

ДЛЯ РАБОТЫ В КЛАССЕ И ДОМА  
ПО ЛЮБОМУ УЧЕБНИКУ

Л. Э. Генденштейн  
А. А. Булатова  
И. Н. Корнильев  
А. В. Кошкина

# ФИЗИКА

# 11

- ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ
- ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРЕХ УРОВНЕЙ СЛОЖНОСТИ
- ПОДРОБНЫЕ УКАЗАНИЯ К ТРУДНЫМ ЗАДАЧАМ
- ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ
- МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ВПР И ЕГЭ



ИЗДАТЕЛЬСТВО

**БИНОМ**

Л. Э. Генденштейн,  
А. А. Булатова, И. Н. Корнильев, А. В. Кошкина

# ФИЗИКА

## 11 класс

Базовый и углубленный уровни

### Задачник

- **ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ**
- **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРЕХ УРОВНЕЙ СЛОЖНОСТИ**
- **ПОДРОБНЫЕ УКАЗАНИЯ К ТРУДНЫМ ЗАДАЧАМ**
- **ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ**
- **МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ВПР И ЕГЭ**

Соответствует федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования и примерной основной образовательной программе среднего общего образования



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний  
2018

УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я721  
Г34

Авторы:

Л. Э. Генденштейн, А. А. Булатова,  
И. Н. Корнильев, А. В. Кошкина

Генденштейн Л. Э.

Г34 Физика. 11 класс. Базовый и углубленный уровни.  
Задачник : учебно-методическое пособие / Л. Э. Генденштейн, А. А. Булатова и др. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2018. — 240 с. : ил.

ISBN 978-5-9963-3679-1

Пособие ориентировано на обучение решению задач и соответствует структуре учебного предмета «Физика» в 10—11 классах. Содержит также вопросы и задания трёх уровней сложности для самостоятельной работы и подробные указания к решению трудных задач.

Оно может быть использовано для базового и углублённого изучения физики в классах физико-математического, инженерно-технологического, универсального и других профилей. Используемый математический аппарат согласуется с учебным предметом «Математика».

Соответствует федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования и примерной основной образовательной программе среднего общего образования.

Предназначено для общеобразовательных организаций: школ, лицеев, гимназий, центров образования и пр.

УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я721

## Тому, кто хочет НАУЧИТЬСЯ решать задачи по физике

Эту книгу можно использовать при изучении физики по *любому* учебнику. Она поможет Вам научиться *решать* задачи, а не заучивать готовые решения. Вы обнаружите, что решать задачи намного интересней и к тому же намного надёжней, чем вспоминать заученные решения на контрольной или на ЕГЭ по физике.

По каждому разделу программы физики 11-го класса Вы найдёте много *обучающих* вопросов и заданий. Уровень их сложности *постепенно повышается* — от самых простых до довольно сложных.

Успешно справиться с заданиями высокого уровня сложности Вам помогут предложенные здесь «ступеньки», по которым Вы будете шаг за шагом подниматься на высокий уровень (туда и правда трудно «запрыгнуть» одним прыжком).

Наши «ступеньки» — это вопросы *постепенно увеличивающейся сложности* по одной и той же ситуации, описанной в условии задачи. Их последовательность тщательно подобрана так, чтобы научить Вас *правильному (исследовательскому!)* подходу к решению задач.

Вы убедитесь на собственном опыте, что не стоит пытаться *сразу* найти ответ на поставленный в задаче вопрос — это обычно нереально. Чтобы достичь успеха, надо *исследовать* ситуацию, описанную в условии задачи, то есть *записать* все соотношения, справедливые для данной ситуации (не обращая внимания на то, какие величины заданы, какие надо найти, а о каких вообще ничего не сказано в условии).

В результате вы получите *систему уравнений*. Это — *ключ к решению задачи*: Вам останется только решить систему относительно искомой величины (или величин).

Описанный подход к решению задач мы кратко сформулировали на следующей странице в виде «*Золотого правила*» решения задач.

В каждом разделе после обучающих вопросов и заданий приведены *вопросы и задания для самостоятельной работы базового, повышенного и высокого* уровней сложности. Не пропускайте простых заданий, даже если Вы уверены в себе: они помогут Вам справиться с более трудными задачами, к которым не всегда даны «ступеньки».

Ко многим заданиям (особенно обучающим) приведены советы непосредственно после условий. Они помогут Вам наметить путь решения.

К наиболее трудным задачам в конце книги приведены *подробные указания*. Они помогут Вам составить систему уравнений, открывающую путь к решению.

В 11-м классе все учащиеся выполняют Всероссийские проверочные работы (ВПР) и, кроме того, многие учащиеся готовятся к ЕГЭ по физике. Поэтому мы добавили Приложение, в котором собраны задачи по всем важнейшим ситуациям школьного курса физики 7-10-х классов. Удачи Вам при выполнении ВПР и сдаче ЕГЭ по физике!

## Тому, кто хочет НАУЧИТЬ решать задачи по физике

Эта книга поможет Вам научить школьников *решать задачи по физике* — как в классе, так и на индивидуальных занятиях.

Вы лучше других знаете, как трудно научить школьников решать задачи по физике. Эта трудность имеет простую причину: дело в том, что не существует самого по себе «умения решать задачи по физике». Это умение — «побочный продукт» *исследовательского подхода*. Тот, кто овладел этим подходом, сможет решить задачу даже высокого уровня сложности. А развить исследовательский подход у Ваших учеников как раз и поможет эта книга.

Вы найдёте в ней много *обучающих* вопросов и заданий по всем разделам школьного курса физики 11-го класса. В этих вопросах и заданиях ставится ряд постепенно усложняющихся вопросов по *одной и той же ситуации* — именно в той последовательности, которая и характеризует исследовательский подход.

В книге, в частности, исследованы указанным образом практически все ситуации, встречавшиеся в заданиях ЕГЭ по физике.

Работая с учениками, не предлагайте им сразу все вопросы по данной ситуации — сначала задавайте вопросы по одному в порядке усложнения, а потом постепенно предлагайте им *самим задавать вопросы* по рассматриваемой ситуации. Так Вы поможете своим ученикам скорее овладеть исследовательским подходом, в результате чего они будут получать радость не только от решения задач, но и от их постановки.

Вопросы и задания для самостоятельной работы трёх уровней сложности можно использовать как для работы в классе (в том числе для проведения кратковременных самостоятельных работ), так и для заданий на дом.

Если трудная задача не поддаётся, предложите ознакомиться с подробными указаниями, приведёнными в конце книги для большинства трудных задач. Эти указания — не решения, которые можно «списать»: они помогут Вашим ученикам «сдвинуться с мёртвой точки» и справиться с задачей.

Желаем от всей души удачи всем, кто будет работать по этой книге!

Авторы

## «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. *Закройте поставленный в задаче вопрос и сосредоточьтесь на ситуации, описанной в условии задачи: какие закономерности справедливы для этой ситуации?*
2. *Запишите эти закономерности в виде системы уравнений. При этом не бойтесь использовать величины, не упомянутые в условии задачи.*
3. *Откройте вопрос задачи и решите полученную систему уравнений относительно искомых величин.*

# ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ КУРСА ФИЗИКИ 10 КЛАССА

## Механика

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} \quad v_x = v_{0x} + a_x t \quad l = \frac{|v_k^2 - v_n^2|}{2a} \quad a = \frac{v^2}{r} \quad \omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$$

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad F = k|x| \quad F_{\text{тр. ск}} = \mu N \quad F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N$$

$$\bar{p} = m\bar{v} \quad \Delta\bar{p} = \bar{F}\Delta t \quad A = Fscos\alpha \quad P = \frac{A}{t} = Fv$$

$$E_p = mgh \quad E_p = \frac{kx^2}{2} \quad E_k = \frac{mv^2}{2} \quad E_{\text{мех}} = E_p + E_k$$

$$M = Fl \quad p = \frac{F}{S} \quad p = \rho gh \quad F_A = \rho gV_{\text{погр}}$$

## Молекулярная физика и термодинамика

$$N = \nu N_A \quad m = \nu M \quad pV = \frac{m}{M}RT = \nu RT \quad p = \frac{1}{3}nm_0\bar{v}^2$$

$$p = \frac{2}{3}n\bar{E} \quad \bar{E} = \frac{3}{2}kT \quad \bar{v}^2 = \frac{3kT}{m_0} = \frac{3RT}{M} \quad \varphi = \frac{p}{p_H} \cdot 100\%$$

$$Q = cm(t_k - t_H) \quad Q = qm \quad Q = \Delta U + A_T \quad U = \frac{3}{2}\nu RT$$

$$U = \frac{3}{2}pV \quad A_T = p\Delta V \quad \eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_1} \cdot 100\% \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%$$

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% \quad Q = \lambda m \quad Q = Lm$$

## Электростатика и постоянный электрический ток

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2} \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad A = qU \quad C = \frac{q}{U} \quad C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$

$$W_p = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad Q = I^2 Rt \quad A = IUt \quad P = IU$$

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q} \quad I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} \quad U = \mathcal{E} - Ir \quad I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r} \quad m = \frac{m_0 q}{en}$$

# ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ КУРСА ФИЗИКИ 11 КЛАССА

## Электродинамика

$$F_A = BIl \sin \alpha$$

$$F_{II} = Bqv \sin \alpha$$

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\Phi = LI$$

$$\mathcal{E}_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$W_M = \frac{LI^2}{2}$$

## Колебания и волны

$$x = x_{\max} \cos \omega t$$

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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (\S 9)$$

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

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

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$X_L = \omega L \quad (\S 12)$$

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

## Оптика и элементы теории относительности

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n$$

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}$$

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

$$\Gamma = \frac{H}{h}$$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

$$\Delta d = k\lambda$$

$$d \sin \phi_k = k\lambda$$

$$n = \frac{c}{v}$$

$$E_0 = mc^2$$

## Квантовая физика

$$E = h\nu$$

$$E_{k \max} = eU_3$$

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + E_{k \max}$$

$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{h}$$

$$p = \frac{h\nu}{c}$$

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_a$$

$$E_{\text{св}} = \Delta M \cdot c^2$$

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

### Магнитные взаимодействия. Магнитное поле



### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Вблизи какого географического полюса Земли находится её северный магнитный полюс?

*Совет.* Северным полюсом магнитной стрелки (представляющей собой небольшой магнит) называют полюс, указывающий на север. Учтите, что притягиваются *разноимённые* полюсы магнитов.

2. В какой паре витков с токами из изображённых на рисунках 1, а, б витки притягиваются, а в какой — отталкиваются?



Рис. 1

3. На каком из рисунков 2, *а*, *б* изображены катушки, токи в которых направлены одинаково? противоположно?
4. Сравните магнитные линии поля, созданного катушкой с током (рис. 3), с магнитными линиями поля, созданного полосовым магнитом (рис. 4). Чем они отличаются?
5. Чем отличаются опыты, схематически изображённые на рисунках 3, *а* и *б*? Какой вывод можно сделать из этого наблюдения?
6. Чем отличаются рисунки 5, *а* и *б*?
7. На горизонтальном столе лежит проволочный виток. Мы смотрим на него сверху.  
 а) Как направлен вектор магнитной индукции поля в центре витка, если по нему течёт ток, направленный по часовой стрелке? против часовой стрелки?  
 б) В каком направлении движутся по витку свободные электроны (по часовой стрелке или против неё), если магнитная индукция поля, созданного током в витке, направлена в центре витка вниз? вверх?
- Совет.* б) Учтите, что заряд электрона — отрицательный, а за направление тока выбирают направление движения положительных носителей заряда.

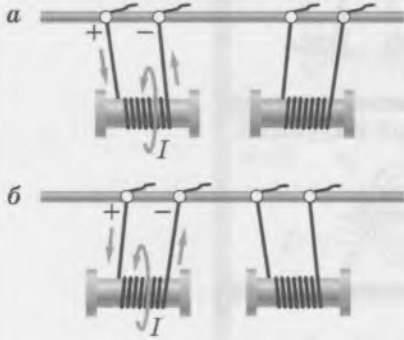


Рис. 2

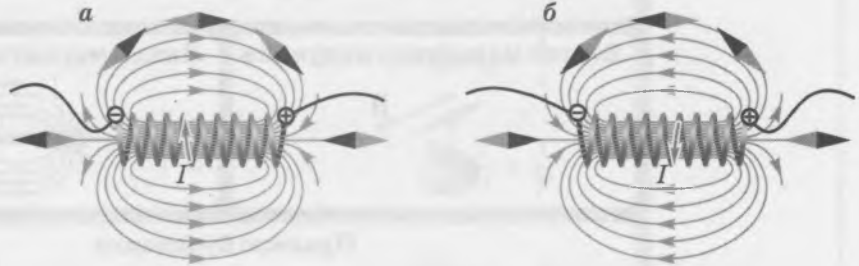


Рис. 3

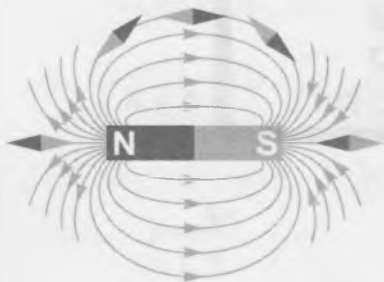


Рис. 4

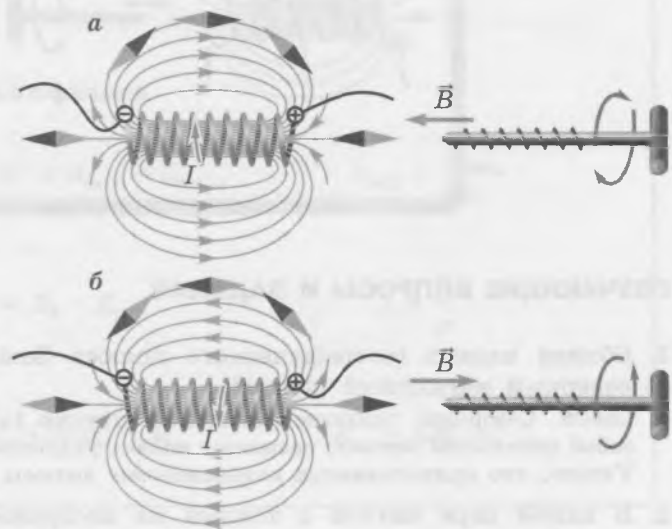


Рис. 5

8. Чем отличаются опыты, схематически изображённые на рисунках 6, *a* и *б*? Какой вывод можно сделать из этого наблюдения?

