Тл/с. Плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции. Чему равен диаметр кольца, если возникающий в нем индукционный ток равен 10 А? Удельное сопротивление меди $\rho_{\text{меди}} = 1,72 \cdot 10^{-8}$ Ом · м. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ м

56. Прямоугольный контур, образованный двумя рельсами и двумя перемычками, находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости контура. Правая перемычка скользит по рельсам, сохраняя надежный контакт с ними. Известны величины: индукция магнитного поля $B = 0,1$ Тл, расстояние между рельсами $l = 10$ см, скорость движения перемычки $v = 2$ м/с, сопротивление контура $R = 2$ Ом. Какова сила индукционного тока в контуре?



Ответ: ____ мА

11. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Свободные колебания

Основные характеристики колебаний

Механические колебания — это процессы в механических системах, в которых периодически изменяются координата, скорость, ускорение и сила	**Электромагнитные колебания** — процессы в электрических цепях, в которых периодически изменяются заряд, сила тока, напряжение и ЭДС
Свободные колебания	
Свободные механические колебания возможны в системе, находящейся в состоянии устойчивого равновесия и если трение в системе мало. 1. Для начала свободных колебаний достаточно вывести систему из положения равновесия, т.е. сообщить ей дополнительную механическую энергию. 2. Свободные механические колебания из-за трения являются затухающими	В электрических цепях возможны свободные колебания, если сопротивление пренебрежимо мало (например, при сверхпроводимости). 1. Для начала свободных электромагнитных колебаний достаточно сообщить заряд конденсатору, т.е. передать колебательной системе электрическую энергию. 2. Свободные электромагнитные колебания затухают из-за сопротивления

Период T (с) — время одного полного колебания:

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

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

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

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

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

Амплитуда — модуль наибольшего значения изменяющейся величины.

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

Закон гармонических механических колебаний:

$$x = X_m \cos(\omega t + \varphi_0) \text{ или } x = X_m \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где x — мгновенное значение смещения тела от положения равновесия, X_m — амплитуда колебаний, $\varphi = \omega t + \varphi_0$ — фаза колебаний, φ_0 — начальная фаза колебаний, ω — циклическая частота.

Подсказки к задачам

Закон изменения координаты	$x = X_m \cos(\omega t + \varphi_0)$
Закон изменения скорости	$\upsilon = x'(t) = -X_m \omega \sin(\omega t + \varphi_0)$
Амплитуда скорости	$\upsilon_m = X_m \omega$
Закон изменения ускорения	$a = x''(t) = -X_m \omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0)$
Амплитуда ускорения	$a_m = X_m \omega^2$
Амплитудное значение силы	$F_m = ma_m = mX_m \omega^2$

ЗАДАЧИ

1. При гармонических колебаниях вдоль оси $0X$ координата тела изменяется по закону $x = 0{,}9 \cdot \cos(5t)$ м. Чему равна амплитуда колебаний?

Ответ: ____ м

2. Скорость тела, совершающего гармонические колебания, меняется с течением времени в соответствии с уравнением $\upsilon_x = 3 \cdot 10^{-2} \sin(2\pi t)$, где все величины выражены в СИ. Чему равна амплитуда колебаний скорости?

Ответ: ____ м/с

3. При гармонических колебаниях вдоль оси $0X$ координата тела изменяется по закону $x = 0{,}9 \sin(6t)$ м. Чему равна циклическая частота колебаний?

Ответ: ____ рад/с

4. При гармонических колебаниях вдоль оси $0X$ координата тела изменяется по закону $x = 0,02\cos(20\pi t)$ м. Чему равна частота колебаний?

Ответ: ____ Гц

5. Тело колеблется вдоль оси X так, что его координата изменяется во времени по закону $x = 5\cos(\pi t)$. Определите период колебаний тела.

Ответ: ____ с

6. Материальная точка движется по оси x. Ее координата меняется по закону $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ФОРМУЛЫ
А) период колебаний материальной точки T	1) $\dfrac{2\pi}{\omega}$
Б) амплитуда ускорения точки a_{max}	2) $2\pi\omega^2$
	3) ωA
	4) $\omega^2 A$

Ответ:

А	Б

Закон гармонических электромагнитных колебаний:

$$q = q_m \sin(\omega t + \varphi_0) \text{ или } q = q_m \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где q — мгновенное значение заряда на конденсаторе, q_m — амплитуда заряда, $\varphi = \omega t + \varphi_0$ — фаза колебаний, φ_0 — начальная фаза колебаний, ω — циклическая частота

Подсказки к задачам

Закон изменения заряда	$q = q_m \sin(\omega t + \varphi_0)$
Закон изменения силы тока	$i = q'(t) = q_m\omega\cos(\omega t + \varphi_0)$
Амплитуда силы тока	$I_m = q_m\omega$
Электроемкость конденсатора и закон изменения напряжения	$C = \dfrac{q}{U};\ u = \dfrac{q_m}{C}\sin(\omega t + \varphi_0)$
Амплитуда напряжения	$U_m = \dfrac{q_m}{C}$

ЗАДАЧИ

7. Амплитудное значение заряда на конденсаторе равно 2 мкКл. Чему равно значение заряда на конденсаторе через 1/6 часть периода колебаний после достижения этого значения? Колебания происходят по закону косинуса. Начальная фаза колебаний равна нулю.

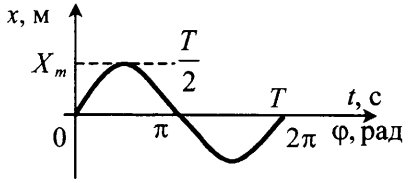
Ответ: ____ мкКл

8. Колебания напряжения на конденсаторе в цепи переменного тока описываются уравнением: $u = 50\cos(100\pi t)$, где все величины выражены в СИ. Емкость конденсатора равна 2 мкФ. Определите заряд конденсатора через $T/4$ после начала колебаний.

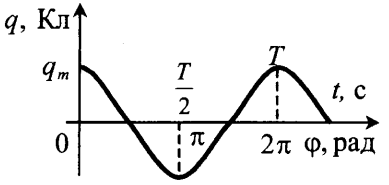
Ответ: ____ Кл

Графики колебательного процесса ($\varphi_0 = 0$)

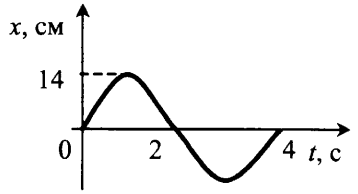
Синусоида



Косинусоида

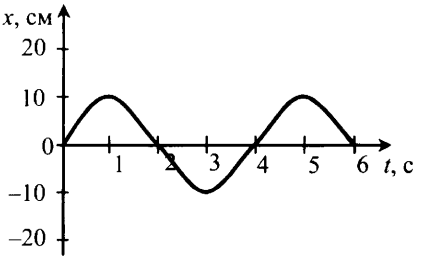


Подсказка к задаче

Задача	*Подсказка*
Используя график колебательного процесса, определите закон гармонических колебаний. 	Амплитуда $X_m = 0,14$ м Период 4 с Частота $\nu = \frac{1}{T} = 0,25$ Гц Циклическая частота $\omega = 2\pi\nu = \frac{\pi}{2}$ Уравнение $x = 0,14\sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)$

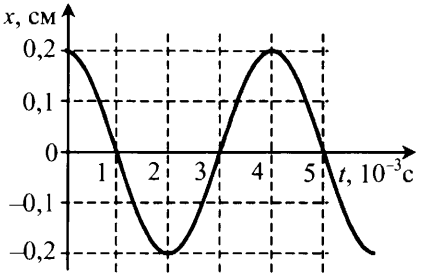
ЗАДАЧИ

9. На рисунке представлена зависимость координаты центра шара, подвешенного на пружине, от времени. Чему равна амплитуда колебаний?



Ответ: ____ см

10. На рисунке показан график колебаний одной из точек струны. Чему равна частота этих колебаний?



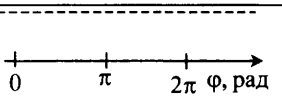
Ответ: ____ Гц

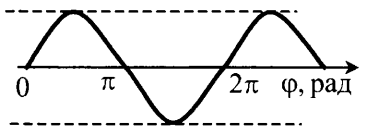
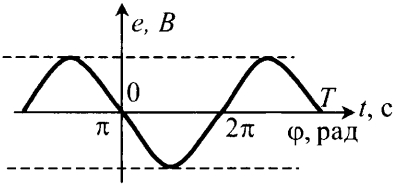
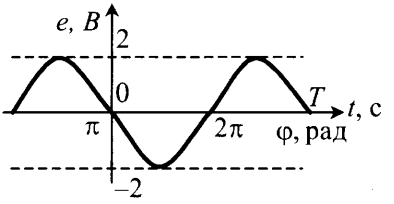
Алгоритм построения графика колебательного процесса

$(\varphi_0 \neq 0)$

Задание. Постройте график колебательного процесса

$$e = 2\sin(5\pi t + \pi)$$

1. Провести горизонтальную ось	
2. Снизу проградуировать по фазе	
3. Сверху и снизу провести горизонтальные линии в соответствии с амплитудным значением	

4. Построить (согласно уравнению) синусоиду или косинусоиду из точки, фаза которой равна нулю	
5. Провести вертикальную ось через точку, соответствующую начальной фазе	
6. Сверху горизонтальную ось проградуировать по времени. Указать амплитудное значение	

Математический маятник

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

Маятник считают математическим, если он удовлетворяет трем условиям:

1) размеры нити значительно превышают размеры груза,

2) нить нерастяжима и невесома, т.е. вся масса маятника сосредоточена в массе груза,

3) отклонения нити малы (длина дуги $\approx$ длине хорды).

Физическая величина	**Формула**
Период	$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{a_{\text{поли}}}}$ *Внимание.* Период математического маятника не зависит от массы груза и амплитуды колебаний
Частота	$\nu = \frac{\sqrt{g}}{2\pi\sqrt{l}}$
Циклическая частота	$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$

Путь колеблющегося тела за часть периода (за определенное изменение фазы)	$l\left(\frac{T}{4}\right) = l\left(\frac{\pi}{2}\right) = X_m$ $l\left(\frac{T}{2}\right) = l(\pi) = 2X_m$ $l\left(\frac{3T}{4}\right) = l\left(\frac{3\pi}{2}\right) = 3X_m$ $l(T) = l(2\pi) = 4X_m$
Путь за N полных колебаний	$l = N4X_m$
Полное ускорение в вертикальном электростатическом поле, в котором $\vec{E} \downarrow$ и $q > 0$	$a_{\text{полн}} = g + \frac{qE}{m}$
Полное ускорение в вертикальном электростатическом поле, в котором $\vec{E} \uparrow$ и $q > 0$	$a_{\text{полн}} = g - \frac{qE}{m}$

ЗАДАЧИ

11. Во сколько раз уменьшится период математического маятника, если его длину и массу уменьшить в 4 раза?

Ответ: в ____ раз(а)

12. Во сколько раз увеличится частота гармонических свободных колебаний математического маятника при уменьшении его длины в 9 раз?

Ответ: в ____ раз(а)

13. На некоторой планете период колебаний секундного земного математического маятника оказался равным 2 с. Определите ускорение свободного падения на этой планете.

Ответ: ____ м/с^2

14. Амплитуда свободных колебаний тела равна 0,5 м. Какой путь прошло это тело за 3 периода колебаний?

Ответ: ____ м

15. В первой серии опытов исследовались малые колебания груза на нити. Затем тот же груз подвесили на нити меньшей длины. Максимальные углы отклонения нити от вертикали в опытах одинаковы. Как при переходе от первой серии опытов ко второй изменяются период и амплитуда колебаний?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) период колебаний	1) увеличивается
Б) амплитуда колебаний	2) уменьшается
	3) не изменяется

Ответ:

А	Б

16. Шарик массой $m = 20$ г подвешен на шелковой нити длиной $l = 10$ см. Шарик имеет положительный заряд $q = +10^{-5}$ Кл и находится в однородном электрическом поле напряженностью $E = 10^4$ В/м, направленной вертикально вниз. Каков период малых колебаний шарика? Ответ округлите до тысячных.

Ответ: ____ с

17. Полый металлический шарик массой 2 г подвешен на шелковой нити длиной 50 см. Шарик имеет положительный заряд 10^{-8} Кл и находится в однородном электрическом поле напряженностью 10^6 В/м, направленной вертикально вниз. Каков период малых колебаний шарика? Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____ с

18. Полый металлический шарик массой 2 г подвешен на шелковой нити и помещен над положительно заряженной плоскостью, создающей однородное вертикальное электрическое поле напряженностью 10^6 В/м. Шарик имеет положительный заряд 10^{-8} Кл. Период малых колебаний шарика 1 с. Какова длина нити? Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ см

Пружинный маятник

Физическая величина	Формула
Период	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ *Внимание.* Период пружинного маятника не зависит от амплитуды колебаний
Частота	$\nu = \frac{\sqrt{k}}{2\pi\sqrt{m}}$
Циклическая частота	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Подсказки к задачам на пружинный маятник

Закон Гука	$F_{упр} = kx$, где $x = \Delta l = \lvert l - l_0 \rvert$ — деформация пружины
Параллельное соединение пружин	$k_{парал} = k_1 + k_2$
Последовательное соединение пружин	$\frac{1}{k_{посл}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$

ЗАДАЧИ

19. Период колебаний пружинного маятника 1 с. Каким будет период колебаний, если массу груза маятника увеличить в 4 раза?

Ответ: ____ с

20. Груз массой 0,16 кг, подвешенный на пружине, совершает свободные гармонические колебания. Какой массы новый груз нужно подвесить вместо первого, чтобы период колебаний уменьшился в 2 раза?

Ответ: ____ кг

21. Груз, подвешенный на легкой пружине жесткостью 400 Н/м, совершает свободные гармонические колебания. Пружину с какой

жесткостью нужно взять, чтобы частота колебаний этого же груза увеличилась в 2 раза?

Ответ: ____ Н/м

22. К двум пружинкам одинаковой жесткости $k = 50$ Н/м, соединенным последовательно, подвешен груз массой $m = 1$ кг. Определите период собственных колебаний этой системы. Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____ с

23. Груз массой 1 кг подвесили на невесомой пружине, и он мог совершать вертикальные гармонические колебания с некоторой частотой. Затем параллельно первой пружине присоединили вторую такую же и подвесили к ним другой груз. Частота колебаний новой системы оказалась вдвое меньше, чем прежней. Чему равна масса второго груза?