9. Чем отличаются рисунки 7, *a* и *б*?

Мы будем использовать обозначения, показанные на рисунке 8. Слева изображены векторы магнитной индукции, ток и сила, направленные «от нас», а справа — направленные «к нам».

10. На рисунках 9, *a*, *б* изображены прямолинейные проводники с токами и отмечены точки *A* и *C*. Перенесите рисунки в тетрадь и укажите на них направление вектора магнитной индукции поля, созданного каждым из токов, в отмеченных точках.

11. На рисунках 10, *a*, *б* изображены две пары параллельных проводников с токами. Силы тока в проводниках одинаковы, точка *A* находится точно посередине между проводниками в одной плоскости с ними. Обозначим *B* модуль магнитной индукции поля, созданного в точке *A* одним из проводников с током.

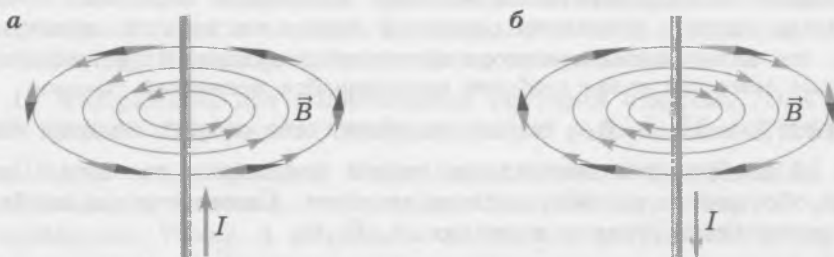


Рис. 6

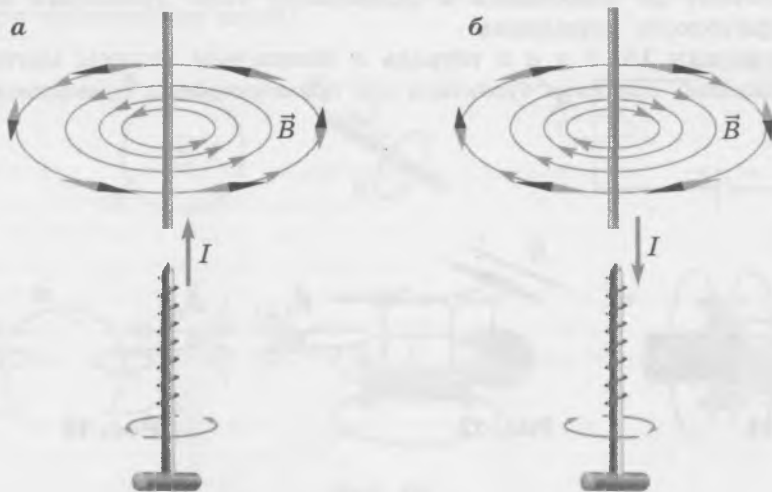


Рис. 7

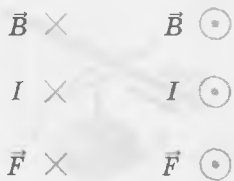


Рис. 8

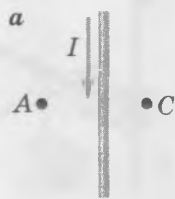


Рис. 9

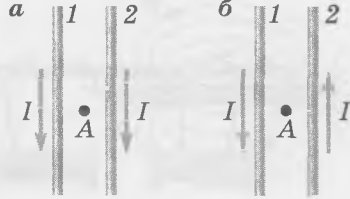


Рис. 10

- а) Перенесите рисунки в тетрадь и укажите на них векторы магнитной индукции поля, созданного в точке  $A$  каждым из проводников по отдельности.
- б) Укажите на тех же рисунках векторы магнитной индукции поля, созданного в точке  $A$  *обоими* проводниками. Запишите, чему равен в обоих случаях модуль вектора магнитной индукции этого поля.

*Совет.* а) Примените правило буравчика для прямолинейного проводника с током и принцип суперпозиции для магнитных полей.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

12. Полосовой магнит разломали на три части, как показано на рисунке 11. Перенесите рисунок в тетрадь и отметьте цветом полюсы  $A$  и  $B$  средней части магнита.

13. На рисунке 12 изображён вектор магнитной индукции магнитного поля. Будет ли устойчивым показанное на рисунке положение магнитной стрелки, помещённой в это поле? Более тёмным цветом обозначен северный полюс магнитной стрелки.

*Совет.* Учтите, что за направление вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  принимают направление, на которое указывает северный полюс свободно вращающейся магнитной стрелки.

14. Перенесите рисунки 13, *а*, *б* в тетрадь и обозначьте на них полюсы магнитов.

15. На рисунке 14 изображены магнитные линии полосового магнита. Перенесите рисунок в тетрадь и обозначьте на нём полюсы магнита. Схематически изобразите устойчивые положения магнитных стрелок в точках  $A$ ,  $B$ ,  $C$ .

16. На рисунке 15, *а* изображена схема опыта Эрстеда (магнитная стрелка находится под проводником).

а) Объясните, почему до включения в проводнике тока проводник надо расположить вдоль географического меридиана.

б) Перенесите рисунки 15, *б* и *в* в тетрадь и обозначьте полюсы магнитных стрелок.

*Совет.* б) Воспользуйтесь правилом буравчика для прямолинейного проводника с током.



Рис. 11



Рис. 12

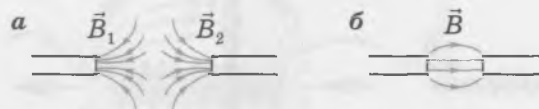


Рис. 13

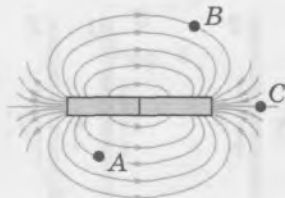


Рис. 14



Рис. 15

17. Определите направление линий магнитной индукции в каждом из случаев, изображённых на рисунках 16, а—ж.

*Совет.* Воспользуйтесь правилом буравчика для прямолинейного проводника с током и для катушки с током.

### Повышенный уровень

18. На рисунке 17 изображены два параллельных проводника с токами  $I_1$  и  $I_2$ . Точка А находится точно посередине между проводниками, в одной плоскости с ними.

- Как направлен вектор магнитной индукции поля, созданного в точке А обоими проводниками, если  $I_1 > I_2$ ?
- Как направлен вектор магнитной индукции поля, созданного в точке А обоими проводниками, если  $I_1 < I_2$ ?

*Совет.* Проведите магнитные линии полей, создаваемых каждым проводником с током. Воспользуйтесь принципом суперпозиции полей и учтите соотношения сил тока в них.

19. На рисунке 18 изображён проводник с током. Как направлен вектор магнитной индукции в точках С и D, если потенциал точки А выше потенциала точки В?

*Совет.* Ток направлен от точки с большим потенциалом к точке с меньшим потенциалом. Воспользуйтесь правилом буравчика для прямолинейного проводника с током.

20. На рисунке 19 изображены две подвешенные катушки с токами. Оси катушек расположены на одной прямой. Определите северный полюс расположенной слева катушки.

21. На рисунках 20, а—г изображены пары параллельных проводников с токами, перпендикулярных плоскости рисунка, и указаны направления тока в них. Силы тока в проводниках одинаковы. Точка А находится на равном расстоянии от проводников. Перенесите рисунки в тетрадь и укажите направление вектора магнитной индукции поля, созданного в точке А обоими проводниками.

*Совет.* Проведите магнитные линии полей, создаваемых каждым проводником с током, и воспользуйтесь принципом суперпозиции полей.

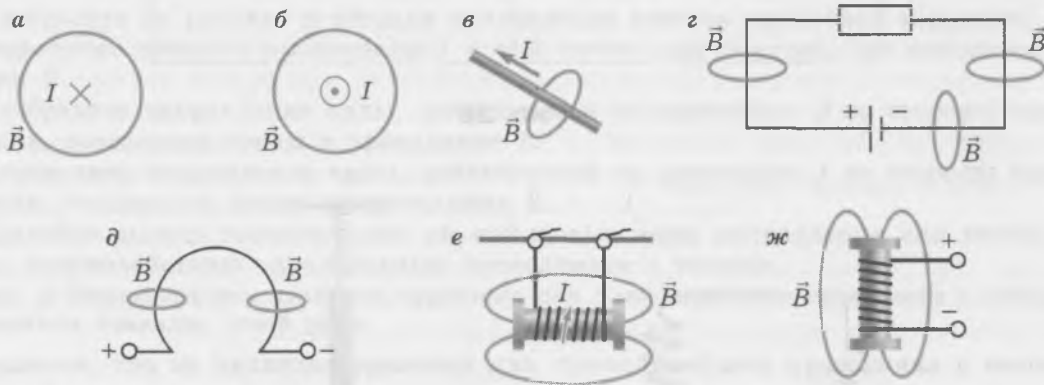


Рис. 16

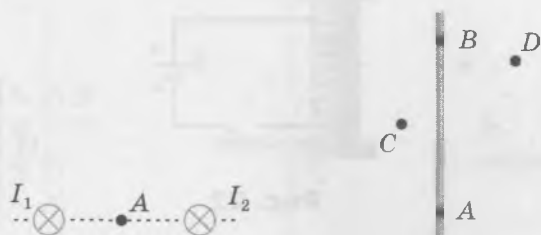


Рис. 17

Рис. 18

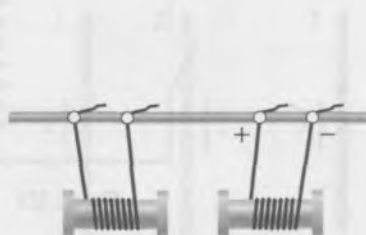


Рис. 19

## Высокий уровень

22. Верхний конец пружины соединён с полюсом источника тока, как показано на рисунке 21, а нижний конец пружины касается металлической пластины, соединённой через ключ с другим полюсом источника тока. Опишите явления, которые будут наблюдаться после замыкания ключа.

*Совет.* Определите, как направлен ток в соседних витках пружины.

23. Над неподвижно закреплённой проволочной катушкой вдоль её оси на пружине подвешен полосовой магнит (рис. 22). Опишите явления, которые будут происходить с полосовым магнитом сразу после замыкания ключа.

*Совет.* Воспользуйтесь правилом буравчика для катушки с током.

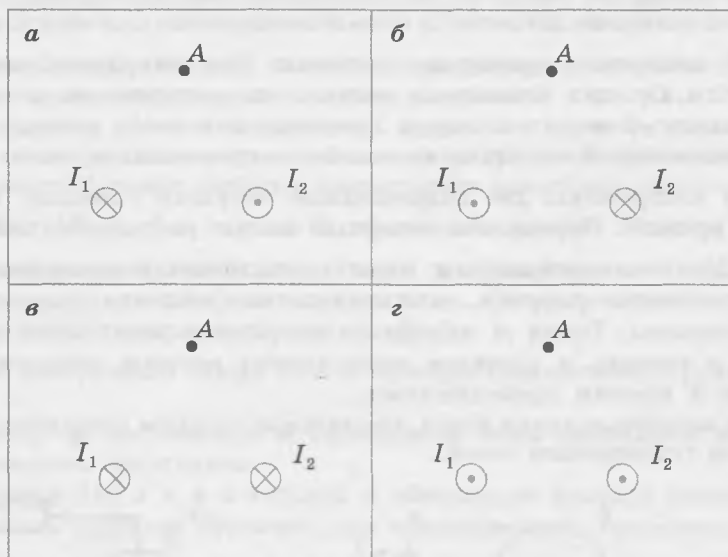


Рис. 20

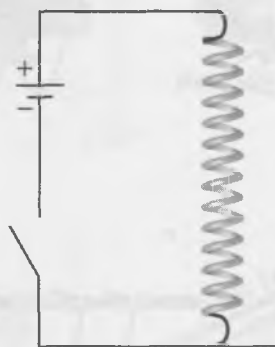


Рис. 21

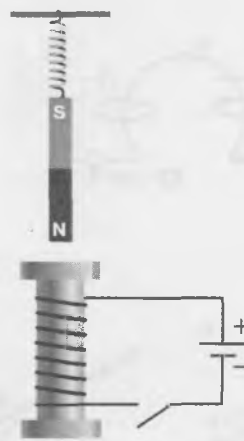


Рис. 22

# Закон Ампера



## ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

### Сила Ампера. Правило левой руки

24. При каком условии действующая на проводник с током в магнитном поле сила Ампера равна нулю?