Ответ: ____ кг

Электрический контур

Физическая величина	**Формула**
Период	$T = 2\pi\sqrt{LC}$
Частота	$\nu = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
Циклическая частота	$\omega = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$

Подсказки к задачам на электрический контур

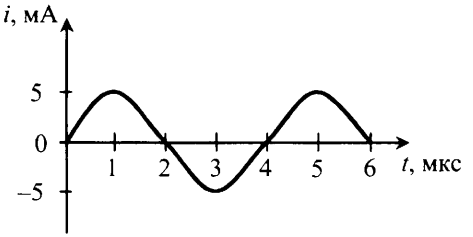
Электроемкость конденсатора	$C = \dfrac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$
Параллельное соединение конденсаторов	$C_{\text{парал}} = C_1 + C_2$
Последовательное соединение конденсаторов	$\dfrac{1}{C_{\text{посл}}} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2}$
Параллельное соединение катушек индуктивности	$\dfrac{1}{L_{\text{парал}}} = \dfrac{1}{L_1} + \dfrac{1}{L_2}$
Последовательное соединение катушек индуктивности	$L_{\text{посл}} = L_1 + L_2$

ЗАДАЧИ

24. Во сколько раз увеличится период собственных колебаний контура, если его индуктивность увеличить в 10 раз, а емкость уменьшить в 2,5 раза?

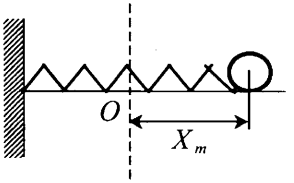
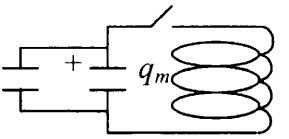
Ответ: в ____ раз(а)

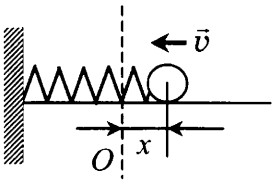
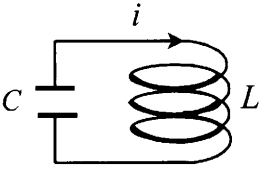
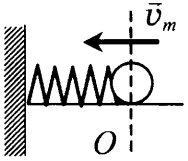
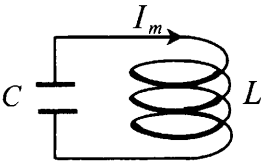
25. На рисунке приведен график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре при свободных колебаниях. Каким станет период собственных колебаний контура, если емкость конденсатора увеличить в 4 раза?



Ответ: ____ мкс

Превращения энергии

Пружинный маятник	**Электрический контур**
Начало колебаний $t = 0$	
Груз отклоняют от положения равновесия ($v = 0$)  $E = E_p + E_k = \frac{kX_m^2}{2}$	Конденсатор заряжают, сообщив ему электрическую энергию ($i = 0$)  $W = W_э + W_м = \frac{q_m^2}{2C} = \frac{CU_m^2}{2}$

Пружинный маятник	Электрический контур
$t < T/4$	
Деформация пружины уменьшается ($E_p \downarrow$), скорость груза растет ($E_k \uparrow$)  $E = E_p + E_k = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$	Конденсатор разряжается ($W_э \downarrow$), сила тока через катушку увеличивается ($W_м \uparrow$)  $W = W_э + W_м = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}$
$t = T/4$	
Груз проходит положение равновесия ($E_p = 0$), а скорость максимальна ($E_{k\,max}$)  $E = E_p + E_k = \frac{mv_m^2}{2}$	Конденсатор полностью разрядился ($W_э = 0$), сила тока имеет наибольшее значение ($W_{м\,max}$)  $W = W_э + W_м = \frac{LI_m^2}{2}$
Через четверть периода потенциальная энергия перешла в кинетическую. Затем опять перейдет в потенциальную ($T/2$), потом в кинетическую ($3T/4$), снова в потенциальную (T). Процесс происходил бы бесконечно долго, если бы не трение	Через четверть периода электрическая энергия перешла в магнитную. Затем опять перейдет в электрическую ($T/2$), потом в магнитную ($3T/4$), снова в электрическую (T). Процесс происходил бы бесконечно долго, если бы не было сопротивления

Закон сохранения энергии	
Если трение в системе мало ($F_{тр} \to 0$), то $E_{pm} = E_p + E_k = E_{km}$ $\frac{kX_m^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_m^2}{2}$	Если сопротивление цепи мало ($R \to 0$), то $W_{эт} = W_э + W_м = W_{мт}$ $\frac{q_m^2}{2C} = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$ или $\frac{CU_m^2}{2} = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$
Работа силы трения приводит к тому, что часть механической энергии переходит во внутреннюю и колебания затухают $E_0 = E + Q$	Сопротивление приводит к тому, что часть электрической энергии переходит во внутреннюю и колебания затухают $W_0 = W + Q$

Учтите: $T_{энергии} = \frac{T_{колебаний}}{2}$; $\nu_{энергии} = 2\nu_{колебаний}$.

ЗАДАЧИ

26. Сколько раз за один период колебаний груза на пружине потенциальная энергия пружины и кинетическая энергия груза принимают равные значения?

Ответ: ____

27. С какой скоростью проходит груз пружинного маятника, имеющего массу 0,1 кг, положение равновесия, если жесткость пружины 40 Н/м, а амплитуда колебаний 2 см?

Ответ: ____ м/с

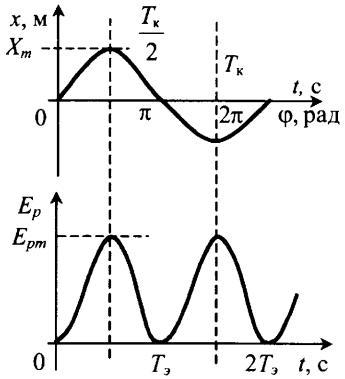
28. Амплитуда колебаний пружинного маятника 4 см, масса груза 400 г, жесткость пружины 40 Н/м. Чему равна полная механическая энергия пружинного маятника?

Ответ: ____ мДж

Примеры графиков

Пружинный маятник

$$x = X_m \sin(\omega t)$$



$$E_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{kX_m^2 \sin^2(\omega t)}{2}$$

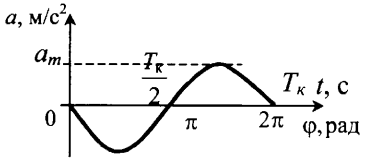
Полная энергия

$$F_{тр} \to 0$$

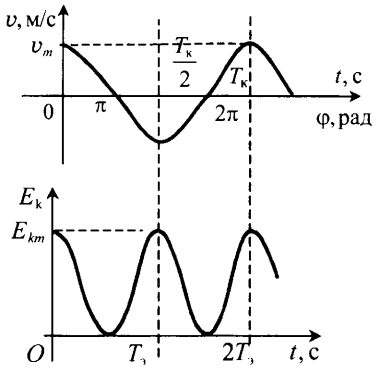
$$E_{pm} = E_p + E_k = E_{km}$$

$$\frac{kX_m^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{m\upsilon_m^2}{2}$$

$$a = x''(t) = -X_m\omega^2 \sin(\omega t)$$

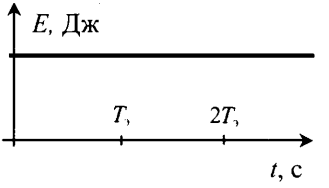


$$\upsilon = x'(t) = X_m\omega \cos(\omega t)$$

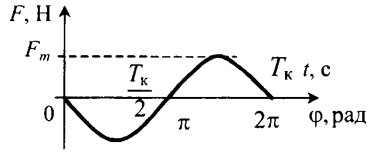


$$E_k = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{m\omega^2 X_m^2 \cos^2(\omega t)}{2}$$

$$E_{полн} = E_{pm} = E_{km}$$

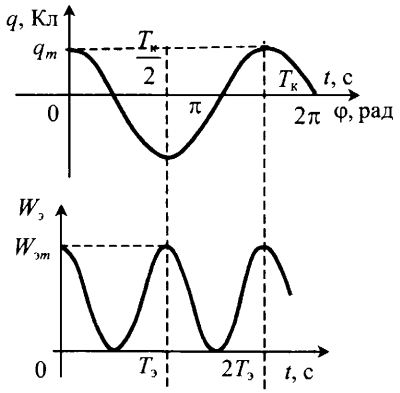


$$F = ma = mX_m\omega^2 \sin(\omega t)$$



Электрический контур

$q = q_m \cos(\omega t)$



$$W_э = \frac{q^2}{2C} = \frac{q_m^2 \cos^2(\omega t)}{2C}$$

Полная энергия

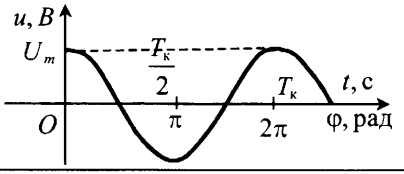
$R \to 0$; $W_{эm} = W_э + W_м = W_{мm}$

$$\frac{q_m^2}{2C} = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$$

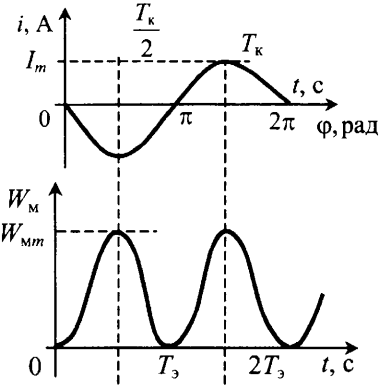
или

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$$

$$u = \frac{q_m}{C}\cos(\omega t)$$

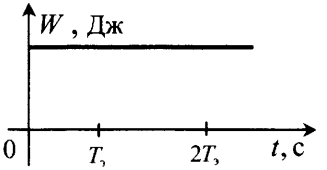


$i = q'(t) = -q_m \omega \sin(\omega t)$



$$W_м = \frac{Li^2}{2} = \frac{LI_m^2 \sin^2(\omega t)}{2}$$

$W_{полн} = W_{эт} = W_{мт}$

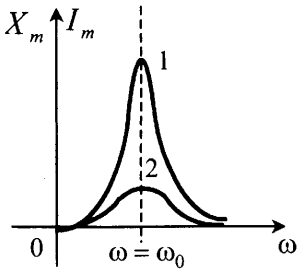


Вынужденные колебания

Вынужденные *механические колебания* происходят под действием внешней периодически изменяющейся силы	Вынужденные *электромагнитные колебания* происходят под действием внешней периодически изменяющейся ЭДС

Резонанс — явление резкого возрастания амплитуды колебаний, которое происходит при совпадении частоты вынуждающей силы и собственной частоты колебательной системы	**Резонанс** — явление резкого возрастания амплитуды силы тока, которое происходит при совпадении частоты внешнего переменного напряжения и собственной частоты колебательного контура
Резонанс в механических системах может привести к разрушению	Резонанс может привести к перегреву электрических цепей, но в радиосвязи позволяет настроить приемник на частоту передающей станции

График вынужденных колебаний



Амплитуда во время резонанса в первой колебательной системе увеличивается больше, так как трение в ней меньше, чем во второй системе: $F_{тр.1} < F_{тр.2}$	Амплитуда тока во время резонанса в первом электрическом контуре увеличивается больше, так как сопротивление в нем меньше, чем во втором контуре: $R_1 < R_2$

Переменный электрический ток

Переменный электрический ток — пример вынужденных электромагнитных колебаний. Если мощность переменного тока равна мощности постоянного тока, то говорят о *действующем* значении переменного тока.

Действующее (эффективное) значение силы тока:

$$I_д = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Действующее (эффективное) значение напряжения:

$$U_д = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

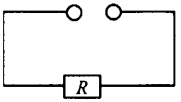
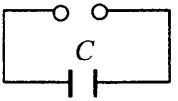
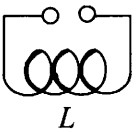
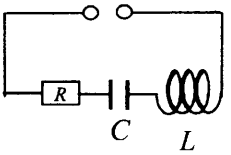
Закон Ома для действующих значений:

$$I_д = \frac{U_д}{Z}.$$

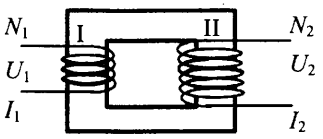
Закон Джоуля–Ленца:

$$Q = I_д^2 Rt = \frac{U_д^2}{R}t.$$

Нагрузки в цепи переменного тока

Сопротивление	Схема	Закон Ома
Активное или омическое сопротивление R		$I_m = \frac{U_m}{R}$
Емкостное сопротивление $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$		$I_m = \frac{U_m}{X_C}$
Индуктивное сопротивление $X_L = \omega L = 2\pi\nu L$		$I_m = \frac{U_m}{X_L}$
Полное сопротивление при последовательном соединении $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$		$I_m = \frac{U_m}{Z}$ Резонанс бывает, если $X_C = X_L$

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



1. Первичная катушка I подключается в сеть.
2. Ко вторичной катушке II подключают нагрузку.
3. Стальной сердечник изготовлен из наборных пластин.

Закон холостого хода трансформатора (цепь вторичной катушки разомкнута):

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

Закон рабочего хода трансформатора:

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

Коэффициент трансформации:

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

Повышающий трансформатор $k < 1$, а понижающий трансформатор $k > 1$.

КПД трансформатора $\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100\%$.

УПРАЖНЕНИЯ

1. Трансформатор понижает напряжение с 240 до 120 В. Определите число витков во вторичной катушке трансформатора, если первичная катушка содержит 80 витков. **(40)**

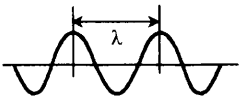
2. Трансформатор понижает напряжение с 240 до 12 В. Во сколько раз число витков в первичной катушке отличается от числа витков во вторичной? **(В первичной катушке в 20 раз больше)**

3. Напряжение на концах первичной обмотки трансформатора 127 В, сила тока в ней 1 А. Напряжение на концах вторичной обмотки 12,7 В, сила тока в ней 8 А. Чему равен КПД трансформатора? **(80%)**

Волны

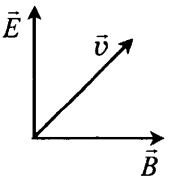
Длина волны λ (м)

• Расстояние, на которое распространится волна за время одного полного колебания частицы (за период).



• Расстояние между двумя ближайшими «горбами» или «впадинами».

• Кратчайшее расстояние между точками, колеблющимися в фазе.

Механические волны	Электромагнитные волны
Источники волн	
Колеблющееся в упругой среде тело	Ускоренно движущаяся заряженная частица
Возникновение волн	
Если одна частица среды приходит в колебательное движение, то благодаря силам взаимодействия соседние с ней частицы также начнут колебаться	Ускоренно движущийся заряд создает переменный ток, вокруг которого возникает переменное магнитное поле. Оно порождает переменное электрическое поле, которое приводит к возникновению переменного магнитного поля и т.д.
Определение	
Механическая волна — процесс распространения колебаний в упругой среде	*Электромагнитная волна* — процесс распространения переменных магнитных и электрических полей
Виды волн	
В *поперечных* волнах направление колебания частиц $(\vec{\upsilon}_к)$ перпендикулярно направлению распространения волны $(\vec{\upsilon}_ф)$: $\vec{\upsilon}_к \perp \vec{\upsilon}_ф$ (пример: волны на воде) В *продольных* волнах направление колебания частиц параллельно направлению распространения волны: $\vec{\upsilon}_к \parallel \vec{\upsilon}_ф$ (пример: звуковые волны)	Электромагнитные волны относятся к *поперечным* волнам: $\vec{\upsilon} \perp \vec{B} \perp \vec{E}$ 

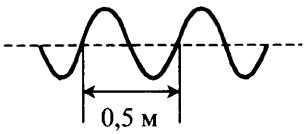
Механические волны	Электромагнитные волны
Скорость распространения	
Механические волны быстрее всего распространяются в твердых средах, медленнее в жидких и еще медленнее в газах *Учтите:* механические волны в вакууме не распространяются	Электромагнитные волны имеют наибольшую скорость в вакууме, равную скорости света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с
Длина волны	
$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu} = \frac{2\pi v}{\omega}$	В вакууме $\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu} = c2\pi\sqrt{LC}$
Расстояние от источника до наблюдателя	
$l = v \cdot t$, где $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu$ — скорость волны t — время движения волны от источника колебаний до наблюдателя	$l = c \cdot t$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с
Отражение волн	
Эхо — отражение звуковых волн от преграды. Расстояние до преграды $l = v_{зв} \cdot \frac{\tau}{2}$, τ — время движения волны от источника и обратно Скорость звука в воздухе $v_{звука} \approx 330$ м/с	**Радиолокация** — способ обнаружения объекта с помощью радиоволн. Расстояние до объекта $l = c \cdot \frac{\tau}{2}$ Скорость радиоволн $c = 3 \cdot 10^8$ м/с

ЗАДАЧИ

29. Волна с периодом колебаний 0,5 с распространяется со скоростью 20 м/с. Чему равна длина волны?

Ответ: ____ м

30. Учитель продемонстрировал опыт по распространению волны по длинному шнуру. В один из моментов времени форма шнура оказалась такой, как показано на рисунке. Скорость распространения колебания по шнуру равна 3 м/с. Чему равна частота колебаний?



Ответ: ____ Гц

31. Мужской голос баритон занимает частотный интервал от $\nu_1 = 100$ Гц до $\nu_2 = 400$ Гц. Чему равно отношение длин звуковых волн λ_1 / λ_2, соответствующих границам этого интервала?

Ответ: ____

32. Установите соответствие между именами ученых XIX века и их вкладом в развитие электродинамики.

ИМЕНА УЧЕНЫХ	ВКЛАД УЧЕНОГО В НАУКУ
А) Дж. Максвелл	1) Экспериментально обнаружил распространение электромагнитных волн в воздухе
Б) Г. Герц	2) Обнаружил магнитное поле вокруг проводника с током
	3) Создал теорию распространения электромагнитных волн
	4) Открыл явление электромагнитной индукции

Ответ:

А	Б

33. На какую длину волны нужно настроить радиоприемник, чтобы слушать радиостанцию «Наше радио», которая вещает на частоте 101,7 МГц? Скорость распространения электромагнитных волн $c = 3 \cdot 10^8$ м / с. Ответ округлите до сотых.

Ответ: ____ м

34. Колебательный контур радиопередатчика содержит конденсатор емкости 0,1 нФ и катушку индуктивности 1 мкГн. На какой дли-

не волны работает радиопередатчик? Скорость распространения электромагнитных волн $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ м

35. При настройке контура радиопередатчика его емкость увеличили. Как при этом изменились частота излучаемых волн и длина волны излучения?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) частота излучаемых волн	1) увеличится
Б) длина волны излучения	2) уменьшится
	3) не изменится

Ответ:

А	Б

36. На расстоянии 400 м от наблюдателя рабочие вбивают сваи с помощью копра. Каково время между видимым ударом молота о сваю и звуком удара, услышанным наблюдателем? Скорость звука в воздухе 340 м/с. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ с

37. Звуковой сигнал, отразившись от препятствия, вернулся обратно к источнику через 5 с после его испускания. Каково расстояние от источника до препятствия, если скорость звука в воздухе 340 м/с?

Ответ: ____ м

Шкала электромагнитных волн. Диапазоны волн располагаются в определенной последовательности. По мере перехода от одного диапазона к другому уменьшается длина волны, а частота увеличивается.

Тип волны	Где встречаются
Низкочастотные	Линии электропередачи
Радиоволны	Радиосвязь, телевидение, сотовая связь
Инфракрасное излучение	Сушка лакокрасочных покрытий, овощей и фруктов, нагревательные приборы, приборы ночного видения
Видимый свет $390 \text{ нм} < \lambda < 770 \text{ нм}$	90% информации об окружающем мире, необходим для фотосинтеза

Тип волны	Где встречаются
Ультрафиолетовое излучение	Пигментация кожи, выработка витамина *D*, бактерицидное действие
Рентгеновское излучение	В медицине — изучение внутренних органов
Гамма-излучение	Выделяется при радиоактивном распаде и при ядерном взрыве

ЗАДАЧИ

38. Расположите в порядке возрастания частоты электромагнитные излучения разной природы.

1) инфракрасное излучение Солнца
2) рентгеновское излучение
3) видимый свет
4) ультрафиолетовое излучение

Ответ: _____

39. Расположите в порядке возрастания длины волны электромагнитные излучения разной природы

1) инфракрасное излучение Солнца
2) рентгеновское излучение
3) излучение СВЧ-печей
4) ультрафиолетовое излучение

Ответ: _____

40. С какой скоростью распространяется рентгеновское излучение в вакууме?

Ответ: ____ км/с

41. В колебательном контуре радиоприемника увеличили расстояние между пластинами конденсатора. Выберите ***два*** верных утверждения. Укажите их номера.

1) Индуктивность контура увеличилась.
2) Частота принимаемого сигнала увеличилась.
3) Длина волны принимаемого сигнала не изменилась.
4) Электроемкость конденсатора уменьшилась.
5) Период колебательного контура увеличился.

Ответ: | | |

12. ОПТИКА

Оптика — раздел физики, в котором изучают свет и световые явления.

Корпускулярно-волновой дуализм. Для объяснения световых явлений ученые (во главе с И. Ньютоном) предположили, что свет — это поток частиц (корпускул). Другие ученые (Гук, Гюйгенс) использовали представление о том, что свет — это волна. Современная наука считает, что свет имеет двойственную природу. Впервые эту идею выдвинул Луи де Бройль. Свет как поток частиц — корпускул (фотонов) проявляет себя при *поглощении и излучении* атомов. В других явлениях, таких как *интерференция, дифракция, дисперсия, поляризация,* он ведет себя как волна.

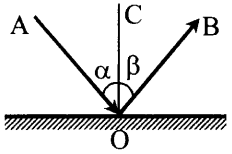
Законы геометрической оптики

Луч света — линия, вдоль которой распространяется световая энергия.

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

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

Закон отражения выполняется, если на пути светового луча встретится плоское зеркало: *падающий луч* АО, *отраженный луч* ОВ *и перпендикуляр* ОС, *восстановленный в точке падения, лежат в одной плоскости. Угол падения* α *равен углу отражения* β.



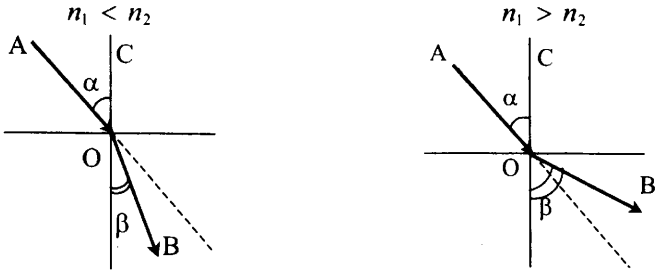
Закон отражения объясняет получение изображения в зеркале, устройство перископа.

Закон преломления выполняется, если на пути светового луча встречается граница двух прозрачных сред: *падающий луч* АО, *преломленный луч* ОВ *и перпендикуляр к границе двух сред* ОС *лежат в одной плоскости.*

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2},$$

где α — угол падения, β — угол преломления; n_1 — абсолютный показатель преломления первой среды, υ_1 — скорость света и λ_1 — длина волны в первой среде; $n_2, \upsilon_2, \lambda_2$ — во второй среде, n_{21} — относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Абсолютный показатель преломления — табличная величина. Его определили экспериментально, рассматривая преломление света при переходе из вакуума в данную среду. Чем больше абсолютный показатель среды, тем она считается более плотной.

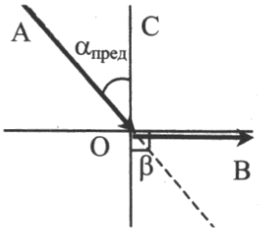


Если луч переходит из оптически менее плотной среды в оптически более плотную (левый рисунок), то он отклоняется к перпендикуляру и $\alpha > \beta$.

Если луч переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную (правый рисунок), то он отклоняется от перпендикуляра и $\alpha < \beta$.

Закон преломления объясняет возникновение миражей, рефракцию в атмосфере, явление полного отражения.

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



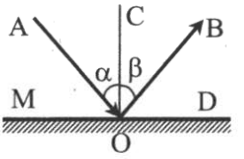
Наступает такой момент, когда угол преломления становится равным 90°. Угол падения, при котором угол преломления равен 90°, называют *предельным:*

$$\frac{\sin \alpha_{пред}}{\sin 90°} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \sin \alpha_{пред} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Подсказки к задачам

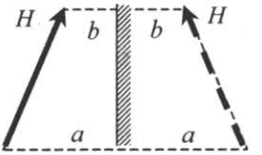
Отражение от плоского зеркала

$\angle AOM$ — угол между падающим лучом и зеркалом; $\angle BOD$ — угол между отраженным лучом и зеркалом; $\angle AOB$ — угол между падающим и отраженным лучами



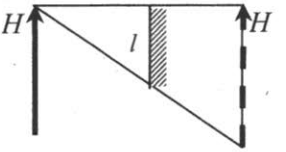
Изображение в зеркале

Мнимое, прямое, равное по размеру, удаленное от зеркала на такое же расстояние, что и предмет



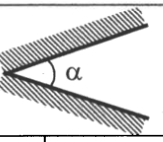
Человек виден в зеркале в полный рост

Размер зеркала $l = \dfrac{H}{2}$



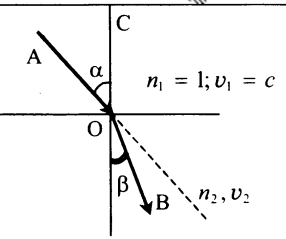
Число изображений в зеркалах

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$



Закон преломления (верхняя среда — вакуум)

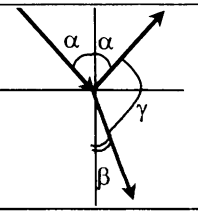
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n_2 = \frac{c}{\upsilon_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$



Отражение и преломление

$$\gamma + \alpha + \beta = 180^\circ$$

γ — угол между отраженным и преломленным лучами



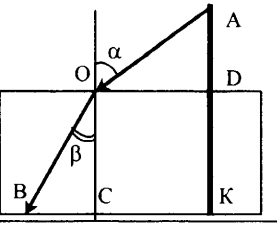
Тень на дне

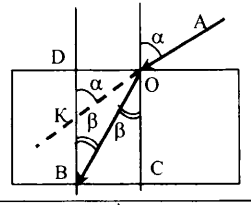
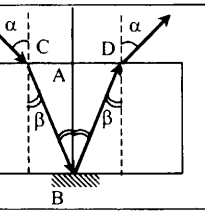
DK или OC — глубина водоема

DK — подводная часть

AD — надводная часть

BK — тень



Глубина водоема $DB = \frac{OD}{\operatorname{tg}\beta}$ — настоящая глубина $DK = \frac{OD}{\operatorname{tg}\alpha}$ — кажущаяся глубина	
Зеркало лежит на дне AB — глубина водоема CD — расстояние от места вхождения луча в воду до места выхода	

ЗАДАЧИ

1. Предмет, освещенный маленькой лампочкой, отбрасывает тень на стену. Высота предмета 0,07 м, высота его тени 0,7 м. Во сколько раз расстояние от лампочки до предмета меньше, чем от лампочки до стены?

Ответ: в ____ раз

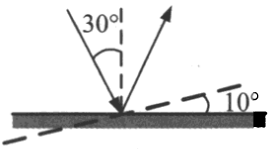
2. Тень на экране от предмета, освещенного точечным источником света, имеет размеры в 3 раза больше, чем сам предмет. Расстояние от источника света до предмета равно 1 м. Определите расстояние от предмета до экрана.

Ответ: ____ м

3. Луч света падает на плоское зеркало. Угол падения равен 15°. Определите угол между отраженным лучом и зеркалом.

Ответ: ____°

4. Угол падения света на горизонтально расположенное плоское зеркало равен 30°. Каким будет угол отражения света, если повернуть зеркало на 10° так, как показано на рисунке?



Ответ: ____°

5. Предмет находится на расстоянии 50 см от плоского зеркала. Каково будет расстояние между ним и его изображением, если предмет приблизить к зеркалу на 15 см?

Ответ: ____ см

6. Расстояние от карандаша до его изображения в плоском зеркале было равно 50 см. Карандаш отодвинули от зеркала на 20 см. Определите, каким стало расстояние между карандашом и его изображением.

Ответ: ____ см

7. Какими основными закономерностями описываются отражение и преломление света?

ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ	ОСНОВНАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ
А) отражение света	1) $n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$
Б) преломление света	2) $\alpha > \alpha_{пр}$
	3) $\alpha = \beta$
	4) $\alpha + \beta = \pi$

Ответ:

А	Б

8. В дно водоема вертикально забита свая длиной 3 м так, что ее верхний конец находится под водой. Найдите длину тени от сваи на дне водоема, если угол падения солнечных лучей на поверхность воды равен 30°. Показатель преломления воды $n = 4/3$. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ м

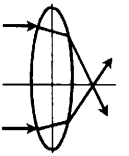
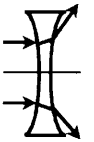
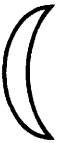
9. На дне аквариума глубиной 20 см лежит плоское зеркало. Каково расстояние от лица человека до его мнимого изображения в зеркале, если он рассматривает его с расстояния 20 см над поверхностью воды? Используйте, что для малых углов $\mathrm{tg}\alpha \approx \sin\alpha$. Показатель преломления воды $n = 4/3$.

Ответ: ____ см

Линзы

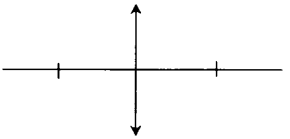
Линзы — прозрачные, обычно стеклянные тела, ограниченные двумя сферическими поверхностями.

Виды линз:

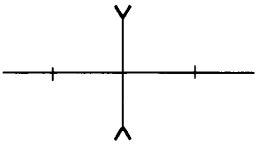
Двояковыпуклые линзы: лупа, объектив фотоаппарата, хрусталик глаза. Собирают лучи, если находятся в оптически менее плотной среде	
Двояковогнутые линзы рассеивают лучи, если находятся в оптически менее плотной среде	
Выпукло-вогнутые линзы могут быть и рассеивающими, и собирающими (пример: линзы в очках)	

Условные обозначения тонких линз

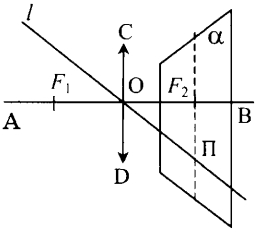
Собирающая линза



Рассеивающая линза



Собирающая линза



AB — главная оптическая ось,

CD — положение линзы,

O — оптический центр линзы,

F_1, F_2 — фокусы линзы,

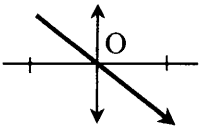
α — фокальная плоскость проходит через фокус перпендикулярно AB,

l — побочная оптическая ось проходит через оптический центр,

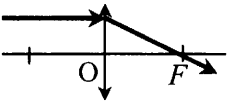
П — побочный фокус линзы — точка пересечения побочной оптической оси и фокальной плоскости.