25. Перенесите рисунки 23, а, б, в в тетрадь и добавьте недостающие обозначения физических величин.

*Совет.* На рисунке а надо добавить обозначение силы Ампера; на рисунке б — направление вектора магнитной индукции; на рисунке в — направление тока.

26. Перенесите в тетрадь рисунок 24.

а) Изобразите на рисунке в тетради направление вектора магнитной индукции поля  $\vec{B}_1$ , созданного током в проводнике 1 в том месте пространства, где находится проводник 2.

б) Изобразите направление силы, действующей на проводник 2 со стороны магнитного поля, созданного током в проводнике 1.

в) Определите направление силы, действующей на проводник 1 со стороны магнитного поля, созданного током в проводнике 2.

г) Сделайте вывод: соответствуют ли найденные вами направления сил опыту Ампера по взаимодействию параллельных проводников с токами.

*Совет.* а) Воспользуйтесь правилом буравчика для прямолинейного проводника с током. б) Воспользуйтесь правилом левой руки.

27. Докажите, что из правила буравчика для прямолинейного проводника с током и правила левой руки следует, что параллельные проводники с током *отталкиваются*, если токи в них направлены *противоположно* (рис. 25).

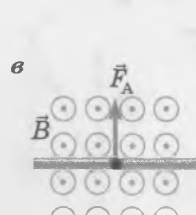
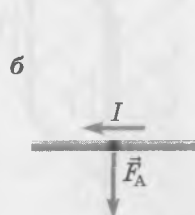
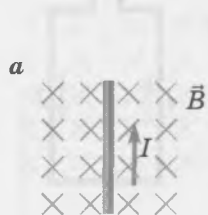


Рис. 23

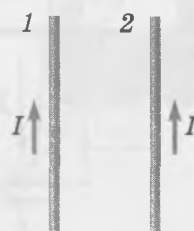


Рис. 24

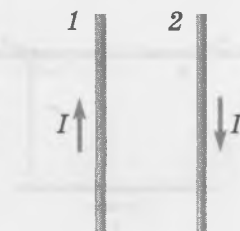


Рис. 25

28. Металлический стержень подвешен на нерастяжимых проводах и находится в однородном магнитном поле (рис. 26). Когда в стержне включили ток, направление которого показано на рисунке, *провода отклонились от вертикали*.

- В какой плоскости отклонились провода — в плоскости рисунка или перпендикулярно плоскости рисунка?
- Мог ли вектор магнитной индукции быть направлен горизонтально?
- В какую сторону отклонились провода, если вектор магнитной индукции направлен вверх?

*Совет.* а) Сила Ампера направлена перпендикулярно проводнику. б) Сила Ампера направлена перпендикулярно вектору магнитной индукции. в) Воспользуйтесь правилом левой руки.

29. Металлический стержень длиной  $l$  и массой  $m$  подвешен на нерастяжимых проводах и находится в однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$  (на рисунках 27, а, б стержень изображён в двух различных проекциях). В стержне включают ток. Сила тока равна  $I$ .

- Перенесите рисунок 27, б в тетрадь и изобразите на нём все силы, действующие на стержень, когда он находится в равновесии. Обозначьте угол отклонения проводов от вертикали  $\alpha$ , а силу натяжения *обоих* проводов обозначьте  $\vec{T}$ .
- Запишите соотношение, которое связывает угол  $\alpha$ , массу стержня  $m$  и действующую на стержень силу Ампера  $\vec{F}_A$ .
- Запишите соотношение, которое связывает угол  $\alpha$ , массу стержня  $m$ , силу тока  $I$  в стержне и модуль магнитной индукции  $B$ .

*Совет.* а) На стержень действуют сила тяжести, сила Ампера и сила натяжения проводов. б) Равнодействующая приложенных к стержню сил равна нулю, когда стержень находится в равновесии. в) Воспользуйтесь выражением для силы Ампера.

Если сила Ампера не равна нулю, то она *перпендикулярна как проводнику, так и вектору магнитной индукции*.

30. На рисунке 28 изображён проводник с током в магнитном поле. Магнитные линии лежат в плоскости рисунка.

- Перенесите рисунок в тетрадь и представьте вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  в виде векторной суммы вектора  $\vec{B}_{\parallel}$ , направленного вдоль проводника, и вектора  $\vec{B}_{\perp}$ , направленного перпендикулярно проводнику.
- Изобразите направление действующей на проводник силы Ампера.

### Рамка с током в магнитном поле

31. Рамка с током находится во внешнем магнитном поле в положении устойчивого равновесия (рис. 29). Совпадает ли внутри рамки направление вектора магнитной индукции поля, созданного током в рамке, с направлением магнитной индукции внешнего поля?

*Совет.* Воспользуйтесь правилом буравчика для витка или катушки с током.

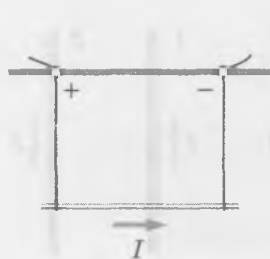


Рис. 26

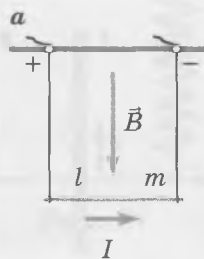


Рис. 27

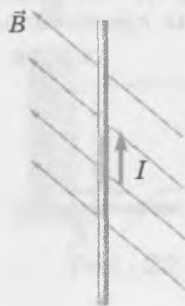
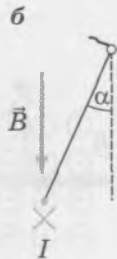


Рис. 28

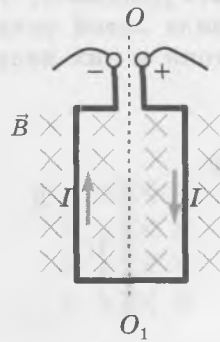


Рис. 29

32. Пусть в начальном положении плоскость рамки с током *параллельна* вектору магнитной индукции внешнего поля  $\vec{B}$  (см. рис. 30).

- Перенесите рисунок 30 в тетрадь и изобразите на нём силы Ампера, действующие на *вертикальные* стороны рамки с током.
- Как будет поворачиваться рамка с током под действием этих сил? Изобразите на рисунке схематически направление вращения рамки.
- Как будут действовать силы Ампера на все стороны рамки, когда вектор магнитной индукции поля  $\vec{B}_{\text{рам}}$ , созданного током рамки внутри рамки, будет направлен *так же*, как вектор магнитной индукции внешнего поля  $\vec{B}$ ? Сделайте пояснительный рисунок, на котором изобразите силы Ампера, действующие на все стороны рамки.

*Совет.* в) Воспользуйтесь правилом левой руки.

33. На рисунке 31 схематически изображён электроизмерительный прибор. При отсутствии тока в рамке она под действием пружины принимает положение, при котором стрелка прибора указывает на нулевое деление шкалы. Объясните принцип действия прибора.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

34. Проводник с током длиной 0,5 м помещён в магнитное поле с индукцией 0,1 Тл. Сила тока в проводнике равна 2 А. Чему равна действующая на проводник сила Ампера, если угол между проводником и вектором магнитной индукции равен:

- $0^\circ$ ;
- $30^\circ$ ?

*Совет.* Воспользуйтесь законом Ампера.

35. Проводник длиной  $l = 25$  см расположен под углом  $\alpha = 60^\circ$  к направлению вектора магнитной индукции. Сила тока в проводнике  $I = 0,3$  А. Сила Ампера, действующая на проводник,  $F_A = 0,2$  Н. Поставьте по этой ситуации две задачи и найдите ответы на них.

*Совет.* Например: а) Чему равен модуль магнитной индукции? б) Сделайте схематический чертёж и укажите на нём направление силы Ампера, действующей на проводник с током, помещённый в магнитное поле.

36. На прямолинейный проводник длиной 50 см действует сила Ампера, равная 0,25 Н. Модуль магнитной индукции равен 2 Тл, сила тока в проводнике 0,5 А. Чему равен угол между проводником и вектором магнитной индукции?

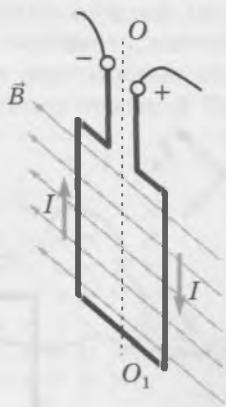


Рис. 30



Рис. 31

37. На проводник длиной 0,5 м, расположенный под углом  $30^\circ$  к вектору магнитной индукции, действует сила Ампера, равная 0,1 Н. Индукция магнитного поля 0,1 Тл. Чему равна сила тока в проводнике?

38. Проводник с током помещён в магнитное поле под углом  $30^\circ$  к вектору магнитной индукции. Изменится ли (и если изменится, то как) сила Ампера, действующая на проводник с током, если его расположить под углом  $60^\circ$  к вектору магнитной индукции?

*Совет.* Воспользуйтесь законом Ампера.

39. Перенесите рисунки 32, а—з в тетрадь и добавьте недостающие обозначения физических величин. Если необозначенная величина равна нулю, отметьте это на рисунке.

40. На рисунке 33 изображена рамка с током, помещённая в однородное магнитное поле. Перенесите рисунок в тетрадь и укажите на нём в одном и том же масштабе силы Ампера, действующие на каждую сторону рамки.

*Совет.* Воспользуйтесь правилом левой руки и учтите, что сила тока во всех сторонах рамки одинакова, а длины сторон различны.

### Повышенный уровень

41. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции расположен прямолинейный проводник, сила тока в котором 0,2 А. Затем силу тока в проводнике увеличили до 0,4 А, а проводник повернули так, чтобы сила, действующая на него со стороны магнитного поля, не изменилась. Каким стал угол между проводником и вектором магнитной индукции после поворота проводника?

42. Прямолинейный проводник с током расположен под углом  $60^\circ$  к магнитным линиям однородного поля с индукцией 80 мТл. Проводник равномерно перемещают на 2 м противоположно направлению действующей на него силы Ампера, совершив работу 0,32 Дж. Сила тока 5 А. Чему равна длина проводника?

*Совет.* Для равномерного перемещения проводника к нему надо прикладывать силу, которая уравновешивает силу Ампера.

43. С какой максимальной силой магнитное поле с индукцией 10 мТл может действовать на прямолинейный стальной проводник с площадью поперечного сечения  $2 \text{ мм}^2$ , если к проводнику приложено напряжение 6 В?

*Совет.* Сила Ампера максимальна, когда проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции.

44. Металлический стержень массой 0,2 кг удерживают в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл на гладких горизонтальных рельсах, находящихся на расстоянии 20 см друг от друга. Какой путь пройдёт стержень по рельсам за 0,5 с после того, как его отпустят, если сила тока в стержне равна 10 А, а линии магнитной индукции направлены вертикально?

*Совет.* Найдите ускорение стержня.

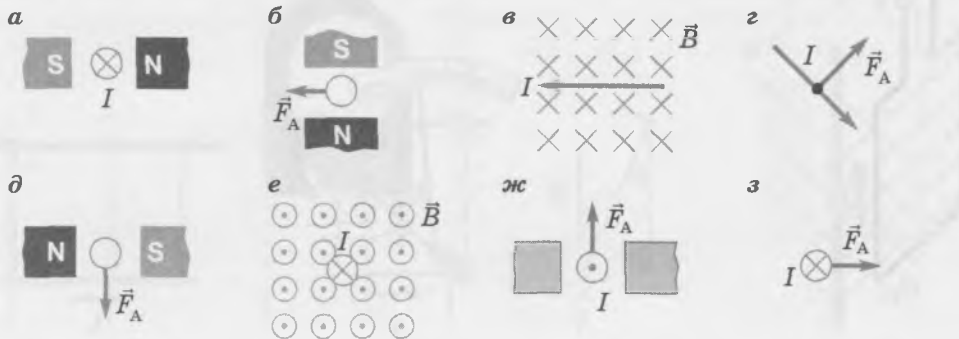


Рис. 32

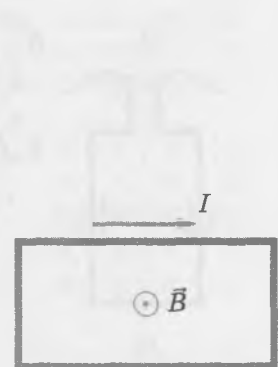


Рис. 33

45. Стержень длиной 20 см и массой 100 г лежит на столе. Коэффициент трения между столом и стержнем равен 0,4. В стержне включают ток, сила тока равна 8 А. При каком значении магнитной индукции стержень начнёт скользить по столу, если линии магнитной индукции направлены вертикально? Имеет ли значение направление вектора магнитной индукции: вертикально вверх или вертикально вниз?

*Совет.* Стержень начнёт скользить, когда сила Ампера превысит максимальную силу трения покоя.

46. Горизонтальный стержень длиной 0,5 м подвешен на тонких проводах одинаковой длины в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Магнитные линии направлены вертикально. Сила тока в проводнике 2 А. Чему равна масса стержня, если он находится в покое, когда провода отклонены от вертикали на угол  $45^\circ$ ?

47. Жёсткая проволочная квадратная рамка массой 50 г со стороной 5 см лежит на столе и находится в магнитном поле с индукцией 2 Тл. Линии магнитной индукции направлены вдоль одной из сторон рамки. При какой силе тока в рамке одна из её сторон будет подниматься?

*Совет.* Сделайте в тетради схематический рисунок. Воспользуйтесь правилом левой руки, законом Ампера и правилом моментов.

### Высокий уровень

48. По лежащему на столе замкнутому проволочному контуру, имеющему форму прямоугольного треугольника с катетами 3 см и 4 см, пропускают ток, сила тока равна 2 А. Чему равна сила Ампера, действующая на каждую сторону контура, если он находится в магнитном поле с индукцией 0,4 Тл, причём линии магнитной индукции направлены вертикально? Чему равна равнодействующая этих трёх сил? Сделайте в тетради пояснительный чертёж.

49. Длинный кусок гибкого провода, подключённый к электрической цепи в точках А и В, лежит на гладком столе, находящемся в однородном магнитном поле (рис. 34). Опишите, как изменится форма провода после замыкания ключа. Обоснуйте свой ответ.

*Совет.* Рассмотрите силы, действующие на малые участки гибкого провода со стороны магнитного поля.

50. Рамка с током может свободно вращаться вокруг оси  $OO_1$ . В начальный момент рамку удерживают вблизи полосового магнита в положении, показанном на рисунке 35. Как будет поворачиваться рамка, если её отпустить? Учтите сопротивление воздуха.

51. На двух одинаковых лёгких пружинах жёсткостью  $k$  подвешен прямой горизонтальный проводник длиной  $l$ , с площадью поперечного сечения  $S$ , сила тока в котором равна  $I$  (рис. 36). Когда включают магнитное поле, вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  которого направлен вертикально вниз, пружины отклоняются от вертикали, причём в положении равновесия удлинение каждой пружины равно  $x$ .

а) Чему равна плотность материала  $\rho$ , из которого изготовлен проводник?

б) Какой угол с вертикалью составляют пружины после отклонения?

*Совет.* Воспользуйтесь теоремой Пифагора, вторым законом Ньютона, а также законами Ампера и Гука.

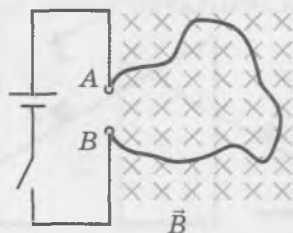


Рис. 34

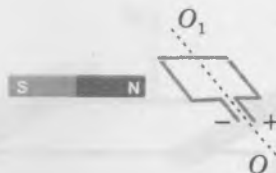


Рис. 35

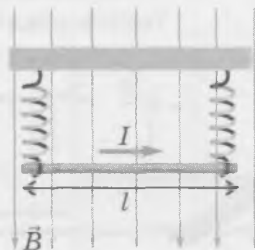


Рис. 36

# Примеры применения закона Ампера

## ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

### Стержень на горизонтальных направляющих

52. На горизонтальных параллельных металлических направляющих, расстояние между которыми равно  $l$ , покоится металлический стержень массой  $m$  (рис. 37). Вся система находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  которого направлен вертикально вверх. Коэффициент трения между стержнем и направляющими равен  $\mu$ . В начальный момент в стержне включают ток, сила тока равна  $I$ .

- Чему будет равно ускорение стержня?
- Как должен быть направлен ток в стержне (от нас или к нам), чтобы стержень начал двигаться вправо?
- Чему будет равна скорость стержня, когда он пройдёт путь, равный  $L$ ?

*Совет.* а) Учтите, что если сила Ампера не превышает максимальной силы трения покоя, то стержень останется в покое.

53. На горизонтальных параллельных металлических направляющих, расстояние между которыми равно  $l$ , покоится металлический стержень массой  $m$  (рис. 38). Вся система находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого направлен вертикально вверх. Коэффициент трения между стержнем и направляющими равен  $\mu$ . В начальный момент в стержне включают ток, сила тока равна  $I$ . На расстоянии  $d$  от стержня лежит деревянный брусок такой же массы. В некоторый момент времени стержень упруго сталкивается с бруском.

- Через какой промежуток времени  $t$  стержень столкнётся с бруском?
- Чему будет равна скорость бруска сразу после того, как с ним столкнётся стержень?

*Совет.* а) Найдите выражение для ускорения  $a$  стержня и воспользуйтесь формулой  $d = \frac{at^2}{2}$ .

б) Воспользуйтесь законами сохранения импульса и энергии, чтобы доказать, что в данном случае в результате столкновения стержень остановится, а брусок приобретёт скорость, равную скорости стержня непосредственно перед столкновением.

### Стержень на наклонных направляющих

54. По наклонным гладким металлическим направляющим, расстояние между которыми  $l = 40$  см, может скользить металлический стержень массой  $m = 60$  г (рис. 39, вид сбоку). Угол наклона направляющих  $\alpha = 30^\circ$ . В начальный момент стержень покоится; в стержне включают ток, сила тока  $I = 2$  А. Вся система находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  которого направлен вертикально вниз. Модуль магнитной индукции  $B = 0,5$  Тл.

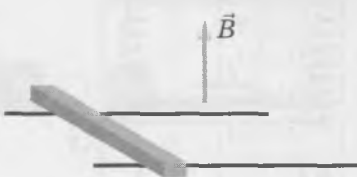


Рис. 37

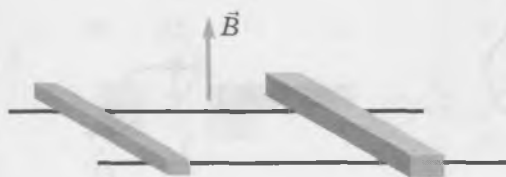


Рис. 38

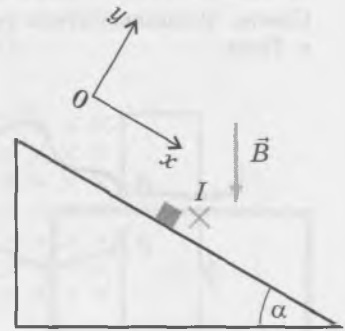


Рис. 39

- а) Запишите второй закон Ньютона для стержня в проекциях на показанные на рисунке оси координат.
- б) В каком направлении начнёт двигаться стержень: вверх или вниз по наклонной плоскости?
- в) Какой путь проделает стержень за 0,5 с?

*Совет.* б) Найдите знак проекции ускорения стержня при значениях величин, заданных в условии.

**55.** По наклонным металлическим рельсам, находящимся в магнитном поле, скользит вниз с постоянной скоростью металлический стержень, по которому течёт ток (рис. 40). Модуль магнитной индукции  $B$ , вектор магнитной индукции направлен вертикально вверх, масса стержня  $m$ , расстояние между рельсами  $l$ , угол наклона рельсов  $\alpha = 30^\circ$ , коэффициент трения между стержнем и рельсами  $\mu = 0,5$ .

- а) Как направлен ток в стержне: к нам или от нас?
- б) Выразите силу тока  $I$  в стержне через заданные в условии величины.

*Совет.* а) Для определения направления силы Ампера удобно записать второй закон Ньютона в проекциях на оси координат, одна из которых направлена горизонтально, и воспользоваться тем, что равнодействующая приложенных к стержню сил равна нулю.

### Полный оборот стержня, подвешенного на проводах

**56.** На рисунке 41 изображён металлический стержень, подвешенный на лёгких проводах в магнитном поле. Расстояние между проводами  $l$ , длина каждого провода  $L$ , масса стержня  $m$ , модуль магнитной индукции  $B$ . В некоторый момент по стержню пропускают кратковременный ток, в результате чего стержень приобретает горизонтальную скорость и совершает полный оборот по окружности.

- а) Запишите выражение для скорости стержня  $v_1$  сразу после выключения тока через заданные в условии величины и заряд  $q$ , прошедший по стержню.
- б) Запишите выражение для минимально возможной скорости стержня  $v_{\text{мин верх}}$  в верхней точке окружности.
- в) Запишите выражение для минимально возможной начальной скорости стержня  $v_{\text{мин нач}}$  в нижней точке окружности.
- г) Запишите выражение для минимального заряда  $q_{\text{мин}}$ , который должен пройти по стержню, чтобы он мог совершить полный оборот по окружности.

*Совет.* а) Воспользуйтесь тем, что изменение импульса тела равно импульсу равнодействующей приложенных к телу сил. б) При минимально возможной скорости стержня в верхней точке сила натяжения проводов в этой точке равна нулю. Ускорение стержню в этой точке сообщает только сила тяжести. в) Воспользуйтесь законом сохранения энергии для стержня при его движении от нижней точки окружности до верхней.

**57.** Металлический стержень массой  $m$  подвешен на двух проводящих нитях, длиной  $L$  каждая, в однородном магнитном поле, модуль индукции которого равен  $B$ . Расстояние между нитями равно  $l$ . Вектор магнитной индукции направлен вертикально вверх. Провода через ключ соединены с конденсатором, электроёмкость которого равна  $C$ . Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Примите, что во время разрядки конденсатора сила тока постоянна, а смещением стержня за это время можно пренебречь. После замыкания ключа стержень стал совершать колебания, поднимаясь на максимальную высоту  $h$ .

- а) Чему равна скорость стержня  $v_1$  сразу после разрядки конденсатора?
- б) Чему равно начальное напряжение  $U$  между пластинами конденсатора?

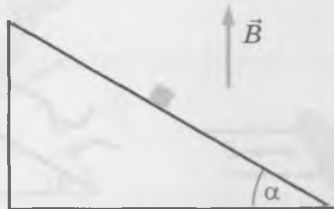


Рис. 40

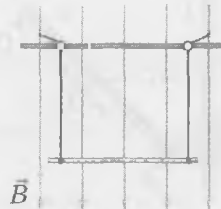


Рис. 41

## Действие магнитного поля на различные участки проводника

58. Рядом с вертикально расположенным сильным полосовым магнитом свободно свисает гибкий провод (рис. 42). В некоторый момент в проводе включают ток. Направление тока показано на рисунке.

- Перенесите рисунок в тетрадь и изобразите на нём магнитные линии поля магнита.
- Обозначьте на своём рисунке направления сил Ампера, действующих на участки провода вблизи точек  $A$  и  $C$ .
- Изобразите схематически, какую форму примет провод.
- Как будет взаимодействовать провод с магнитом после того, как изменит свою форму?

*Совет.* б) Воспользуйтесь правилом левой руки. г) Воспользуйтесь правилом левой руки.

59. Стержень  $1$  закреплён в вертикальном положении, а стержень  $2$  в начальный момент расположен горизонтально и может свободно перемещаться и поворачиваться (рис. 43). Пунктиром на рисунке изображён общий перпендикуляр к стержням  $1$  и  $2$ . В некоторый момент в стержнях включают токи. Направления токов показаны на рисунке.

- Перенесите рисунок в тетрадь и укажите на нём, как направлены силы Ампера, действующие на участки стержня  $2$  вблизи точек  $A$  и  $C$ .
- Изобразите положение стержня  $2$ , которое он примет под действием этих сил.
- Как будут взаимодействовать стержни после изменения положения стержня  $2$ ?

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Повышенный уровень

60. Два гладких металлических рельса, расположенные на расстоянии 20 см друг от друга, лежат на горизонтальной поверхности (рис. 44). Вектор магнитной индукции направлен вертикально вверх, модуль магнитной индукции равен 2 Тл. По рельсам может скользить металлический стержень массой 400 г, который в начальный момент покоится. Через 2 с после включения тока в стержне скорость стержня стала равной 2 м/с. Чему равна сила тока?

61. На наклонной плоскости с углом наклона  $30^\circ$  лежат гладкие металлические направляющие, на которых находится горизонтальный проводящий стержень массой 100 г (рис. 45). Расстояние между направляющими 50 см, магнитная индукция однородного магнитного поля равна 0,4 Тл, вектор магнитной индукции направлен вертикально вверх. Когда сила тока в стержне равна 8 А, стержень движется с ускорением, направленным вверх по наклонной плоскости. Каково направление тока в стержне? Чему равно ускорение стержня?

*Совет.* Воспользуйтесь вторым законом Ньютона и учтите, что направляющие гладкие.