Ход лучей в собирающей линзе

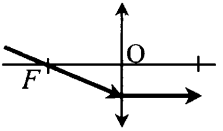
1) Лучи, проходящие через оптический центр линзы, не преломляются.



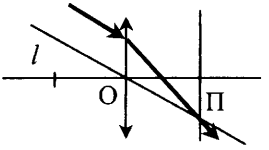
2) Лучи, параллельные главной оптической оси, после преломления в собирающей линзе проходят через фокус.



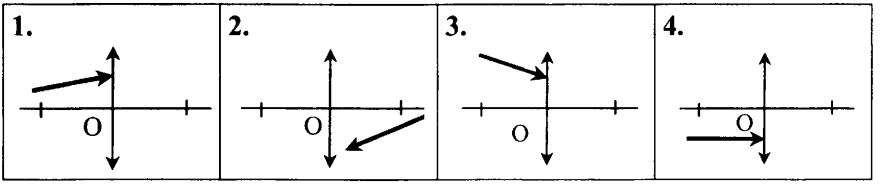
3) Лучи, проходящие через фокус, после преломления в собирающей линзе пойдут параллельно главной оптической оси.



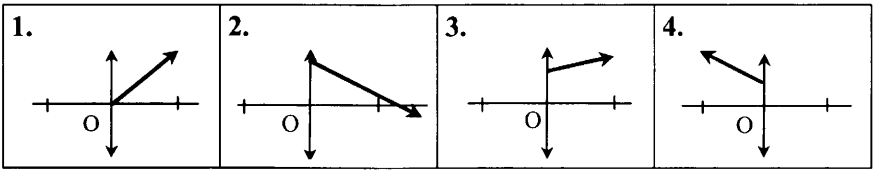
4) Лучи, параллельные побочной оптической оси, пересекаются в побочном фокусе.



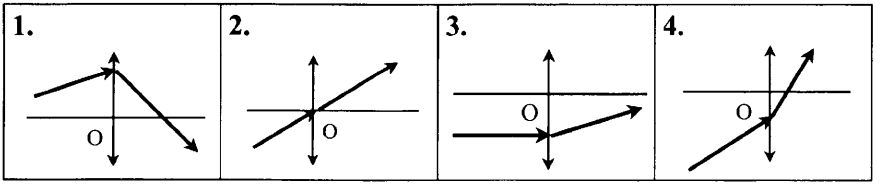
Задание. Постройте ход луча после преломления в собирающей линзе.



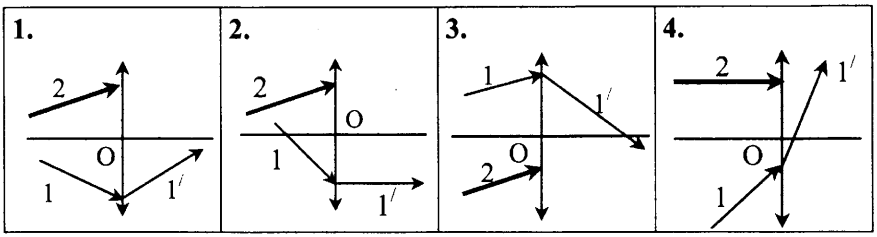
Задание. Постройте ход луча до преломления в собирающей линзе.



Задание. Покажите положение фокуса в собирающей линзе.



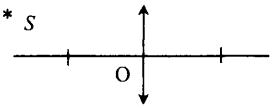
Задание. Определите построением ход второго луча после преломления в собирающей линзе.



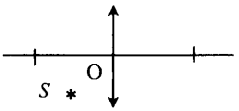
Изображение светящейся точки в собирающей линзе. Для построения изображения необходимо провести два луча, идущие от светящейся точки. Если лучи пересекаются, то в месте их пересечения располагается *действительное* изображение точки. Если лучи не пересекаются, то необходимо найти точку пересечения их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

Задание. Постройте изображение светящейся точки в собирающей линзе.

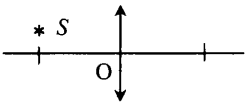
1. Точечный источник за фокусом.



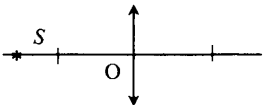
2. Точечный источник перед фокусом.



3. Точечный источник в фокальной плоскости.

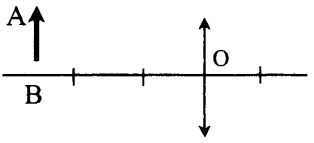


4. Точечный источник лежит на главной оптической оси.

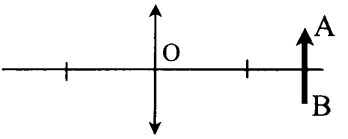


Изображение предметов в собирающей линзе. Для построения изображения предмета АВ необходимо построить изображения точек A′ и B′. Отрезок A′B′ — изображение предмета.

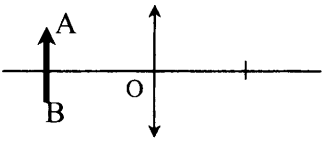
1. Если предмет находится за двойным фокусом, то изображение *действительное, перевернутое, уменьшенное.*



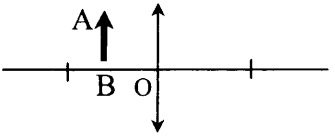
2. Если предмет находится между фокусом и двойным фокусом, то изображение *действительное, перевернутое, увеличенное.*



3. Если предмет находится в фокальной плоскости, то изображения нет

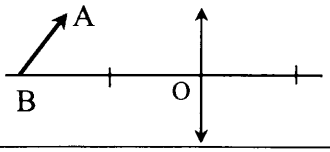


4. Если предмет находится перед фокусом, то изображение *мнимое, прямое, увеличенное.*

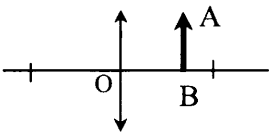


Задание. Постройте изображение предмета или светящейся точки в собирающей линзе.

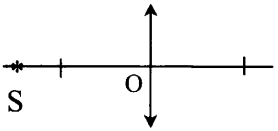
1.



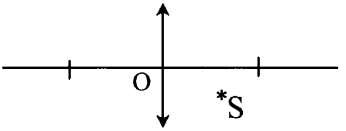
2.



3.



4.



Рассеивающая линза

AB — главная оптическая ось,

CD — положение линзы,

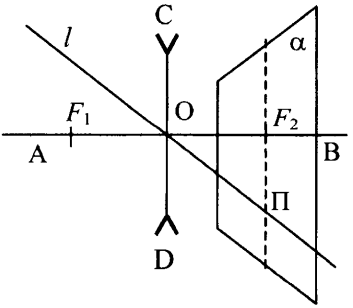
O — оптический центр линзы,

F_1, F_2 — фокусы линзы,

α — фокальная плоскость проходит через фокус перпендикулярно AB,

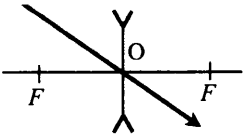
l — побочная оптическая ось проходит через оптический центр,

П — побочный фокус линзы — это точка пересечения побочной оптической оси и фокальной плоскости.

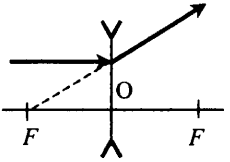


Ход лучей в рассеивающей линзе

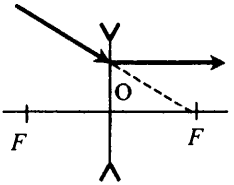
1) Лучи, проходящие через оптический центр линзы, не преломляются.



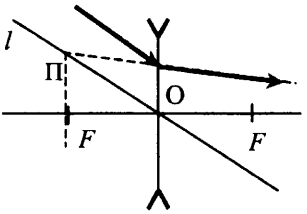
2) Лучи, параллельные главной оптической оси, после преломления в рассеивающей линзе выходят из фокуса.



3) Лучи, идущие в фокус, после преломления в рассеивающей линзе пойдут параллельно главной оптической оси.

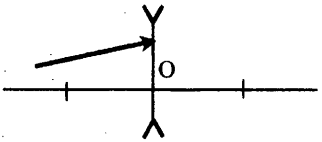


4) Лучи, параллельные побочной оптической оси, выходят из побочного фокуса.

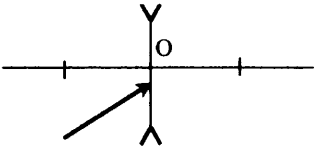


Задание. Постройте ход луча после преломления в рассеивающей линзе.

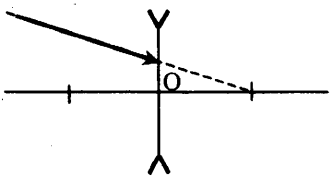
1.



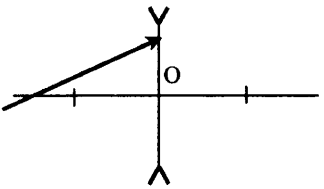
2.



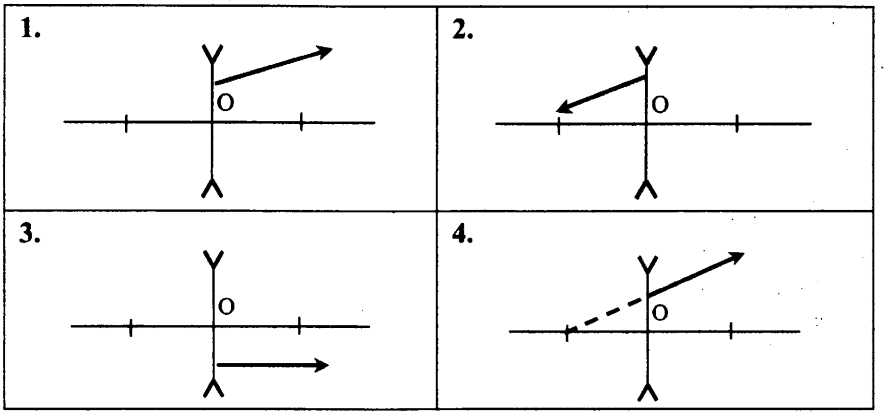
3.



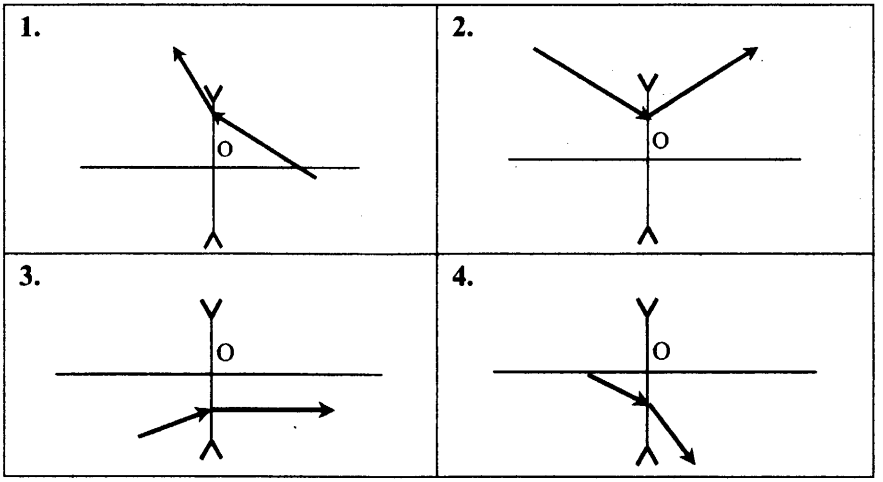
4.



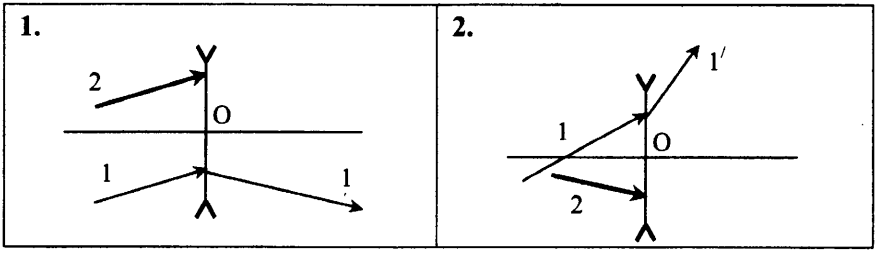
Задание. Покажите ход луча до преломления в рассеивающей линзе.



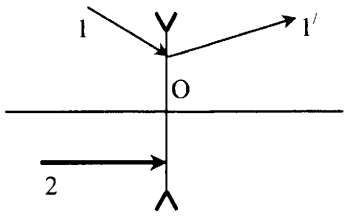
Задание. Постройте положение фокуса в рассеивающей линзе.



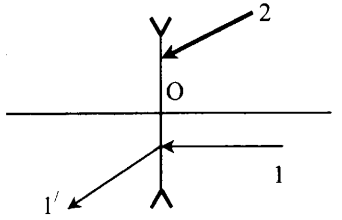
Задание. Определите построением ход второго луча в рассеивающей линзе.



3.

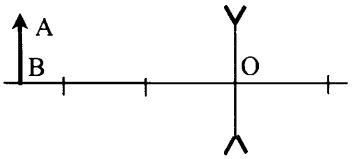


4.

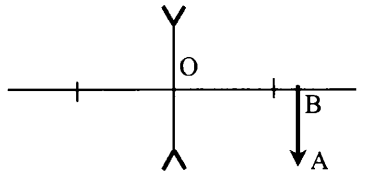


Изображение предмета в рассеивающей линзе

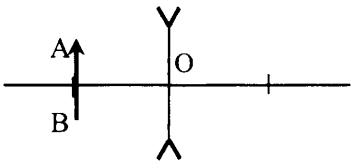
1. Если предмет находится за двойным фокусом, то изображение *мнимое, прямое, уменьшенное.*



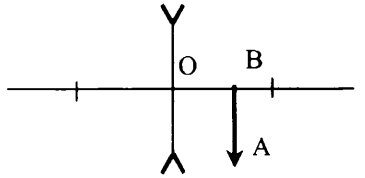
2. Если предмет находится между фокусом и двойным фокусом, то изображение *мнимое, прямое, уменьшенное.*



3. Если предмет находится в фокальной плоскости, то изображение *мнимое, прямое, уменьшенное.*

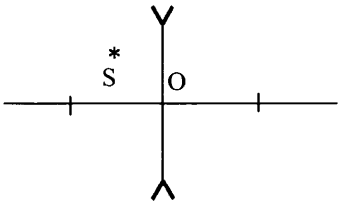


4. Если предмет находится перед фокусом, то изображение *мнимое, прямое, уменьшенное.*

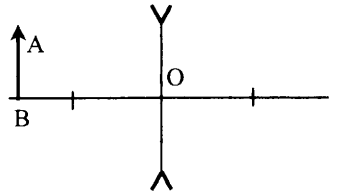


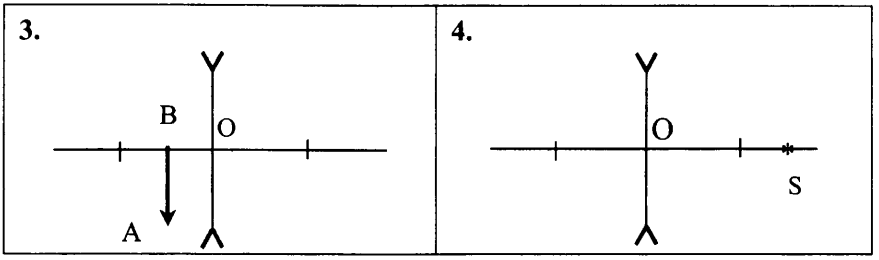
Задание. Постройте изображение светящейся точки или предмета в рассеивающей линзе.