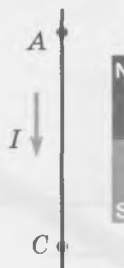


Рис. 42

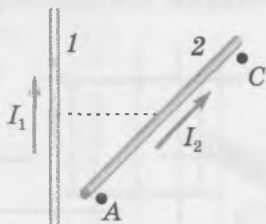


Рис. 43

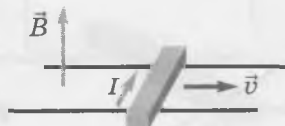


Рис. 44

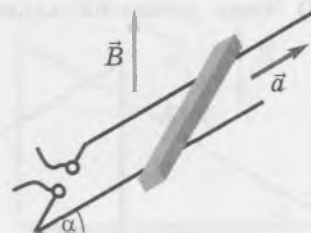


Рис. 45

62. На наклонной плоскости с углом наклона  $30^\circ$  лежат металлические рельсы, по которым движется горизонтальный проводящий стержень массой 40 г (рис. 46). Расстояние между рельсами 50 см, сила тока в стержне 15 А, коэффициент трения между стержнем и рельсами 0,15. Чему равен модуль магнитной индукции однородного магнитного поля, если стержень движется равномерно вверх по наклонной плоскости? Вектор магнитной индукции направлен вертикально вниз.

*Совет.* Определите направление силы Ампера, действующей на стержень.

63. В однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл на двух лёгких проводящих нитях, длиной 1 м каждая, подвешен металлический стержень длиной 0,2 м и массой 30 г (рис. 47). Вектор магнитной индукции направлен вертикально вниз. По стержню пропускают кратковременный ток, время протекания тока равно 0,1 с, сила тока 15 А. На какой максимальный угол от вертикали отклонятся нити? Отклонением нитей за время протекания тока можно пренебречь.

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что изменение импульса тела равно импульсу равнодействующей приложенных к телу сил. Запишите закон сохранения энергии для стержня при его движении от нижней точки до точки максимального подъёма.

### Высокий уровень

64. Металлический стержень лежит на горизонтальных металлических направляющих, находящихся в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен стержню и составляет угол  $\alpha$  с вертикалью (рис. 48). Когда в стержне включают ток, он начинает двигаться вправо с ускорением. Как направлен ток в стержне и чему равно ускорение стержня, если модуль магнитной индукции равен  $B$ , сила тока в стержне равна  $I$ , коэффициент трения между стержнем и направляющими равен  $\mu$ , а расстояние между ними равно  $l$ ?

65. В однородном магнитном поле, модуль магнитной индукции которого равен  $B$ , на гладком столе лежит металлический стержень длиной  $l$  и массой  $m$  (рис. 49). Стержень соединён одинаковыми лёгкими проводящими пружинами, жёсткостью  $k$  каждая, с укрепленной на столе планкой. После того как пружины соединили с конденсатором, заряд которого был равен  $Q$ , стержень стал совершать колебания.

- Чему равно наибольшее значение кинетической энергии стержня при колебаниях?
- Какова амплитуда колебаний?

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии и выражением для потенциальной энергии упругой деформации. Учтите, что пружин две.

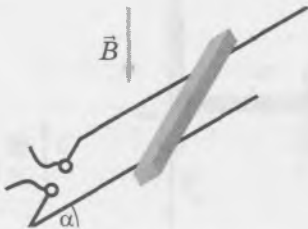


Рис. 46

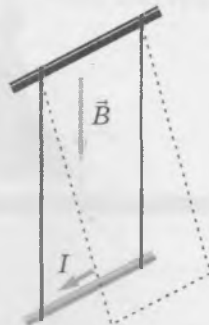


Рис. 47



Рис. 48

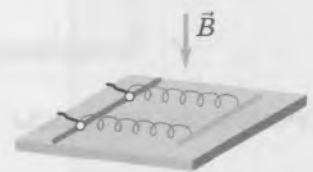


Рис. 49

66. По наклонным металлическим рельсам с углом наклона  $\alpha$  движется равномерно вверх горизонтальный проводящий стержень, по которому течёт ток (рис. 50). Расстояние между направляющими  $l$ , модуль магнитной индукции  $B$ , коэффициент трения между стержнем и рельсами  $\mu$ .

а) Чему равна сила тока в стержне?

б) Как надо направить ток в стержне, чтобы он двигался с постоянной скоростью по рельсам *вниз*, если  $\operatorname{tg}\alpha < \mu$ ? Чему равна при этом сила тока?

*Совет.* а) Удобно для записи второго закона Ньютона в проекциях направить ось  $x$  горизонтально влево, а ось  $y$  — вертикально вверх. б) Докажите, что в таком случае сила Ампера должна быть направлена на рисунке 50 влево.

67. На двух проводящих нитях длиной  $L$  каждая, соединённых через разомкнутый ключ с заряженным конденсатором электроёмкостью  $C$ , подвешен металлический стержень длиной  $l$  и массой  $m$  (рис. 51). Напряжение на конденсаторе равно  $U$ . Вектор магнитной индукции однородного магнитного поля направлен вертикально вниз, модуль магнитной индукции равен  $B$ . После замыкания ключа стержень стал совершать колебания.

а) Чему равна максимальная скорость стержня при колебаниях?

б) Чему равна сила натяжения каждой нити при прохождении стержнем положения равновесия?

*Совет.* б) При прохождении стержнем положения равновесия центростремительное ускорение сообщает ему равнодействующая сил натяжения нитей и силы тяжести. Учтите, что нитей две.

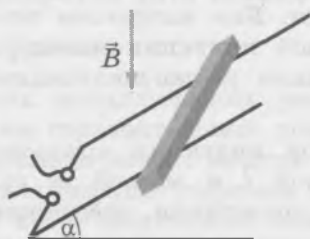


Рис. 50

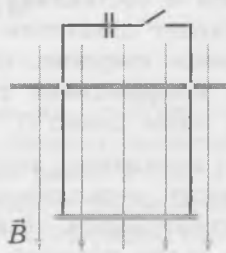
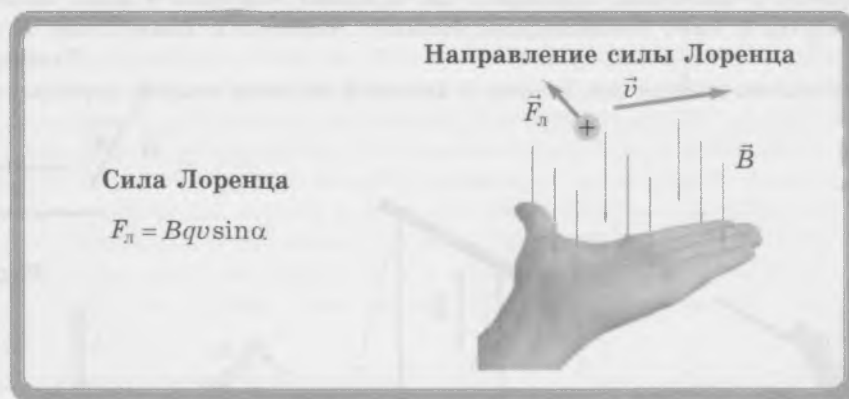


Рис. 51

## Сила Лоренца



### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

68. В каком случае сила Лоренца, действующая на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле, равна нулю?

69. Магнитная индукция магнитного поля Земли в средних широтах составляет примерно  $5 \cdot 10^{-5}$  Тл. Чему равно отношение силы Лоренца к силе тяжести для электрона, движущегося перпендикулярно вектору магнитной индукции со скоростью 10 км/с?

70. Перенесите рисунки 52, а—в в тетрадь и добавьте недостающие обозначения.

Сила Лоренца (если она не равна нулю) перпендикулярна как скорости частицы, так и вектору магнитной индукции.

71. На рисунке 53 изображена движущаяся заряженная частица в магнитном поле. Магнитные линии лежат в плоскости рисунка.

а) Перенесите рисунок в тетрадь и представьте вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  в виде векторной суммы вектора  $\vec{B}_{\parallel}$ , параллельного скорости частицы, и вектора  $\vec{B}_{\perp}$ , перпендикулярного ей.

б) Изобразите направление действующей на частицу силы Лоренца.

72. Частица массой  $m$  с зарядом  $q$  равномерно движется по окружности в однородном магнитном поле. Докажите, что радиус окружности выражается формулой

$$r = \frac{mv}{qB}.$$

*Совет.* В данном случае центростремительной силой является сила Лоренца (рис. 54). Воспользуйтесь вторым законом Ньютона, выражением для центростремительного ускорения (через скорость и радиус) и выражением для силы Лоренца.

73. Докажите, что период обращения частицы при её движении по окружности в магнитном поле выражается формулой

$$T = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Обратите внимание: период обращения частицы в магнитном поле не зависит от скорости частицы!

74. Протон и электрон движутся с одинаковыми по модулю скоростями по окружностям в однородном магнитном поле. Вектор магнитной индукции направлен вертикально вверх.

- В какой плоскости движутся частицы — горизонтальной или вертикальной?
- В каком направлении — по часовой стрелке или против неё (если смотреть сверху) движется по окружности протон? электрон?
- Какая частица движется по окружности меньшего радиуса? Чему равно отношение радиусов окружностей, по которым движутся частицы?
- Период обращения какой частицы больше? Во сколько раз?

75. «Фильтр скоростей». Заряженная частица влетает в прибор через отверстие 1 и вылетает через отверстие 2 (рис. 55). При этом внутри прибора она движется *прямолинейно*

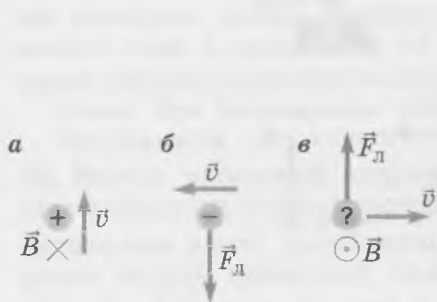


Рис. 52



Рис. 53

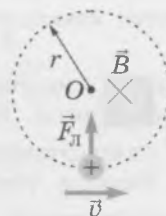


Рис. 54

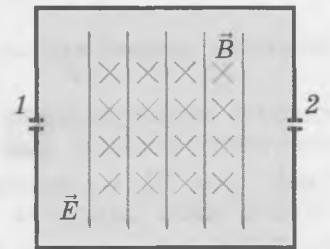


Рис. 55

*и равномерно.* Внутри прибора существуют однородные электрическое и магнитное поля. Линии напряжённости электрического поля и магнитные линии показаны на рисунке.

- Перенесите рисунок в тетрадь и укажите на нём силы, действующие со стороны электрического и магнитного полей на влетевшую через отверстие  $I$  положительно заряженную частицу.
- Выразите скорость частицы  $v$  через модуль напряжённости электрического поля  $E$  и модуль магнитной индукции  $B$ .
- Почему данный прибор называется фильтром скоростей?

*Совет.* б) Воспользуйтесь выражениями для сил, действующих на заряженную частицу со стороны электрического и магнитного полей, а также тем, что равнодействующая этих сил в данном случае равна нулю.

**76.** Заряженная частица с зарядом  $q$ , пролетев через «фильтр скоростей», в котором модуль магнитной индукции равен  $B_1$ , влетает в однородное магнитное поле с модулем индукции  $B_2$ . Модуль напряжённости электрического поля в фильтре скоростей равен  $E$ , радиус окружности, по которой движется частица в однородном магнитном поле, равен  $r$ .

- Чему равна скорость частицы?
- Чему равна масса частицы?

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

**77.** Заряженная пылинка влетает в однородное магнитное поле со скоростью  $10$  м/с, направленной перпендикулярно линиям магнитной индукции. Чему равен заряд пылинки, если на неё действует сила  $8 \cdot 10^{-7}$  Н, а модуль магнитной индукции  $4$  мТл?

**78.** На протон, влетевший в однородное магнитное поле со скоростью  $3 \cdot 10^6$  м/с, направленной перпендикулярно линиям магнитной индукции, со стороны магнитного поля действует сила  $3 \cdot 10^{-14}$  Н. Чему равен модуль магнитной индукции? Какова форма траектории, по которой движется протон?

**79.** Заряженная частица движется в однородном магнитном поле с постоянной по модулю и направлению скоростью. Изобразите на чертеже направления скорости частицы и вектора магнитной индукции данного поля.

*Совет.* В данном случае сила Лоренца равна нулю.

**80.** Перенесите рисунки 56, *a—e* в тетрадь и добавьте недостающие обозначения физических величин или знак заряда.

*Совет.* Воспользуйтесь правилом левой руки.

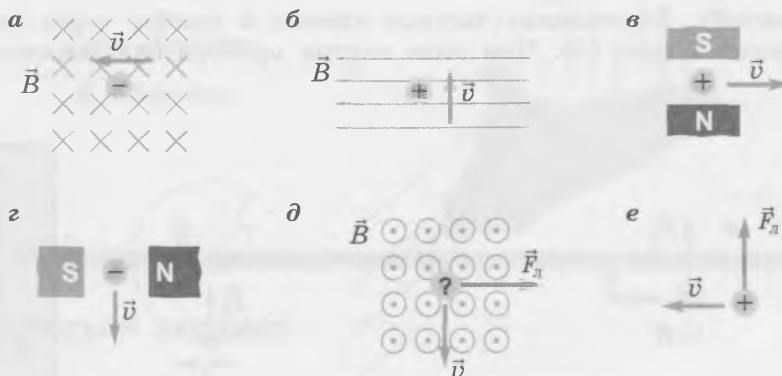


Рис. 56

81. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл со скоростью  $10^7$  м/с, направленной перпендикулярно линиям магнитной индукции.

а) С какой силой магнитное поле действует на электрон?

б) Чему равен модуль ускорения электрона?

в) Будет ли изменяться модуль скорости электрона при его движении в магнитном поле?

82. В однородном магнитном поле по окружности радиусом 5 см движется протон. Чему равна скорость протона, если индукция магнитного поля 60 мТл?

*Совет.* Воспользуйтесь вторым законом Ньютона, выражением для центростремительного ускорения и выражением для силы Лоренца.

### Повышенный уровень

83. На  $\alpha$ -частицу в магнитном поле действует в 12 раз большая сила Лоренца, чем на протон. Скорость какой частицы больше и во сколько раз, если скорости частиц направлены одинаково? Масса  $\alpha$ -частицы в 4 раза больше массы протона, а её заряд в 2 раза больше заряда протона.

84. На электрон, влетевший в однородное магнитное поле с индукцией 6 мТл со скоростью  $5 \cdot 10^6$  м/с, со стороны магнитного поля действует сила Лоренца, равная  $4,16 \cdot 10^{-15}$  Н. Какой угол составляет вектор скорости электрона с вектором магнитной индукции?

85. Заряженная частица влетает со скоростью 800 м/с в однородные электрическое и магнитное поля под углом  $30^\circ$  к вектору магнитной индукции. Чему равно отношение силы, действующей на частицу со стороны электрического поля, к силе Лоренца, если напряжённость электрического поля 4 кВ/м, а магнитная индукция 0,5 Тл?

86. В однородном магнитном поле с индукцией 20 мТл по окружности радиусом 5 мм движется электрон. Чему равны:

а) период обращения электрона;

б) кинетическая энергия электрона;

в) сила Лоренца, действующая на электрон со стороны магнитного поля;

г) ускорение электрона?

*Совет.* Воспользуйтесь вторым законом Ньютона, выражением для центростремительного ускорения и выражением для силы Лоренца.

87. Две заряженные частицы влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Кинетические энергии частиц одинаковы, отношение радиусов траекторий  $\frac{r_2}{r_1} = 0,5$ , отношение зарядов частиц  $\frac{q_1}{q_2} = 2$ . Чему равны отношения масс

частиц и отношение модулей их импульсов?

88. В однородное магнитное поле влетает электрон со скоростью, направленной перпендикулярно вектору магнитной индукции. За какой наименьший промежуток времени скорость электрона изменит направление на противоположное, если модуль магнитной индукции равен 0,25 мТл?

*Совет.* За искомый промежуток времени электрон совершит пол-оборота по окружности.

89. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 4 кВ, влетает в однородное магнитное поле с индукцией 40 мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции. Чему равен радиус окружности, по которой будет двигаться электрон?

*Совет.* При прохождении ускоряющей разности потенциалов потенциальная энергия электрона преобразуется в его кинетическую энергию.

90. Вектор магнитной индукции однородного магнитного поля перпендикулярен вектору напряжённости электрического поля. В некоторый момент времени скорость электрона направлена вдоль линий напряжённости электрического поля и равна  $1,9 \cdot 10^6$  м/с. Чему равен модуль суммарной силы, действующей в этот момент на электрон, если модуль магнитной индукции равен 2 Тл, а напряжённость электрического поля равна  $5 \cdot 10^6$  В/м?

*Совет.* Воспользуйтесь теоремой Пифагора.

## Высокий уровень

91. В полосе шириной 10 см создано однородное магнитное поле с индукцией 0,51 Тл (рис. 57). В эту полосу перпендикулярно ей и вектору магнитной индукции влетает протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 500 кВ. На какой угол повернётся вектор скорости протона при движении внутри полосы?

*Совет.* Угол отклонения протона можно найти с помощью формулы  $\sin \alpha = \frac{l}{r}$ , где  $r$  — радиус окружности, по которой движется протон, а  $l$  — ширина полосы.

92. Два иона массами  $m_1$  и  $m_2$  с одинаковыми положительными зарядами  $q$  движутся между заряженными металлическими пластинами вдоль одной прямой (рис. 58). Расстояние между пластинами  $d$ , разность потенциалов между ними  $U$ . Вылетев в точке  $C$  из пространства между пластинами, ионы совершают пол-оборота и попадают в точки  $A_1$  и  $A_2$ . Вся система находится в магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ . Чему равно расстояние между точками  $A_1$  и  $A_2$ ?

*Совет.* Выясните, при каком условии ионы будут двигаться сквозь электрическое и магнитное поля прямолинейно.

93. Пучок протонов влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Протоны движутся по дуге окружности радиусом 0,1 м и поглощаются металлической пластиной. Какое количество теплоты выделяется при этом за 1 с, если индукция магнитного поля равна 0,2 Тл, а сила тока в пучке 0,2 мА?

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

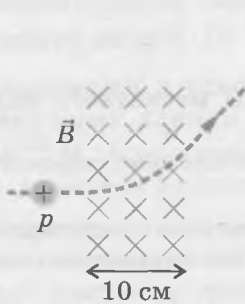


Рис. 57

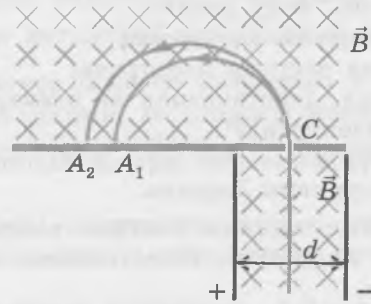
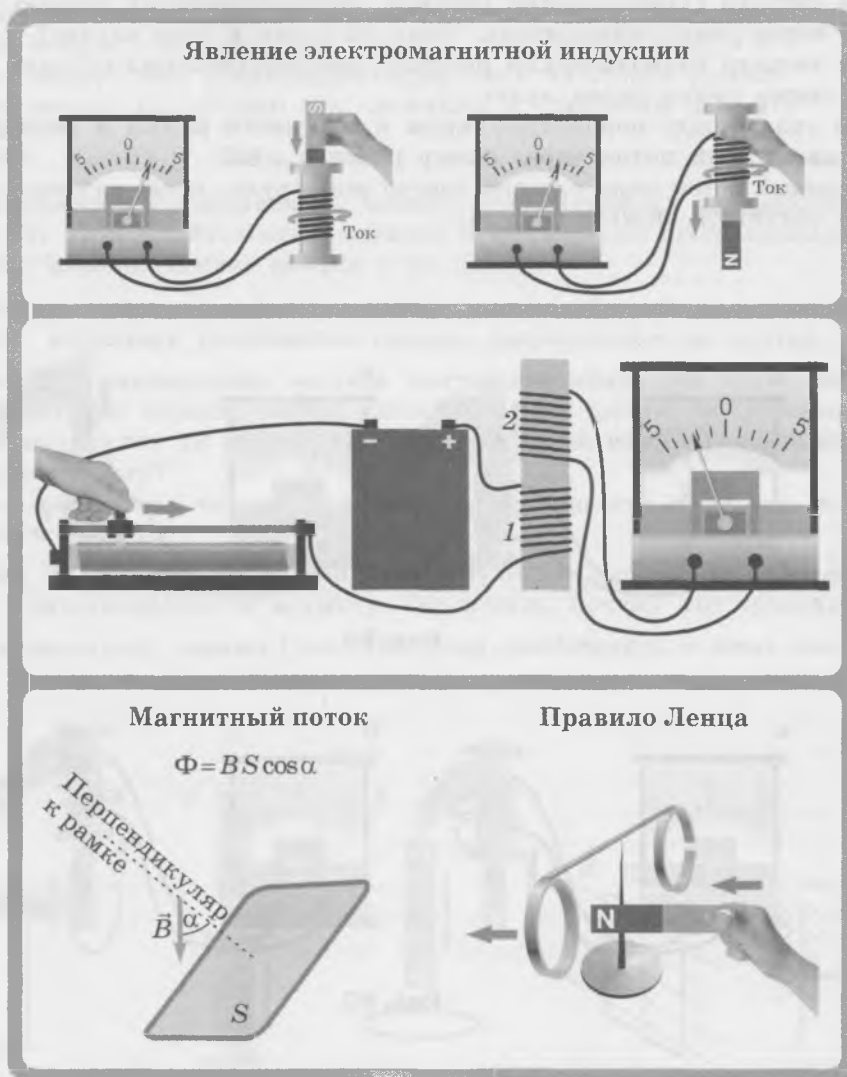


Рис. 58

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

## Явление электромагнитной индукции



### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

94. На рисунках 59, а и б схематически изображены опыты Фарадея, в которых он открыл явление электромагнитной индукции. Какие отличия в этих рисунках вы заметили? Какие выводы можно сделать?
95. Чем отличаются опыты, изображённые на рисунках 59, а и б от опытов, изображённых на рисунках 60, а и б? Что общего в этих опытах?
96. Расскажите, что происходит в опыте, изображённом на рисунке 61.

97. Изменяется ли магнитное поле внутри катушки 2 при перемещении движка реостата (рис. 61)?

*Совет.* При перемещении движка реостата изменяется сила тока в катушке 1. В результате изменяется созданное этим током магнитное поле, которое пронизывает также катушку 2.

98. Квадратная проволочная рамка со стороной 10 см находится в однородном магнитном поле. Модуль вектора магнитной индукции  $B = 1$  Тл.

а) Сделайте в тетради схематический рисунок, соответствующий случаю, когда магнитный поток через рамку максимален. Чему он равен в этом случае?

б) Сделайте в тетради схематический рисунок, соответствующий случаю, когда магнитный поток через рамку равен нулю.

в) При каком угле между перпендикуляром к плоскости рамки и вектором магнитной индукции магнитный поток через рамку равен 5 мВб?

*Совет.* б) Магнитный поток через плоский контур равен нулю, когда плоскость контура параллельна вектору магнитной индукции.

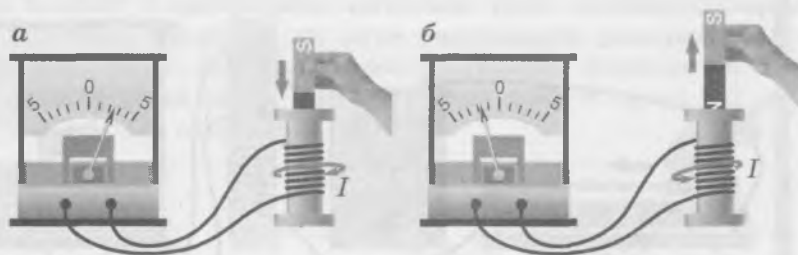


Рис. 59

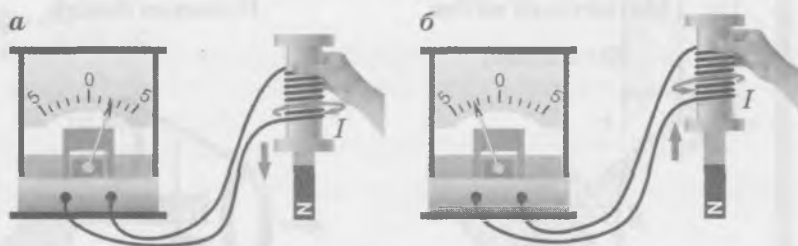


Рис. 60

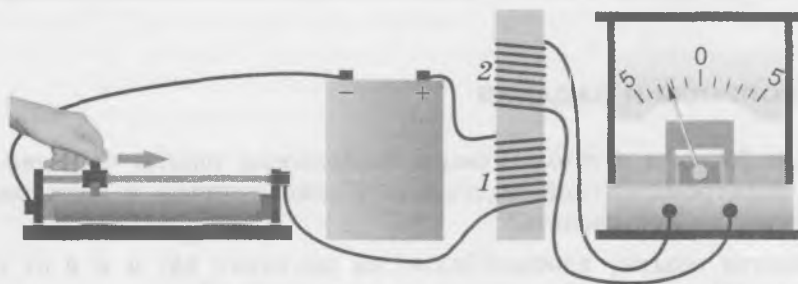


Рис. 61

99. На рисунках 62, а—д схематически изображены опыты, в которых индукционный ток возникает в проволочной катушке или рамке. Укажите, какова причина возникновения индукционного тока в каждом из этих опытов.

100. Квадратная проволочная рамка перпендикулярна вектору магнитной индукции однородного магнитного поля. Возникнет ли в рамке индукционный ток, если она будет:

- а) двигаться поступательно в направлении магнитных линий;
- б) двигаться поступательно перпендикулярно магнитным линиям;
- в) вращаться вокруг оси, перпендикулярной плоскости рамки;
- г) вращаться вокруг оси, проходящей через одну из сторон рамки;
- д) вращаться вокруг какой-либо оси, лежащей в плоскости рамки?

### Правило Ленца

101. Магнит подносят к алюминиевому кольцу, закреплённому на свободно вращающемся стержне (рис. 63). При *приближении* магнита к кольцу оно *отталкивается* от магнита. Чем обусловлено взаимодействие кольца с магнитом?