1.



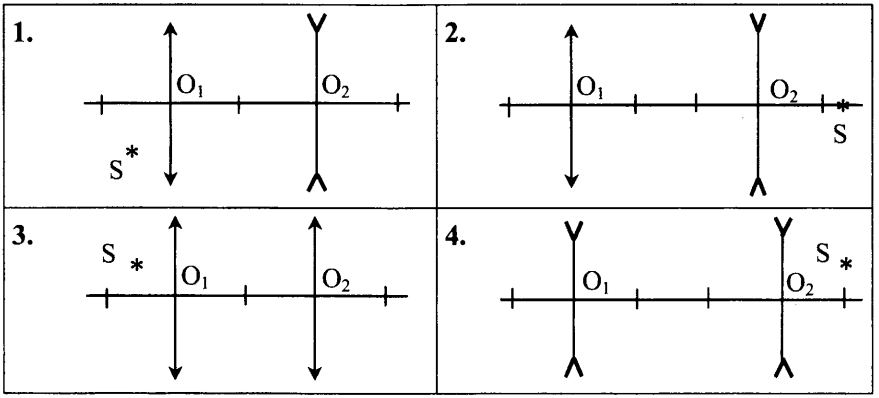
2.



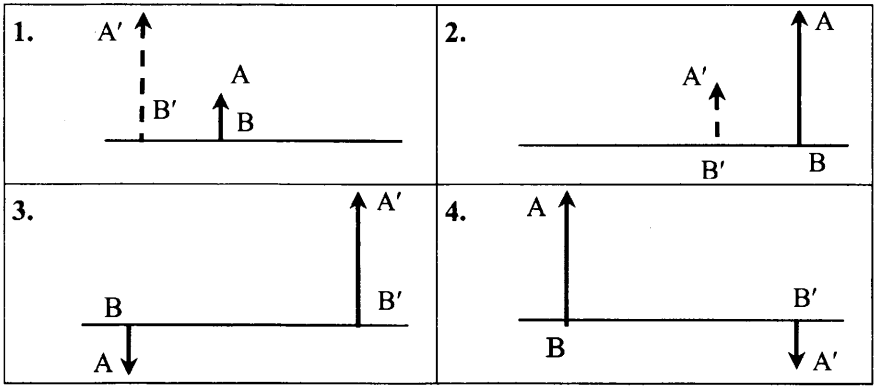


Если оптическая система состоит из двух линз, то сначала строят изображение в первой линзе. Именно оно становится предметом для построения изображения во второй линзе.

Задание. Постройте изображение светящейся точки в системе двух линз.

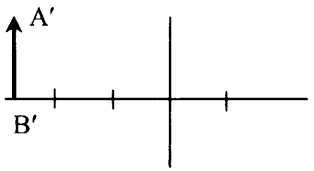


Задание. Определите построением положение оптического центра, фокусов и вид линзы.



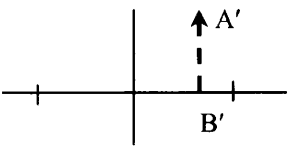
Задание. По описанию изображения определите вид линзы и восстановите положение предмета.

1.



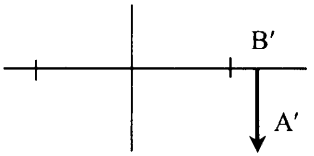
Изображение: *действительное, перевернутое, увеличенное*

2.



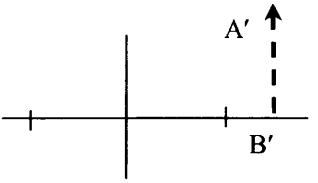
Изображение: *мнимое, прямое, уменьшенное*

3.



Изображение: *действительное, перевернутое, уменьшенное*

4.



Изображение: *мнимое, прямое, увеличенное*

Формула тонкой линзы

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

где F — фокусное расстояние, d — расстояние от линзы до предмета, f — расстояние от линзы до изображения (до экрана).

Знаки в формуле тонкой линзы

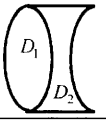
$+F$ собирающая линза	$+d$ действительный источник	$+f$ действительное изображение
$-F$ рассеивающая линза	$-d$ мнимый источник	$-f$ мнимое изображение

Линейное увеличение линзы

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

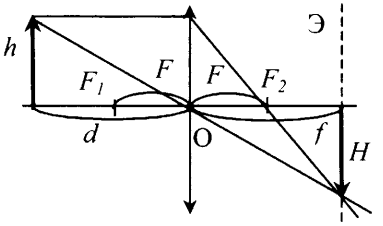
где h — высота предмета, H — высота изображения.

Оптическая сила линзы — величина, обратная фокусному расстоянию.

Формула и единица измерения	$D = \pm\frac{1}{F}$ (дптр)	$+D$ у собирающей линзы $-D$ у рассеивающей линзы
Оптическая сила составной линзы	$D = D_1 + D_2$	

Внимание. Если в условии задачи встречается оптическая сила, то F, d, f обязательно выражать в СИ, т.е. в метрах (м).

Действительное изображение в собирающей линзе (изображение на экране)



Условие, при котором наблюдается такое изображение: $d > F$.

Знак фокусного расстояния: $+F$.

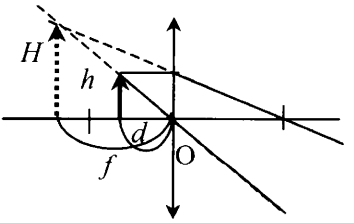
Знак расстояния от линзы до предмета: $+d$.

Знак расстояния от линзы до изображения: $+f$.

Формула тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$.

Расстояние от предмета до изображения (экрана): $f + d$.

Мнимое увеличенное изображение в собирающей линзе



Условие, при котором наблюдается такое изображение: $d < F$.

Знак фокусного расстояния: $+F$.

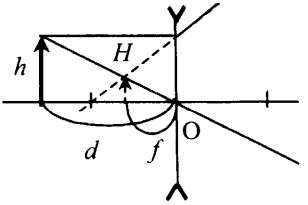
Знак расстояния от линзы до предмета: $+d$.

Знак расстояния от линзы до изображения: $-f$.

Формула тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$.

Расстояние от предмета до изображения: $f - d$.

Мнимое уменьшенное изображение в рассеивающей линзе



Условие, при котором наблюдается такое изображение: при любом d.

Знак фокусного расстояния: $-F$.

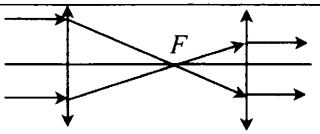
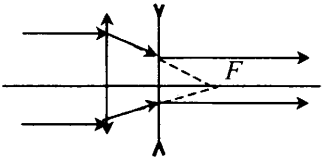
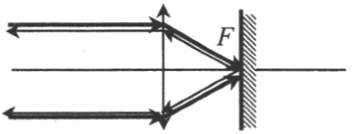
Знак расстояния от линзы до предмета: $+d$.

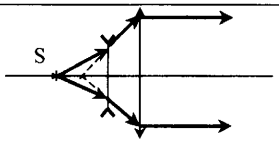
Знак расстояния от линзы до изображения: $-f$.

Формула тонкой линзы: $-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$.

Расстояние от предмета до изображения: $d - f$.

Подсказки к задачам на построение параллельных лучей в оптических системах

Оптическая система и ход лучей	***Чертеж и подсказка***
1. Система двух собирающих линз (падающие и выходящие лучи параллельны главной оптической оси)	 Фокус второй линзы лежит в фокусе первой
2. Система собирающей и рассеивающей линзы (падающие и выходящие лучи параллельны главной оптической оси)	 Фокусы рассеивающей и собирающей линзы совпадают $L = F_{\text{собир}} - F_{\text{рассеив}}$ L — расстояние между линзами
3. Система собирающей линзы и зеркала (падающие и выходящие лучи параллельны главной оптической оси)	 Зеркало располагается в фокусе собирающей линзы $L = F$

Оптическая система и ход лучей	*Чертеж и подсказка*
4. Система рассеивающей и собирающей линзы (лучи идут от точечного источника, а выходят параллельно главной оптической оси)	 $-\frac{1}{F_{\text{рассеив}}} = \frac{1}{d_1} - \frac{1}{f_1} \Rightarrow f_1;$ $L = F_{\text{собир}} - f_1$

ЗАДАЧИ

10. Определите увеличение, даваемое линзой, фокусное расстояние которой равно 0,13 м, если предмет отстоит от нее на 15 см.

Ответ: ____

11. Найдите оптическую силу объектива проекционного аппарата, если он дает двадцатикратное увеличение, когда слайд находится от него на расстоянии 21 см.

Ответ: ____ дптр

12. На экране с помощью тонкой линзы с фокусным расстоянием $F = 48$ см получено четкое изображение предмета, находящегося на главной оптической оси на расстоянии, равном $1{,}5F$ от линзы. Определите линейное увеличение оптической системы.

Ответ: ____

13. На экране с помощью тонкой линзы с фокусным расстоянием 30 см получено четкое изображение предмета с трехкратным увеличением. Каково расстояние от предмета до экрана с его изображением?

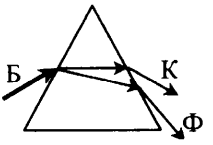
Ответ: ____ м

14. Расстояние между предметом и экраном 0,75 м. Линза, помещенная между ними, дает четкое изображение при двух ее положениях: один раз уменьшенное, а другой раз — увеличенное. Увеличенное изображение предмета больше самого предмета в 2 раза. Чему равна оптическая сила линзы?

Ответ: ____ дптр

Волновые свойства света

Белый свет — сложный свет.



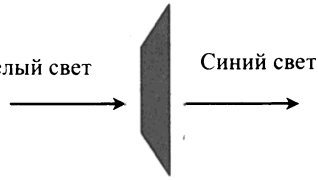
И. Ньютон впервые разложил белый свет на составляющие его пучки разного цвета. Для этого он пропустил узкий пучок света через треугольную стеклянную призму. Радужную полоску, полученную на экране, назвали *спектром*. Ньютон увидел в нем семь цветов.

Фраза-подсказка: «**К**аждый **о**хотник **ж**елает **з**нать, **г**де **с**идит **ф**азан».

Дисперсия — явление разложения белого света в спектр. Белый свет состоит из электромагнитных волн разной частоты. Попадая в призму, эти волны по-разному преломляются (больше всего преломляются волны, соответствующие фиолетовому цвету, меньше – красному) и изменяют свою скорость (быстрее всего движутся «красные волны», медленнее — «фиолетовые»). *Дисперсия* — зависимость абсолютного показателя преломления вещества от частоты $n = f(\nu)$. Пример дисперсии — *радуга*. Радуга — это разложение белого света на каплях дождя.

Свет и цвет

Светофильтры — прозрачные тела, которые пропускают определенные длины волн, а остальные поглощают. Пример с синим светофильтром



После прохождения через светофильтр белый свет становится *монохроматическим*, т.е. содержит длину волны, соответствующую одному цвету.

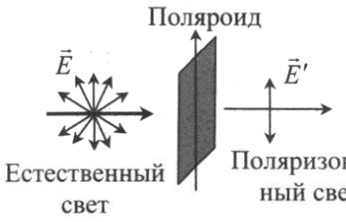
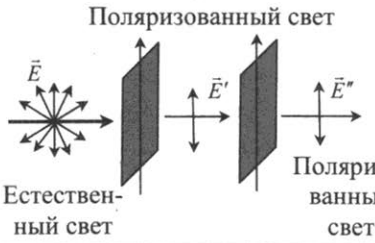
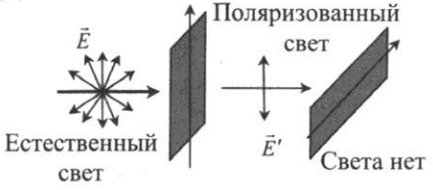
Цвет тел определяется тем, какие длины волн тело отражает. Например, красные тела отражают длины волн, соответствующие красному цвету, а остальные поглощают. Предмет черного цвета все поглощает, а белого отражает все длины волн.

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

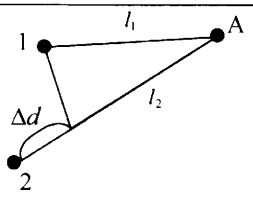
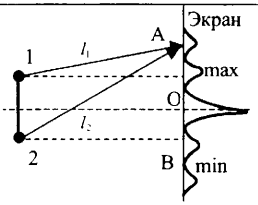
Поляризация

Под поляризацией света понимают выделение из естественного света световых колебаний с определенным направлением вектора напряженности $\vec{E}$.

Явление поляризации доказывает волновую природу света и *поперечность* световых волн, т. е. $\vec{v} \perp \vec{B} \perp \vec{E}$.

Опыты с поляроидами	Объяснение
1. Естественный свет проходит через кристалл турмалина (*поляроид*)  	Естественный свет — это электромагнитные волны, в которых колебания вектора напряженности $\vec{E}$ лежат в различных плоскостях. После прохождения поляроида остаются волны, в которых колебания $\vec{E}$ лежат в одной плоскости. Такой свет называют *поляризованным*
2. На пути света два поляроида одинакового направления  	Второй кристалл частично поглощает свет и сохраняет плоскость поляризации
3. Второй поляроид повернули на 90°  	Через второй поляроид могли бы пройти волны, в которых колебания вектора напряженности лежат в горизонтальной плоскости. Но в падающем поляризованном свете таких волн нет. Поэтому свет через второй поляроид не проходит

Интерференция — сложение волн от когерентных источников.