102. Как проверить предположение о природе взаимодействия кольца с магнитом в предыдущей задаче, используя разрезанное кольцо, закреплённое на другом конце стержня?

103. Какой вывод о направлении вектора магнитной индукции поля, созданного индукционным током внутри кольца, можно сделать из того факта, что кольцо *отталкивается* от магнита: направлен ли он так же, как вектор магнитной индукции поля магнита, или противоположно ему?

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что кольцо с током подобно магниту, и тем, что отталкиваются *однородные* полюсы магнита.

104. На рисунке 64 показан опыт, свидетельствующий о том, что при *удалении* магнита от кольца оно *притягивается* к магниту. Объясните, почему это происходит.

105. Как будет двигаться кольцо (рис. 63), если приближать к нему *южный* полюс магнита?

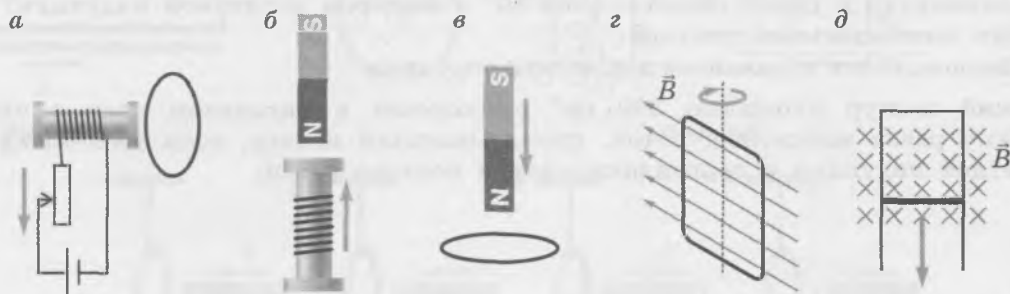


Рис. 62



Рис. 63

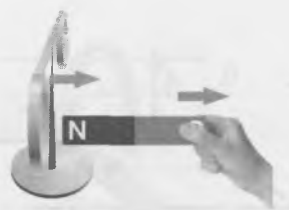


Рис. 64

**106.** По горизонтальным П-образным проводящим направляющим перемещают металлический стержень в указанном направлении (рис. 65). Вся система находится в магнитном поле.

- Как изменяется магнитный поток через контур, образованный стержнем и направляющими?
- Возникает ли в стержне индукционный ток?
- Как направлен вектор магнитной индукции поля, созданного индукционным током, внутри контура, образованного стержнем и направляющими?
- Как направлен индукционный ток в стержне: от нас или к нам?
- Действует ли на стержень сила Ампера? Обоснуйте свой ответ.
- Как направлена действующая на стержень сила Ампера? Сравните направление силы Ампера и направление движения стержня: они совпадают или противоположны?

*Совет.* в) Воспользуйтесь правилом Ленца. г) Воспользуйтесь правилом буравчика для витка с током. е) Воспользуйтесь правилом левой руки.

**107.** На проводящих горизонтальных параллельных направляющих лежат два металлических стержня, которые могут двигаться практически без трения (рис. 66). Вся система находится в магнитном поле. В какую сторону будет двигаться стержень 2, если двигать стержень 1 в указанном стрелкой направлении?

*Совет.* Воспользуйтесь правилом Ленца.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

**108.** Полосовой магнит в течение первых пяти секунд вдвигают в металлическое кольцо, потом в течение двух секунд оставляют магнит неподвижным относительно кольца, а затем в течение трёх секунд вынимают магнит из кольца. В какие промежутки времени по замкнутому кольцу течёт индукционный ток?

*Совет.* Индукционный ток возникает при *изменении* магнитного поля внутри кольца.

**109.** Квадратная проволочная рамка со стороной 20 см расположена в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Чему равен магнитный поток через плоскость рамки, если перпендикуляр к рамке образует угол  $60^\circ$  с вектором магнитной индукции? Сделайте в тетради пояснительный рисунок.

*Совет.* Воспользуйтесь выражением для магнитного потока.

**110.** Плоский контур площадью  $300 \text{ см}^2$  расположен в магнитном поле с индукцией 0,2 Тл. Чему равен магнитный поток, пронизывающий контур, если угол между вектором магнитной индукции и перпендикуляром к контуру равен:

- $0^\circ$ ;
- $90^\circ$ ;
- $45^\circ$ ;
- $60^\circ$ ?

*Совет.* Воспользуйтесь выражением для магнитного потока.

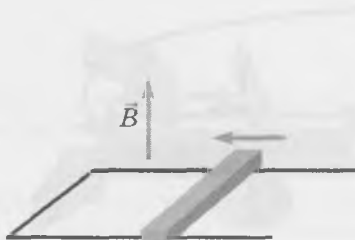


Рис. 65

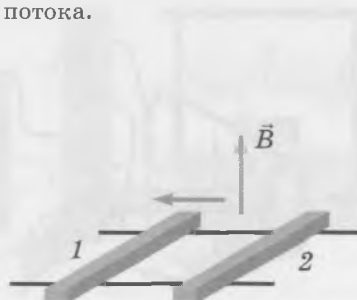


Рис. 66

111. Прямоугольная рамка находится около проводника с током и расположена в одной плоскости с ним (рис. 67). В каком (каких) из перечисленных случаев в рамке возникнет индукционный ток?

- Рамку поворачивают вокруг её стороны, параллельной проводнику.
- Рамку поворачивают вокруг её стороны, перпендикулярной проводнику.
- Рамку перемещают поступательно в направлении, перпендикулярном проводнику.
- Рамку перемещают поступательно вдоль проводника.

*Совет.* Индукционный ток в рамке возникнет при изменении магнитного потока, пронизывающего рамку.

112. В каких из изображённых на рисунках 68, *a—г* случаях при движении рамки в однородном магнитном поле в ней возникает индукционный ток?

*Совет.* Индукционный ток в рамке возникнет при изменении магнитного потока, пронизывающего рамку.

113. На рисунках 69, *a—г* изображено металлическое кольцо и полосовой магнит. Перенесите рисунки в тетрадь и укажите на них направление индукционного тока в кольце. Укажите, в каком направлении начнёт двигаться кольцо.

*Совет.* Примените правило Ленца.

### Повышенный уровень

114. На рисунке 61 изображена экспериментальная установка, с помощью которой можно получить индукционный ток в катушке 2. На рисунке 70 изображён график зависимости силы тока в катушке 1 от времени. В какие промежутки времени в катушке 2 будет течь индукционный ток?

115. Линии магнитного поля пронизывают металлическое кольцо так, как показано на рисунке 71. Увеличивается или уменьшается модуль магнитной индукции внешнего поля, если вследствие этого в кольце возникает индукционный ток, направление которого показано на рисунке?

*Совет.* Воспользуйтесь правилом буравчика и правилом Ленца.

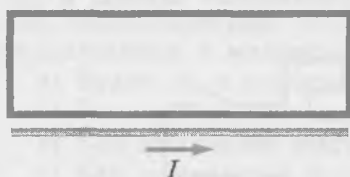


Рис. 67

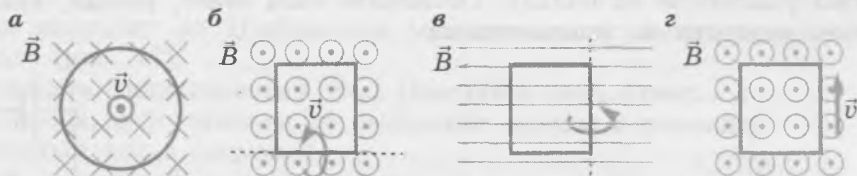


Рис. 68

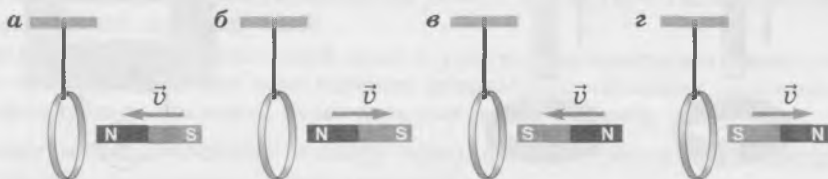


Рис. 69

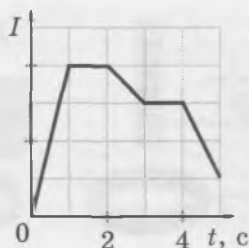


Рис. 70

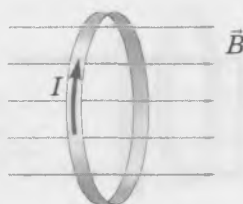


Рис. 71

116. С одинаковой высоты в вертикальном положении одновременно начинают падать три одинаковых магнита (рис. 72). При этом магнит 2 пролетает сквозь закреплённое разомкнутое металлическое кольцо, а магнит 3 — сквозь закреплённое замкнутое металлическое кольцо. Опишите особенности падения магнитов.

*Совет.* Воспользуйтесь правилом Ленца.

117. На рисунке 73 изображена схема электрической цепи, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, ключа и амперметра. Определите направление индукционного тока в нижней катушке трансформатора, если смотреть на неё справа:

- при замыкании ключа;
- при размыкании ключа;
- при перемещении ползунка реостата вправо;
- при перемещении ползунка реостата влево.

118. По горизонтальным П-образным проводящим направляющим перемещают металлический стержень (на рисунке 74 показан вид сверху). Вся система находится в магнитном поле. Как направлена действующая на стержень сила Ампера, если:

- стержень движется вправо;
- стержень движется влево?

*Совет.* Воспользуйтесь правилом Ленца.

### Высокий уровень

119. В длинной вертикальной медной трубе, из которой откачан воздух, падает магнит. Опишите характер движения магнита, указав, какие физические законы и закономерности вы использовали.

120. Два одинаковых магнита падают внутри колец, не касаясь их, как показано на рисунке 75. Магнит 1 движется сквозь металлическое кольцо, а магнит 2 — сквозь деревянное. Влияет ли (и если влияет, то как) наличие колец на ускорение магнитов? Рассмотрите две стадии движения магнита: когда магниты приближаются к кольцу и когда они удаляются от кольца. Объясните свой ответ, указав, какие физические законы и закономерности вы использовали.

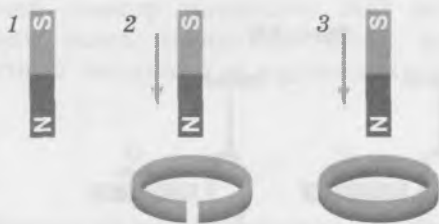


Рис. 72

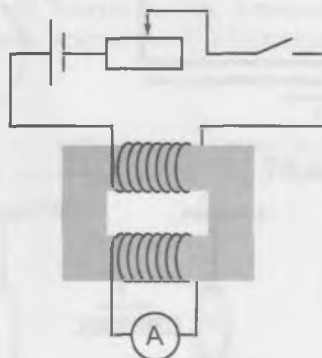


Рис. 73



Рис. 74

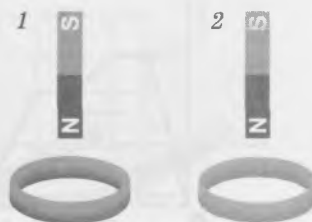


Рис. 75

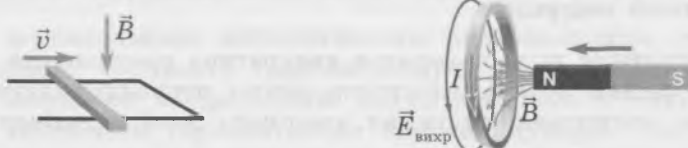
121. Медная рамка падает между полюсами магнита (рис. 76).

- Определите направление вектора магнитной индукции поля, созданного индукционным током, в положениях рамки, отмеченных цифрами 1, 2, 3.
- Определите направление индукционного тока в нижней стороне рамки в положениях рамки, отмеченных цифрами 1, 2, 3.
- Определите направление равнодействующей приложенных к рамке со стороны магнитного поля сил в положениях рамки, отмеченных цифрами 1, 2, 3.

*Совет.* Учтите, что в положении 1 большая сила Ампера действует на нижнюю сторону рамки, а в положении 3 — на верхнюю.

## Закон электромагнитной индукции

Два способа изменения магнитного потока через контур



Закон электромагнитной индукции  $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

ЭДС индукции в движущемся проводнике  $\mathcal{E}_i = Bv\sin\alpha$

### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

#### Причины возникновения индукционного тока

122. Металлический стержень скользит по П-образным металлическим направляющим, находящимся в магнитном поле (рис. 77).

- Будет ли в стержне возникать индукционный ток? Обоснуйте свой ответ.
- Как направлена сила Лоренца, действующая на свободные заряды в стержне?
- Как направлен индукционный ток в стержне?
- Как изменяется внешний магнитный поток при движении стержня?
- Как направлен вектор магнитной индукции поля, созданного индукционным током?
- Уменьшает ли созданное индукционным током магнитное поле изменение магнитного потока, вызвавшего данный ток?

*Совет.* б) Воспользуйтесь правилом левой руки и учтите, что электроны имеют отрицательный заряд. в) Учтите, что за направление тока выбрано направление движения положительно заряженных частиц. д) Воспользуйтесь правилом буравчика для витка с током.