Интерференция механических волн	**Интерференция света**
Примеры: исполнение музыки оркестром, интерференционная картина на воде	Примеры: радужная окраска мыльных пузырей и масляных пятен на воде
Когерентные источники — это согласованные между собой источники, которые колеблются с одинаковой частотой и разностью фаз	Из-за большой частоты согласовать волны, идущие от разных источников света, нельзя. Поэтому складывают волны, идущие от одного источника, но прошедшие разный путь
Разность хода — разность в расстояниях от источников колебаний до изучаемой точки Δd(м) $\Delta d = \lvert l_2 - l_1 \rvert$	
	
В точке А происходит наложение двух волн (*интерференция*). Если гребень одной волны наложится на гребень другой, то произойдет усиление колебаний точки А (*область максимума колебаний).* Если гребень одной волны наложится на впадину другой, то колебаний точки А не будет (*область минимума*)	На экране наблюдается интерференция света. В некоторых точках наложение световых волн приводит к усилению света (А). *Область максимума:* «свет + свет = яркий свет». В других точках (В) — к ослаблению света. *Область минимума:* «свет + свет = темнота»

Условия максимума и минимума интерференции

Условие максимума (волны приходят в фазе):

$$\Delta d = n\lambda \text{, или } \Delta d = 2n \cdot \frac{\lambda}{2}.$$

Условие минимума (волны приходят в противофазе):

$$\Delta d = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}.$$

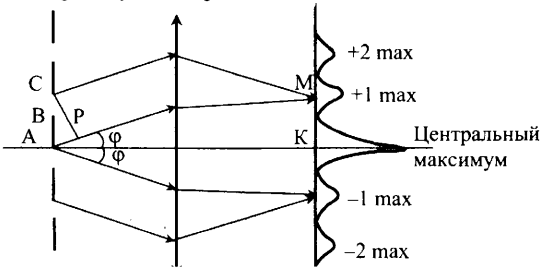
Дифракция

Дифракция — огибание препятствий, сравнимых с длиной волны.

Примеры дифракции механических волн: слышим звуки через открытую дверь.

Примеры дифракции света: радужная окраска крыльев стрекозы; образование светлых и темных полос после прохождения узкой щели.

Дифракционная решетка — прозрачная пластина, состоящая из большого числа параллельных щелей. Если на дифракционную решетку падает монохроматический свет, то на экране получают интерференционную картину — чередование светлых и темных полос.



AB — непрозрачная часть решетки; BC — прозрачная часть,

AC = AB + BC = d — период решетки, постоянная решетки,

AP — разность хода соседних параллельных лучей,

AK = b — перпендикуляр к решетке (расстояние от решетки до экрана),

K — центральный (главный) максимум,

KM = a — расстояние от центрального максимума до максимума n-го порядка,

φ — угол отклонения луча от перпендикуляра,

N — число штрихов на длину l,

AP = $d \sin \varphi$ — разность хода параллельных лучей.

Изменения дифракционной картины

1. Если на дифракционную решетку падает белый свет, то в центре будет белая полоса (выполняется условие максимума для всех волн). По обе стороны от нее располагаются чередующиеся радужные полоски.

Условие максимума для наибольшей длины волны в определенной спектральной полоске

$$d\frac{a_1}{b} = n\lambda_{max}.$$

Условие максимума для наименьшей длины волны в той же спектральной полоске:

$$d\frac{a_2}{b} = n\lambda_{\min}.$$

Ширина спектра: $a_1 - a_2$.

2. Если изменить длину волны падающего на дифракционную решетку света, то положение интерференционных полос будет смещаться.

Условие максимума для первой волны:

$$d\frac{a_1}{b} = n\lambda_1.$$

Условие максимума для новой волны:

$$d\frac{a_2}{b} = n\lambda_2.$$

3. Если изменить дифракционную решетку (число штрихов), то положение интерференционных полос также будет смещаться.

Условие максимума для первой решетки:

$$\frac{\ell}{N_1}\frac{a_1}{b} = n\lambda.$$

Условие максимума для новой решетки:

$$\frac{\ell}{N_2}\frac{a_2}{b} = n\lambda.$$

4. Если дифракционную решетку повернуть на 90°, то дифракционная картина также повернется на 90°.

Подсказки к задачам

Условие максимума для дифракционной решетки	$d\sin\varphi = n\lambda$
Порядок максимума: *первый, второй и т.д.*	$n = 1;\ n = 2...$
«Наибольший порядок спектра» *Учтите:* порядок спектра всегда целое число, поэтому смело отбрасывайте дробные части	$\sin\varphi \approx 1$
Период решетки	$d = \frac{l}{N}$
Синус угла при небольших значениях	$\sin\varphi \approx \operatorname{tg}\varphi = \frac{a}{b}$
Угол между максимумами первого порядка	$\beta = 2\varphi$

УПРАЖНЕНИЯ

1. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Чтобы увидеть красную линию (λ = 700 нм) в спектре второго порядка, зрительную трубу пришлось установить под углом 30° к оси коллиматора. Найдите период дифракционной решетки. **($2{,}8 \cdot 10^{-6}$ м)**

2. Определите длину волны для линии в дифракционном спектре третьего порядка, совпадающей с линией спектра четвертого порядка с длиной волны 510 нм. **(680 нм)**

3. Дифракционная решетка имеет 120 штрихов на 1 мм. Найдите длину волны монохроматического света, падающего на решетку, если первый максимум наблюдается под углом, синус которого 0,06. **(500 нм)**

4. На дифракционную решетку, имеющую 500 штрихов на 1 мм, падает плоская монохроматическая волна. Длина волны 750 нм. Определите наибольший порядок спектра, который можно наблюдать при нормальном падении лучей на решетку. **(2)**

5. На дифракционную решетку, имеющую 100 штрихов на 1 мм, нормально падает свет длиной волны 600 нм. Определите синус угла, под которым наблюдается максимум третьего порядка. **(0,18)**

6. Сколько штрихов содержит дифракционная решетка на 1 см длины, если при нормальном падении на нее света длиной волны 500 нм максимум второго порядка наблюдается под углом 30°? **(5000)**

7. Найдите наибольший порядок спектра для желтой линии натрия (λ = 589 нм), если период решетки равен 2 мкм. **(3)**

8. Какой наибольший порядок спектра можно наблюдать с помощью дифракционной решетки, имеющей 500 штрихов на 1 мм, при освещении ее светом длиной волны 720 нм? **(2)**

9. Для определения длины световой волны использовали дифракционную решетку с периодом 0,01 мм. На экране первый максимум получили на расстоянии 11,9 см от центрального. Экран отстоит от решетки на 2 м. Чему равна длина волны? Считайте $\sin\varphi \approx \operatorname{tg}\varphi$. **(595 нм)**

Элементы теории относительности

Принципы относительности Галилея

1. Все механические процессы в инерциальных системах отсчета протекают одинаково.

2. Правило сложения скоростей

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

Принципы относительности Эйнштейна

1. Все физические процессы в инерциальных системах отсчета протекают одинаково.

2. Скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчета. Она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника:

$$c = \text{const}\,,\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}\,.$$

Помните, что согласно теории Эйнштейна во всех инерциальных системах отсчета физические законы имеют одинаковую форму.

Следствия из теории относительности Эйнштейна (релятивистские эффекты)

Связь массы и энергии $E = mc^2$ $\Delta E = \Delta m c^2$	Уменьшение длины $l = l_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$	Увеличение интервалов времени $t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
Сложение скоростей $v' = \frac{v + u}{1 + \frac{vu}{c^2}}$	Увеличение массы $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	Релятивистский импульс $p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{E_{\text{полн}}}{c^2} v$
Полная энергия $E_{\text{полн}} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ $E_{\text{полн}} = c\sqrt{p^2 + m_0^2 c^2}$	Кинетическая энергия $E_k = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2$	Работа равна изменению энергии $A = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} - \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}}$

ЗАДАЧИ

15. В некоторой системе отсчета с одинаковыми скоростями 100 000 км/с движутся навстречу друг другу две светящиеся кометы. Чему равна скорость света, испущенного первой кометой относительно второй?

Ответ: ____ км/с

16. Время жизни заряженных частиц, покоящихся относительно ускорителя, равно τ. Во сколько раз увеличится время жизни частиц, которые движутся в ускорителе со скоростью $0{,}6c$?

Ответ: в ____ раз

17. Энергия покоя протона равна $9{,}4 \cdot 10^8$ эВ. На сколько полная энергия протона превосходит энергию покоя при скорости движения $0{,}6c$?

Ответ: ____ МэВ

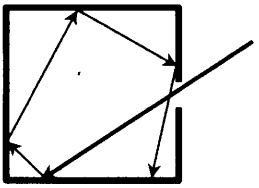
18. Электрон и позитрон при столкновении могут исчезнуть, породив несколько фотонов. Энергия покоя электрона 0,51 МэВ. Какова минимальная суммарная энергия этих фотонов?

Ответ: ____ МэВ

13. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Тепловое излучение

В начале XX в. попытки объяснить явления теплового излучения, фотоэффекта и др. привели к созданию квантовой теории.

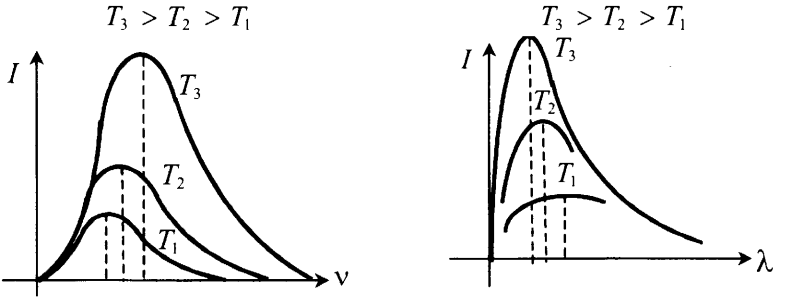


Модель абсолютно черного тела

Если нагреть стенки абсолютно черного тела, то интенсивность излучения не зависит от материала, из которого стенки изготовлены, а определяется только их температурой. Солнце и звезды имеют подобное излучение.

Цвет абсолютно черного тела может быть любым и зависит от температуры. Например, холодным звездам (3000 °С) соответствует красный цвет, более нагретым (6000 °С) — желтый, самым горячим — голубой (10 000 °С).

Экспериментальная зависимость излучения абсолютно черного тела от температуры



С ростом температуры интенсивность излучения растет и максимум интенсивности смещается в область коротких волн (или больших частот).

Для объяснения этой зависимости ученые предположили, что энергия излучается порциями (квантами). Энергия кванта пропорциональна частоте (или обратно пропорциональна длине волны):

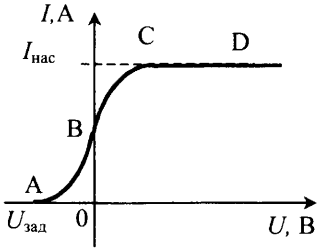
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с — постоянная Планка.

Фотоэффект

Фотоэффект — явление вырывания электронов из металла под действием света.

Вольтамперная характеристика (световой поток, освещенность, интенсивность излучения не изменяются).



1. *Точка* B ($U = 0$). Под действием света, даже при отсутствии электрического поля, часть вырванных фотоэлектронов достигает противоположного электрода.

2. *Участок* CD — область насыщения. Количество электронов, вырванных за единицу времени с поверхности катода, достигает за это же время анода.

3. *Точка* A. При некотором значении обратного напряжения ток прекращается. Это напряжение $U_{зад}$ называют *задерживающим*.

Законы фотоэффекта

1. Сила тока насыщения прямо пропорциональна освещенности катода E (или падающему световому потоку Φ, или интенсивности излучения I, или числу фотонов, падающих на электрод в единицу времени) и не зависит от частоты падающего света:

$$I_{нас.} = f(E) = \varphi(\Phi) = \psi(I).$$

2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов возрастает с увеличением частоты падающего света, но не зависит от освещенности катода.

3. Для каждого вещества существует *красная граница фотоэффекта* — наименьшая частота ν_{min} (или наибольшая длина волны λ_{max}), при которой еще возможен фотоэффект.

Объяснение фотоэффекта (Эйнштейн, 1905 г.). Энергия не только испускается, но и поглощается квантами. Фотон приносит электрону энергию, которая идет на вырывание электрона из металла (работа выхода) и сообщение электрону кинетической энергии.

Формула Эйнштейна: $E_ф = A_{вых} + E_k$.

Энергия фотона: $E_ф = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$.

Работа выхода — это энергия взаимодействия электрона с ядром. Зависит от химической природы металла.

$$A_{вых} = h\nu_{кр} = \frac{hc}{\lambda_{кр}}.$$

Кинетическая энергия электрона: $E_k = \dfrac{m_e v^2}{2} = q_e U_{зад} = \dfrac{p^2}{2m_e}$.

Подсказки к задачам

Дополнительная единица измерения энергии	$1\ эВ = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж
Скорость света	$c = 3 \cdot 10^8$ м/с
Заряд электрона	$q_e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг
Кинетическая энергия фотоэлектронов и их импульс	$E_k = \dfrac{p^2}{2m_e}$
Средняя кинетическая энергия идеального газа	$E_k = \dfrac{3kT}{2}$, где $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Фотоэлектроны попадают в ускоряющее электрическое поле ($\upsilon_0 = 0$)	$\dfrac{m_e v^2}{2} = q_e U$; $\dfrac{m_e v^2}{2} = q_e E s$

Электроемкость и заряд конденсатора	$C = \dfrac{Q}{U_{зад}}$
Фотоэлектроны попадают в магнитное поле ($\vec{v} \perp \vec{B}$)	$F_Л = m_e a_{ц.с.}$ $q_e v B = m_e a_{ц.с.}$

ЗАДАЧИ

1. Фотокатод облучают светом с частотой излучения $\nu = 6{,}6 \cdot 10^{15}$ Гц. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода соответствует частоте света $\nu_0 = 1{,}5 \cdot 10^{15}$ Гц. Какое напряжение нужно создать между анодом и катодом, чтобы фотоэффект прекратился? Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ В

2. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода $\lambda_0 = 290$ нм. При облучении катода светом с длиной волны λ фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом $U = 1{,}5$ В. Определите длину волны λ. Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ нм

3. При освещении ультрафиолетовым светом с частотой 10^{15} Гц металлического проводника с работой выхода 3,11 эВ выбиваются электроны. Чему равна максимальная скорость фотоэлектронов? Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ км/с

4. В двух опытах по фотоэффекту металлическая пластинка облучалась светом с длинами волн соответственно $\lambda_1 = 350$ нм и $\lambda_2 = 540$ нм. В этих опытах максимальные скорости фотоэлектронов отличались в $v_1 / v_2 = 2$ раза. Какова работа выхода с поверхности металла? Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ эВ

5. Фотоны, имеющие энергию 6 эВ, выбивают электроны с поверхности металла. Работа выхода электронов из металла равна 5,7 эВ. Какой импульс приобретает электрон при вылете с по-

верхности металла? Полученный результат округлите до сотых и умножьте на 10^{25}.

Ответ: ____ кг · м/с

6. При какой температуре газа средняя энергия теплового движения атомов идеального газа будет равна энергии электронов, выбиваемых из металлической пластинки с работой выхода $A_{\text{вых}} = 2$ эВ при облучении монохроматическим светом с длиной волны 300 нм? Ответ округлите до целых.

Ответ: ____ К

7. Фотон с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта, выбивает электрон из металлической пластинки (катода) в сосуде, из которого откачан воздух. Электрон разгоняется однородным электрическим полем с напряженностью $E = 5 \cdot 10^4$ В/м. Какой должна быть длина пути электрона s в электрическом поле, чтобы он разогнался до скорости, составляющей 10% от скорости света в вакууме? Релятивистские эффекты не учитывать. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ см

8. В вакууме находятся два покрытых кальцием электрода, к которым подключен конденсатор емкостью $C = 8$ нФ. При длительном освещении катода светом фототок, возникающий вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд $Q = 11 \cdot 10^{-9}$ Кл. Работа выхода электронов из кальция $A_{\text{вых}} = 4,4 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите длину волны λ света, освещающего катод.

Ответ: ____ нм

9. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $A_{\text{вых}} = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом с длиной волны $\lambda = 300$ нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией $B = 8,3 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Каков максимальный радиус окружности R, по которой движутся электроны? Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ мм

Световые кванты

Заряд фотона	$q = 0$
Энергия фотона	$E_0 = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda} = m_0c^2$
Масса фотона	$m_0 = \dfrac{E_0}{c^2} = \dfrac{h\nu}{c^2} = \dfrac{h}{c\lambda}$
Импульс фотона	$p_0 = m_0c = \dfrac{E_0}{c} = \dfrac{h\nu}{c} = \dfrac{h}{\lambda}$
Число фотонов	$N = \dfrac{E}{E_0} = \dfrac{Pt}{E_0}$, где P (Вт) — мощность; t (с) — время

УПРАЖНЕНИЯ

1. Какой заряд имеет свет частотой $4,5 \cdot 10^{15}$ Гц? **(0 Кл)**

2. Какой энергией обладает свет частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц? **($3,3 \cdot 10^{-19}$ Дж)**

3. Определите массу фотона γ-лучей с длиной волны $1,24 \cdot 10^{-12}$ м. **($1,77 \cdot 10^{-30}$ кг)**

4. Найдите длину волны излучения, масса фотонов которого равна массе покоя электрона. Масса покоя электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. **(2,4 пм)**

5. Определите импульс фотона, обладающего энергией $4 \cdot 10^{-19}$ Дж. **($1,33 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с)**

6. Определите длину волны излучения, если импульс фотона 10^{-27} кг · м/с. **($6,6 \cdot 10^{-7}$ м)**

7. Энергия первого фотона в 2 раза больше второго. Во сколько раз отличаются импульсы этих фотонов? **(У первого фотона импульс в 2 раза больше)**

8. Сколько квантов содержится в 1 Дж излучения длиной волны 0,5 мкм? **($2,5 \cdot 10^{18}$)**

9. Ртутная лампа имеет мощность 125 Вт. Сколько квантов света испускается ежесекундно при излучении с длиной волны $5,79 \cdot 10^{-7}$ м? **($3,7 \cdot 10^{20}$)**

10. Источник света мощностью 100 Вт испускает $5 \cdot 10^{20}$ фотонов за 1 с. Найдите среднюю длину волны излучения. **(0,99 мкм)**

Давление света

Интенсивность излучения I (Вт/м^2) — это мощность излучения, падающего на 1 м^2	$I = \dfrac{W}{tS}$, где W (Дж) — энергия излучения; S (м^2) — площадь поверхности
Давление света при поглощении p(Па)	$p = \dfrac{I}{c}$, где c — скорость света
Давление света при зеркальном отражении	$p = \dfrac{2W}{tSc} = \dfrac{2I}{c}$
Сила давления света F(Н)	$F = pS_{\text{пов}}$
Второй закон Ньютона для космического аппарата	$F = Ma$

ЗАДАЧИ

10. Для разгона космических аппаратов и коррекции их орбит предложено использовать солнечный парус — скрепленный с аппаратом легкий экран большой площади из тонкой пленки, которая зеркально отражает солнечный свет. Каково добавочное изменение скорости космического аппарата массой 500 кг (включая массу паруса) за 24 часа за счет паруса размерами 100 м × 100 м? Мощность солнечного излучения, падающего на 1 м^2 поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, составляет 1370 Вт/м^2. Ответ округлите до десятых.

Ответ: ____ м/с

11. Монохроматический пучок параллельных лучей создается источником, который за время $\Delta t = 8 \cdot 10^{-4}$ с излучает $N = 5 \cdot 10^{14}$ фотонов. Фотоны падают по нормали на площадку $S = 0,7$ см^2 и создают давление $p = 1,5 \cdot 10^{-5}$ Па . При этом 40% фотонов отражается, а 60% поглощается. Определите длину волны излучения.

Ответ: ____ нм

Строение атома

Экспериментальные факты:

1) атом в целом электрически нейтрален;

2) частица с наименьшим отрицательным зарядом (электрон) находится внутри атома;

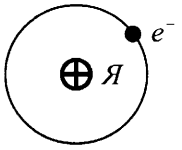
3) масса атома много больше массы электрона.



Модель Томсона — «пудинг с изюмом».

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

Резерфорд экспериментально опроверг модель Томсона. Он изучал рассеяние α-частиц (положительные частицы образуются при радиоактивном распаде, их масса сравнима с массой атома).



Планетарная модель атома Резерфорда

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

Недостатки модели Резерфорда: электрон, двигаясь по окружности, имеет центростремительное ускорение. Любая ускоренно движущаяся заряженная частица должна испускать электромагнитную волну. Таким образом, электрон должен терять энергию и «падать» на ядро. Время жизни такого атома 10^{-7} с.

12. Установите соответствие между именами ученых XIX в. и их вкладом в развитие науки.

ИМЕНА УЧЕНЫХ	ВКЛАД В НАУКУ
А) Дж. Дж. Томсон	1) открытие естественной радиоактивности
Б) Э. Резерфорд	2) открытие электрона
	3) открытие нейтрона
	4) открытие ядра атома

Ответ:

А	Б

13. Размер атомов около 10^{-10} м. Во сколько раз меньше размер ядра в модели атома Э. Резерфорда?

Ответ: в ____ раз

14. Фольгу из золота раскатывают до толщины 0,1 мкм. Плотность золота 19 300 кг/м^3. Оцените, сколько слоев атомов золота «пробивает» частица, пролетающая сквозь фольгу. Молярная масса золота 0,197 кг/моль. Ответ округлите до сотен.

Ответ: ____

Постулаты Бора

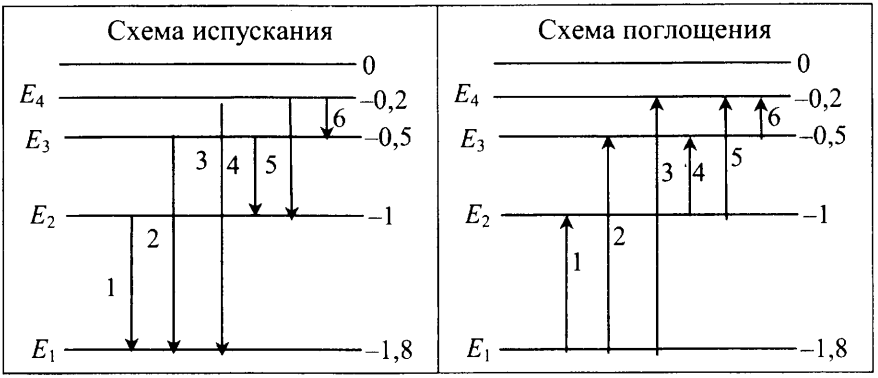
1. Атомная система может находиться в особых стационарных состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия. Находясь в стационарных состояниях, атом не излучает.

2. Энергия испускается или поглощается при переходе электрона из одного состояния в другое:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = E_n - E_k .$$

По современным представлениям: положение электрона в атоме подчиняется теории вероятностей. Стационарные орбиты — это наиболее вероятные положения электрона в атоме.

Схема возможных переходов электрона в атоме

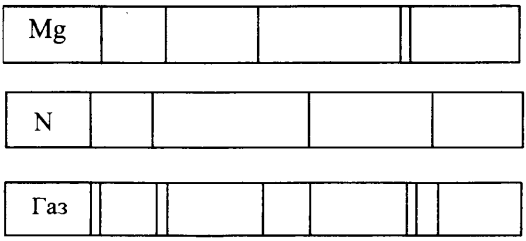


Учтите:

1. Энергия электрона в атоме отрицательна.
2. Чем ближе к ядру, тем больше числовое значение энергии.
3. На бесконечности энергия равна нулю.

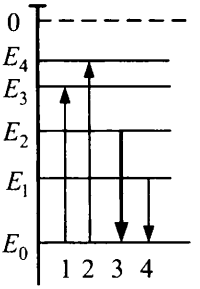
Спектральный анализ — исследование спектров от различных источников.

Каждое вещество имеет свой набор характерных цветных полос. Как преступника можно узнать по отпечаткам пальцев, так химический состав разогретого вещества можно узнать по его спектру. Сначала изучают линейчатые спектры испускания, составляют специальные таблицы. Потом проводят сравнение спектра неизвестного газа с изученными спектрами.



Например, при сравнении спектра поглощения неизвестного газа и известных спектров поглощения магния и азота можно определить химический состав газа. Неизвестный газ состоит из магния и азота.

15. На рисунке изображена упрощенная диаграмма энергетических уровней атома. Установите соответствие между процессами поглощения света наибольшей длины волны и испускания света наибольшей длины волны и стрелками, указывающими энергетические переходы атома.



ПРОЦЕСС

А) поглощение света наибольшей длины волны

Б) излучение света наибольшей длины волны

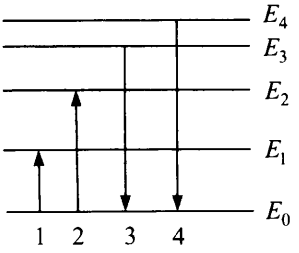
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД

1) 1
2) 2
3) 3
4) 4

Ответ:

А	Б

16. На рисунке изображена упрощенная диаграмма энергетических уровней атома. Какие из этих четырех переходов связаны с поглощением кванта света с наибольшей энергией и излучением света с наименьшей длиной волны?



ПРОЦЕСС

А) поглощение света с наибольшей энергией

Б) излучение света с наименьшей длиной волны

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД

1) 1
2) 2
3) 3
4) 4

Ответ:

А	Б

Атомное ядро

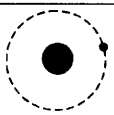
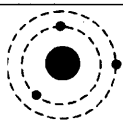
Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов.

Протон	Нейтрон
$q_p = \lvert q_e \rvert = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл	$q_n = 0$
$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг

Обозначение химического элемента ${}^{A}_{Z}X$, где Z — порядковый номер химического элемента в таблице химических элементов Д.И. Менделеева; **зарядовое число**; количество протонов в ядре; количество электронов в нейтральном атоме. A — **массовое число**; сумма протонов и нейтронов в ядре.

Число нейтронов: $N = A - Z$

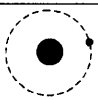
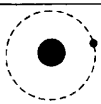
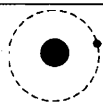
Схемы атомов

${}^{1}_{1}H$	${}^{4}_{2}He$	${}^{7}_{3}Li$
		

Ионы — заряженные частицы. Положительный ион — атом, потерявший электрон; отрицательный ион — атом, захвативший лишний электрон.

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

Изотопы водорода

Водород ${}^{1}_{1}H$	Дейтерий ${}^{2}_{1}H$	Тритий ${}^{3}_{1}H$
		
$N = 0$	$N = 1$	$N = 2$

ЗАДАЧИ

17. Сколько протонов содержит ядро аргона $^{40}_{18}\mathrm{Ar}$?

Ответ: ____

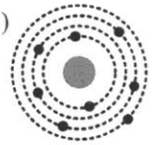
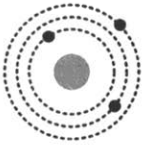
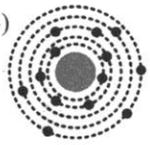
18. Сколько нейтронов входит в состав ядра криптона $^{73}_{36}\mathrm{Kr}$?

Ответ: ____

19. Определите количество электронов в нейтральном атоме фосфора $^{31}_{15}\mathrm{P}$.

Ответ: ____

20. На рисунке изображены схемы четырех атомов. Черными точками обозначены электроны. Какая схема соответствует атому $^{13}_{5}\mathrm{B}$?

1) 
2) 
3) 
4) 

Ответ: ____

21. Как изменяется с ростом массового числа изотопов одного и того же элемента число протонов и число нейтронов в ядре атома? Установите соответствие между физическими величинами и характером их изменения.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) число протонов в ядре	1) увеличивается
Б) число нейтронов в ядре	2) уменьшается
	3) не изменяется

Ответ:

А	Б

Ядерные силы. Между протонами и нейтронами действуют силы неэлектрической природы. Эти силы называют ядерными. Причем для ядерного взаимодействия неважно наличие электрического заряда у протона.

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

Масса атомного ядра. Точные опыты показали, что масса ядра меньше суммы масс составляющих его частиц:

$$m_я < Zm_p + Nm_n .$$

Дефект массы

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_я \text{ (а.е.м.)}$$

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

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

$$E_{св} = \Delta mc^2 \text{ (эВ)},$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Удельная энергия связи — энергия связи, приходящаяся на один нуклон:

$$\frac{E_{св}}{A} = \frac{\Delta mc^2}{A} \left(\text{Дж/нуклон}\right).$$

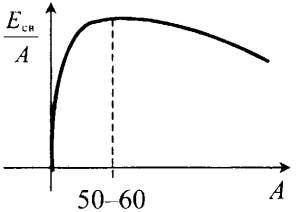
Удельная энергия связи характеризует устойчивость (прочность) ядер. Чем больше удельная энергия связи, тем:

1) устойчивее ядро,

2) лучше взаимодействуют нуклоны,

3) сложнее выбить нейтрон или протон из ядра.

Из графика видно, что *энергетически выгодно* деление тяжелых ядер и слияние легких.



Зависимость удельной энергии связи от массового числа

Радиоактивность

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

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

Искусственная радиоактивность. Даже легкие ядра под действием других элементарных частиц становятся радиоактивными.

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

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

ЗАДАЧИ

22. Как меняются массовое число и зарядовое число ядра при α-распаде? Установите соответствие между физическими величинами и характером их изменения.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ
А) массовое число ядра
Б) зарядовое число ядра

ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
1) уменьшается на 1
2) уменьшается на 2
3) уменьшается на 4
4) не изменяется

Ответ:

А	Б

23. Как изменятся заряд и массовое число радиоактивного ядра в результате его β-распада? Установите соответствие между физическими величинами и характером их изменения.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) заряд	1) увеличится
Б) массовое число	2) не изменится
	3) уменьшится

Ответ:

А	Б

24. Как изменятся массовое число и заряд атомного ядра при γ-излучении?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЕ
А) массовое число ядра	1) увеличилась
Б) заряд атомного ядра	2) уменьшилась
	3) не изменилась

Ответ:

А	Б

25. Ядро $^{238}_{92}U$ претерпело ряд α- и β-распадов. В результате образовалось ядро $^{206}_{82}Pb$. Определите число α-распадов.

Ответ: ____

26. В результате серии радиоактивных распадов уран $^{238}_{92}U$ превращается в свинец $^{206}_{82}Pb$. Какое количество β-распадов произошло при этом?

Ответ: ____

27. Ядро изотопа нептуния $^{237}_{93}Np$, испытав серию α- и β-распадов, превратилось в ядро висмута $^{209}_{83}Bi$. Определите суммарное число α- и β-распадов.

Ответ: ____

28. Радиоактивный изотоп урана испытал один α- и два β-распада. Выберите ***два*** верных утверждения. Укажите их номера.

1) Количество нейтронов в ядре не изменилось.
2) Количество протонов в ядре уменьшилось.

3) Полученный изотоп является изотопом урана.
4) Массовое число ядра уменьшилось на 4.
5) Зарядовое число ядра уменьшилось на 2.

Ответ: | |

Закон радиоактивного распада

$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} \text{ или } m = \frac{m_0}{2^{\frac{t}{T}}},$$

где $N(m)$ — число (масса) *нераспавшихся* ядер в момент времени t, $N_0(m_0)$ — начальное число (первоначальная масса) *нераспавшихся* ядер; T — период полураспада.

Период полураспада — время, за которое исходное число ядер в среднем уменьшается вдвое.

Подсказки к задачам

Количество радиоактивных ядер уменьшилось в n раз	$N = \frac{N_0}{n}$
Масса радиоактивного вещества уменьшилась в n раз	$m = \frac{m_0}{n}$
Число распавшихся ядер	$N_0 - N$
Произошел распад 5/8 исходных ядер	Осталось $N = \frac{3N_0}{8}$
Доля нераспавшихся ядер (в процентах)	$\frac{N}{N_0} \cdot 100\%$
Доля распавшихся ядер (часть распавшихся ядер)	$\frac{N_0 - N}{N_0}$

УПРАЖНЕНИЯ

1. В начальный момент времени было 1000 атомных ядер изотопа с периодом полураспада 5 мин. Сколько ядер этого изотопа останется нераспавшимися через 10 мин? **(Около 250)**

2. Количество радиоактивных атомов за 32 дня уменьшилось в 4 раза. Определите период полураспада этого химического элемента. **(16 сут)**

3. Период полураспада нептуния 2,3 сут. Через какое время количество радиоактивных атомов уменьшится в 16 раз? **(Через 9,2 сут)**

4. Период полураспада стронция 29 лет. Через сколько лет произойдет распад 7/8 от первоначального числа радиоактивных ядер? **(Через 87 лет)**

5. Период полураспада радона 3,8 дня. Через какое время масса радона уменьшится в 64 раза? **(Через 22,8 дня)**

6. Период полураспада радия 1600 лет. Через какое время масса радиоактивного радия уменьшится в 4 раза? **(Через 3200 лет)**

7. Период полураспада изотопа ртути 20 мин. Если изначально масса этого изотопа равна 40 г, то сколько примерно его будет через 1 ч? **(5 г)**

8. Какая часть исходных радиоактивных ядер распадается за время, равное двум периодам полураспада? **(3/4)**

9. Какая доля (в процентах) радиоактивных атомов остается нераспавшейся через интервал времени, равный двум периодам полураспада? **(25%)**

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

$$^{A_1}_{Z_1}X + {}^{A_2}_{Z_2}Y = {}^{A_3}_{Z_3}X' + {}^{A_4}_{Z_4}Y'.$$

Законы сохранения:

$$\Sigma Z = \Sigma Z' \,;\; \Sigma A = \Sigma A' \,;\; \Sigma N = \Sigma N'.$$

Учтите: в ядерных реакциях закон сохранения заряда выполняется полностью, а закон сохранения массы «нарушается». Изменение массы связано с выделением или поглощением энергии. В ядерных реакциях энергия выделяется, если $m_1 + m_2 > m_1' + m_2'$, а поглощается, если $m_1 + m_2 < m_1' + m_2'$.

Значение выделенной или поглощенной энергии вычисляется по формуле:

$$E = \left|(m_1 + m_2) - (m_1' + m_2')\right| \cdot c^2,$$

где c — скорость света.

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

1. Кинематика

1	20	**30**	21,6	**59**	25
2	2	**31**	3	**60**	45
3	25	**32**	3	**61**	2
4	6,28	**33**	12,8	**62**	34
5	0,5	**34**	9	**63**	1,25
6	45	**35**	100	**64**	3
7	6	**36**	4,4	**65**	5
8	4	**37**	6	**66**	4
9	1,6	**38**	12	**67**	30
10	60	**39**	22,5	**68**	43
11	13	**40**	312,5	**69**	5
12	6,75	**41**	20	**70**	0,3
13	0,5	**42**	6	**71**	2
14	4	**43**	5	**72**	0,17
15	320	**44**	3	**73**	0,25
16	9	**45**	6	**74**	30
17	50	**46**	31	**75**	2
18	0	**47**	41	**76**	2
19	80	**48**	13	**77**	4
20	160	**49**	24	**78**	9
21	550	**50**	3	**79**	3
22	45	**51**	2	**80**	8
23	0,5	**52**	36	**81**	16
24	0,7	**53**	35	**82**	4
25	2,5	**54**	8	**83**	0,034
26	30	**55**	10	**84**	4
27	15	**56**	20	**85**	13
28	19	**57**	4	**86**	3,14
29	12	**58**	2		

2. Динамика

1	32	**25**	4,42	**49**	2
2	41	**26**	4,5	**50**	36
3	2	**27**	381900	**51**	0,2
4	4	**28**	2,3	**52**	2
5	8	**29**	3,4	**53**	2
6	8	**30**	84,25	**54**	1
7	2	**31**	112738	**55**	14
8	20	**32**	1	**56**	2
9	10	**33**	18,4	**57**	0,2
10	90	**34**	42	**58**	12

11	1000	**35**	12	**59**	31
12	500	**36**	12	**60**	0,125
13	0,4	**37**	10	**61**	1
14	5	**38**	4,5	**62**	20
15	1	**39**	16	**63**	3,14
16	4	**40**	10	**64**	1
17	9	**41**	10	**65**	0,76
18	0,5	**42**	3	**66**	81
19	22,5	**43**	0,5	**67**	1,7
20	500	**44**	2	**68**	23
21	2	**45**	3	**69**	0,5
22	80	**46**	0,5	**70**	6,5
23	80	**47**	0,25		
24	0,25	**48**	14		

3. Законы сохранения

1	0	**44**	37,5	**87**	90
2	46	**45**	8	**88**	10
3	0,5	**46**	6	**89**	20
4	3000	**47**	3	**90**	1
5	7500	**48**	1	**91**	1600
6	0	**49**	32	**92**	9
7	45000	**50**	0,93	**93**	10
8	0	**51**	12	**94**	0,5
9	2,4	**52**	20	**95**	9
10	1,4	**53**	21	**96**	3
11	1,25	**54**	12	**97**	1
12	2,83	**55**	0,024	**98**	2
13	0,1	**56**	2	**99**	1
14	10	**57**	0,08	**100**	0,25
15	2	**58**	100	**101**	0,75
16	0,5	**59**	20	**102**	3
17	42	**60**	82500	**103**	23
18	9	**61**	3000	**104**	0,025
19	30	**62**	50	**105**	0,4
20	12	**63**	8000	**106**	2,5
21	500	**64**	10	**107**	10
22	108	**65**	40	**108**	400
23	7,2	**66**	375	**109**	65
24	8	**67**	53	**110**	0,5
25	6	**68**	500	**111**	290
26	10	**69**	150	**112**	5
27	5	**70**	0	**113**	5
28	2,5	**71**	150	**114**	90
29	5	**72**	43	**115**	0,78
30	0,02	**73**	1	**116**	15
31	2	**74**	0,1	**117**	3,2

32	400	**75**	500	**118**	5
33	42	**76**	0,1	**119**	0,1
34	0,8	**77**	30	**120**	6
35	3,5	**78**	0	**121**	3,27
36	2	**79**	20	**122**	5
37	0,2	**80**	14,1	**123**	1
38	25	**81**	2	**124**	168,75
39	60	**82**	3	**125**	1,5
40	1150	**83**	23	**126**	15
41	0	**84**	41	**127**	1
42	942	**85**	15		
43	48	**86**	20		

4. Статика

1	OD	**3**	0,15	**5**	0,2	**7**	0,2	**9**	2	**11**	75
2	CD	**4**	10	**6**	1	**8**	0,75	**10**	10	**12**	472

5. Гидростатика

1	20	**10**	72	**19**	2
2	1600	**11**	14	**20**	0,4
3	5	**12**	0,4	**21**	270
4	700	**13**	10	**22**	25
5	1,1	**14**	12,9	**23**	1,5
6	1	**15**	10	**24**	2
7	1	**16**	0,7	**25**	2
8	26	**17**	0,7	**26**	3
9	700	**18**	3	**27**	31

6. Молекулярная физика

1	13	**19**	132	**37**	18,75
2	23	**20**	1000	**38**	22,2
3	23	**21**	16	**39**	25
4	0,004	**22**	4	**40**	21
5	50	**23**	4	**41**	1
6	24	**24**	1,5	**42**	2
7	2	**25**	5	**43**	4
8	1	**26**	800	**44**	1
9	1	**27**	4	**45**	3
10	2	**28**	7	**46**	32
11	2	**29**	59	**47**	0,6
12	1,6	**30**	0,25	**48**	2
13	275	**31**	23	**49**	30
14	295	**32**	23	**50**	40
15	27	**33**	300	**51**	73
16	8	**34**	600	**52**	1800
17	15	**35**	400	**53**	60
18	127	**36**	4	**54**	100

7. Термодинамика

1	21	**14**	33636	**27**	6980,4
2	53	**15**	3	**28**	16620
3	41	**16**	23	**29**	41550
4	1520	**17**	32	**30**	25
5	504	**18**	4	**31**	250
6	130	**19**	2	**32**	45
7	2	**20**	13	**33**	20
8	625	**21**	50	**34**	419
9	1	**22**	20	**35**	3333
10	1,5	**23**	30	**36**	25
11	13	**24**	500	**37**	40
12	373	**25**	375		
13	0	**26**	34		

8. Электростатика

1	3	**22**	11	**43**	12
2	1	**23**	21	**44**	26
3	2	**24**	21	**45**	190
4	3	**25**	10	**46**	66,7
5	1,5	**26**	153	**47**	500
6	1	**27**	0,5	**48**	2,55
7	200	**28**	2	**49**	80
8	4	**29**	0,1	**50**	34
9	5	**30**	3	**51**	91
10	1	**31**	2	**52**	5
11	4	**32**	4	**53**	7,5
12	12	**33**	3	**54**	0,1
13	вправо	**34**	400	**55**	0,1
14	влево	**35**	1200	**56**	1,5
15	2	**36**	20	**57**	1
16	4	**37**	21	**58**	5
17	400	**38**	11	**59**	22
18	270	**39**	2	**60**	150
19	25	**40**	2	**61**	4
20	17	**41**	3		
21	3,5	**42**	0,1		

9. Постоянный ток

1	1,5±0,25	**19**	0	**37**	4,5
2	4	**20**	200	**38**	57,5
3	24	**21**	4	**39**	4
4	1,25	**22**	3	**40**	4,8
5	12	**23**	2,4	**41**	0,02
6	14	**24**	36	**42**	20

7	2	**25**	4	**43**	20
8	4	**26**	2	**44**	1
9	2	**27**	16	**45**	1,6
10	0,5	**28**	1	**46**	1,35
11	6	**29**	6	**47**	вправо
12	4	**30**	21	**48**	вправо
13	4	**31**	1500	**49**	2
14	50	**32**	0,9	**50**	20
15	250	**33**	12	**51**	10
16	20	**34**	21	**52**	20
17	4	**35**	6	**53**	10
18	2	**36**	0,5		

10. Магнетизм

1	4	**20**	14	**39**	0,5
2	к наблюдателю	**21**	0,4	**40**	34
3	вниз	**22**	45	**41**	12
4	23	**23**	4	**42**	1
5	вниз	**24**	10	**43**	1
6	вправо	**25**	48	**44**	8
7	от наблюдателя	**26**	2	**45**	3
8	к наблюдателю	**27**	0,5	**46**	4
9	312,5	**28**	0	**47**	3
10	0	**29**	к наблюдателю	**48**	4
11	25	**30**	вверх	**49**	1,5
12	2	**31**	1000	**50**	10
13	1,5	**32**	4	**51**	2,5
14	1	**33**	5	**52**	5
15	от наблюдателя	**34**	16	**53**	4
16	вправо	**35**	32	**54**	125
17	вниз	**36**	22	**55**	0,2
18	вниз	**37**	0,2	**56**	10
19	вверх	**38**	21		

11. Колебания и волны

1	0,9	**10**	250	**19**	2	**28**	32	**37**	850
2	0,03	**11**	2	**20**	0,04	**29**	10	**38**	1342
3	6	**12**	3	**21**	1600	**30**	6	**39**	2413
4	10	**13**	2,5	**22**	1,26	**31**	4	**40**	300000
5	2	**14**	6	**23**	8	**32**	31	**41**	24
6	14	**15**	22	**24**	2	**33**	2,95		
7	1	**16**	0,513	**25**	8	**34**	19		
8	0	**17**	1,15	**26**	4	**35**	21		
9	10	**18**	12,7	**27**	0,4	**36**	1,2		

12. Оптика

1	10	**7**	31	**13**	1,6
2	2	**8**	1,2	**14**	6
3	75	**9**	70	**15**	300000
4	20	**10**	6,5	**16**	1,25
5	70	**11**	5	**17**	235
6	90	**12**	2	**18**	1,02

13. Квантовая физика

1	21	**11**	550	**21**	31
2	215	**12**	24	**22**	32
3	597	**13**	100000	**23**	12
4	1,9	**14**	400	**24**	33
5	2,96	**15**	14	**25**	8
6	16425	**16**	24	**26**	6
7	5,1	**17**	18	**27**	11
8	300	**18**	37	**28**	34
9	4,74	**19**	15		
10	15,8	**20**	3		

Справочное издание

Громцева Ольга Ильинична

ЕГЭ 100 БАЛЛОВ ФИЗИКА

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К ЕГЭ

Издательство ***«ЭКЗАМЕН»***

Гигиенический сертификат
№ РОСС RU.НА34.Н08638 с 07.08.2018 г.

Главный редактор *Л. Д. Лаппо*
Редактор *Г. А. Лонцова*
Технический редактор *Л. В. Павлова*
Корректоры *Е. В. Григорьева, А. В. Полякова*
Дизайн обложки *Л. В. Демьянова*
Компьютерная вёрстка *Д. С. Ахтырская*

Россия, 107045, Москва, Луков пер., д. 8.
www.examen.biz
E-mail: по общим вопросам: info@examen.biz;
по вопросам реализации: sale@examen.biz
тел./факс 8 (495) 641-00-30 (многоканальный)

Общероссийский классификатор продукции
ОК 034-2014; 58.11.1 — книги печатные

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ООО "Красногорская типография". 143405, Московская область,
г. Красногорск, Коммунальный квартал, дом 2. www.ktprint.ru

По вопросам реализации обращаться по тел.:
8 (495) 641-00-30 (многоканальный).