123. К замкнутому металлическому кольцу приближают постоянный магнит (рис. 78).

- Почему в кольце возникает индукционный ток?

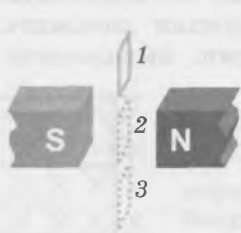


Рис. 76

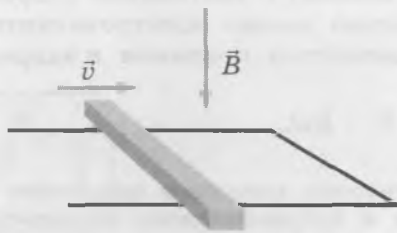


Рис. 77

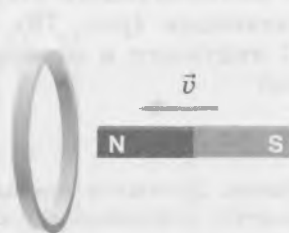


Рис. 78

- б) Может ли причиной возникновения индукционного тока в данном случае быть сила Лоренца, действующая на свободные заряды в кольце?
- в) Как изменяется внешний магнитный поток через кольцо при приближении магнита — увеличивается или уменьшается?
- г) Как направлен внутри кольца вектор магнитной индукции поля, созданного индукционным током в кольце?
- д) Как направлен индукционный ток в ближней к нам части кольца — вверх или вниз?
- е) Как направлены линии напряжённости вихревого электрического поля вблизи кольца?
- Совет.* б) Сила Лоренца действует только на движущиеся заряженные частицы, средняя скорость хаотического движения заряженных частиц в неподвижном кольце равна нулю. г) Воспользуйтесь тем, что вектор магнитной индукции поля магнита направлен влево, и тем, что внешний магнитный поток увеличивается. Воспользуйтесь также правилом Ленца. д) Воспользуйтесь правилом буравчика для витка с током. е) Направление линий напряжённости вихревого электрического поля совпадает с направлением созданного им индукционного тока.

### Закон электромагнитной индукции

124. В однородном магнитном поле находится квадратная проволочная рамка со стороной 10 см. Сопротивление рамки 20 Ом, плоскость рамки перпендикулярна вектору магнитной индукции. За 5 с магнитная индукция внешнего поля равномерно увеличилась от 0,5 Тл до 2,5 Тл.

- а) Насколько увеличился магнитный поток через рамку за 5 с?
- б) Чему равен модуль ЭДС индукции?
- в) Чему равна сила индукционного тока в рамке?

125. Обозначим  $\Delta q$  — заряд, прошедший через контур при изменении пронизывающего этот контур магнитного потока на  $\Delta\Phi$ ,  $R$  — полное сопротивление контура. Используя закон электромагнитной индукции и закон Ома для полной цепи, докажите, что

$$\Delta q = \frac{|\Delta\Phi|}{R}.$$

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что  $\Delta q = I_i \Delta t$ , законом электромагнитной индукции и законом Ома для полной цепи, который в данном случае имеет вид  $I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$ .

126. Круглая проволочная рамка диаметром 10 см и сопротивлением 40 Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл. Плоскость рамки горизонтальна, а вектор магнитной индукции направлен вертикально вверх. Чему равен заряд, который проходит по рамке при её повороте на  $90^\circ$  вокруг горизонтальной оси?

### ЭДС индукции в движущемся проводнике

127. С какой скоростью должен двигаться металлический стержень длиной 50 см в однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл, чтобы на его концах возникло напряжение 2 В? Скорость стержня перпендикулярна стержню и вектору магнитной индукции.

128. Металлический стержень скользит с постоянной скоростью  $\vec{v}$  по металлическим направляющим (рис. 79). С помощью закона электромагнитной индукции докажите, что ЭДС индукции в контуре, образованном стержнем и направляющими, выражается формулой

$$\mathcal{E}_i = Bvl.$$

*Совет.* Докажите сначала, что скорость изменения магнитного потока через контур, образованный стержнем и направляющими, выражается формулой  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = Bvl$ . Затем воспользуйтесь законом электромагнитной индукции.

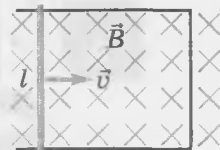


Рис. 79

Поскольку в рассматриваемом случае сторонние силы действуют только внутри движущегося стержня, полученное выражение и представляет собой ЭДС индукции на концах этого стержня. Если бы скорость стержня была направлена под углом  $\alpha$  к вектору магнитной индукции, мы получили бы, что  $\mathcal{E}_i = Bv \sin \alpha$ .

**129.** Металлический стержень длиной 20 см скользит со скоростью 0,5 м/с по горизонтальным металлическим направляющим, помещённым в однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл (рис. 80). Направляющие замкнуты на резистор сопротивлением 5 Ом. Сопротивлением стержня и направляющих можно пренебречь.

- Чему равна ЭДС индукции в стержне?
- Чему равна сила тока в контуре, образованном стержнем, направляющими и резистором?
- Чему равна мощность тока в резисторе?

### Движение проводника под действием силы тяжести и силы Ампера

**130.** По длинным вертикальным металлическим направляющим, расстояние между которыми равно  $l$ , может скользить горизонтальный металлический стержень массой  $m$  (рис. 81). Система находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ , вектор магнитной индукции направлен горизонтально перпендикулярно стержню. Направляющие замкнуты на резистор сопротивлением  $R$ . Сопротивлением стержня и направляющих, а также трением можно пренебречь. Стержень отпускают, после чего через некоторое время он движется практически с *постоянной* скоростью.

- При каком условии стержень движется равномерно?
- Какая сила уравнивает силу тяжести?
- Почему на стержень действует сила Ампера?
- Выразите силу Ампера через скорость стержня  $v$  и величины, данные в условии.
- Выразите скорость стержня  $v$  через величины, данные в условии.

*Совет.* г) Воспользуйтесь выражением для ЭДС индукции в движущемся проводнике, законом Ома для полной цепи и выражением для силы Ампера.

**131.** Продолжим рассмотрение ситуации, описанной в предыдущей задаче.

- Выразите мощность тока в резисторе через величины, данные в условии.
- Запишите выражение для работы тока  $A_1$  в резисторе за время  $t$ .
- Запишите выражение для работы силы тяжести  $A_2$  за то же время.
- Чем объясняется совпадение выражений для работы тока в резисторе и работы силы тяжести?

*Совет.* а) Воспользуйтесь формулой  $P = I^2 R$ , законом Ома для полной цепи, выражением для ЭДС индукции в движущемся проводнике, а также выражением для скорости стержня, найденным при выполнении предыдущего задания. в) Воспользуйтесь тем, что за время  $t$  стержень переместится на  $vt$ , а также выражением для скорости стержня, найденным при выполнении предыдущего задания. г) Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

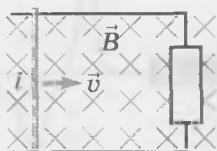


Рис. 80

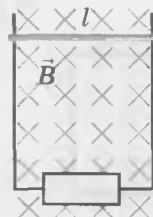


Рис. 81

**Базовый уровень**

132. Металлический стержень скользит по горизонтальным П-образным металлическим рельсам, находящимся в однородном магнитном поле (рис. 82).

- а) Как направлена сила Лоренца, действующая на свободные заряды в стержне?
- б) Как направлен индукционный ток в стержне?

*Совет.* б) Воспользуйтесь правилом левой руки и учтите, что электроны имеют отрицательный заряд.

133. Полосовой магнит удаляется от металлического кольца, как показано на рисунке 83. Как направлены линии напряжённости вихревого электрического поля вблизи кольца?

*Совет.* Направление линий напряжённости вихревого электрического поля совпадает с направлением созданного им индукционного тока.

134. В однородном магнитном поле находится металлическая проволочная рамка сопротивлением 0,3 Ом. Магнитный поток, пронизывающий рамку, за 2 с равномерно увеличивается от 2 мВб до 5 мВб.

- а) Чему равен модуль ЭДС индукции в рамке?
- б) Чему равна сила тока в рамке?

*Совет.* Воспользуйтесь законом электромагнитной индукции и законом Ома для полной цепи.

135. По графику зависимости от времени магнитного потока через замкнутый контур сопротивлением 2 Ом (рис. 84) определите:

- а) в каком промежутке времени модуль ЭДС индукции максимален;
- б) в каком промежутке времени индукционный ток в контуре отсутствует;
- в) чему равен модуль ЭДС индукции при  $t = 4$  с;
- г) чему равна сила тока в контуре при  $t = 4$  с.

*Совет.* а) ЭДС индукции равна скорости изменения магнитного потока. б) Индукционный ток в замкнутом контуре возникает при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур. г) Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи.

136. Чему равна ЭДС индукции в катушке, содержащей 500 витков, если магнитный поток через один виток убывает со скоростью 40 мВб/с?

*Совет.* Учтите, что витки в катушке соединены последовательно.

**Повышенный уровень**

137. Замкнутый проволочный виток площадью 20 см<sup>2</sup> расположен в однородном магнитном поле с индукцией 20 мТл, причём линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости витка. Какой заряд проходит по витку при выключении магнитного поля, если сопротивление витка 2 Ом?

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что  $\Delta q = I_i \Delta t$ , законом электромагнитной индукции и законом Ома для полной цепи, который в данном случае имеет вид  $I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$ .

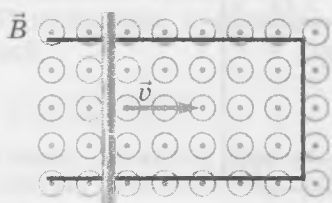


Рис. 82

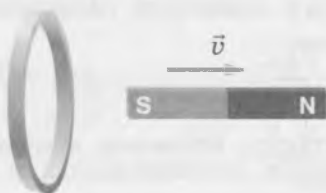


Рис. 83

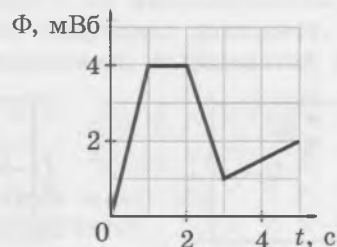


Рис. 84

**138.** Замкнутый проволочный прямоугольный виток площадью  $2000 \text{ см}^2$  расположен в однородном магнитном поле так, что линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости витка. При повороте витка вокруг одной из его сторон на  $90^\circ$  по витку проходит заряд, равный  $80 \text{ мКл}$ . Чему равно сопротивление витка, если модуль вектора магнитной индукции равен  $0,4 \text{ Тл}$ ?

*Совет.* Воспользуйтесь законом электромагнитной индукции и законом Ома для полной цепи.

**139.** Квадратная проволочная рамка со стороной  $20 \text{ см}$  и сопротивлением  $0,03 \text{ Ом}$  расположена в однородном магнитном поле, причём плоскость рамки перпендикулярна линиям магнитной индукции. Модуль магнитной индукции уменьшается на  $0,6 \text{ Тл}$  за каждую секунду. Какое количество теплоты выделится в рамке за  $2 \text{ с}$ ?

*Совет.* Воспользуйтесь законом Джоуля — Ленца, законом электромагнитной индукции, законом Ома для полной цепи.

**140.** На концах проводника длиной  $2 \text{ м}$ , движущегося со скоростью  $5 \text{ м/с}$  в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции, возникает разность потенциалов, равная  $0,02 \text{ В}$ . Чему равен модуль магнитной индукции?

**141.** Самолёт, размах крыльев которого  $30 \text{ м}$ , летит со скоростью  $900 \text{ км/ч}$  в магнитном поле Земли. В той местности, где летит самолёт, горизонтальная составляющая магнитной индукции поля Земли равна  $0,03 \text{ мТл}$ , а вертикальная составляющая равна  $0,04 \text{ мТл}$ . Чему равна максимальная ЭДС, которая может возникнуть при горизонтальном полёте самолёта?

*Совет.* Воспользуйтесь выражением для ЭДС индукции в движущемся проводнике. Учтите, что при горизонтальном полёте самолёта ЭДС индукции определяется только вертикальной составляющей магнитной индукции поля Земли.

### Высокий уровень

**142.** На рисунке 85, *а* изображён полосовой магнит, начинающий свободное падение из состояния покоя. Когда магнит пролетает сквозь закреплённое проволочное кольцо, он создаёт в кольце индукционный ток. На рисунке 85, *б* приведён график зависимости силы индукционного тока в кольце от времени (разным знакам силы тока соответствуют противоположные направления тока). Объясните, почему индукционный ток в кольце изменяет направление.

*Совет.* Воспользуйтесь правилом Ленца.

**143.** На рисунке 86 изображена схема электрической цепи. Как будут изменяться показания приборов при движении ползунка реостата вправо?

**144.** В однородном магнитном поле с индукцией  $0,5 \text{ Тл}$  равноускоренно из состояния покоя движется проводник длиной  $2 \text{ м}$  (рис. 87). Магнитная индукция перпендикулярна проводнику и скорости его движения. Чему равно ускорение проводника, если в момент, когда проводник переместился на  $4 \text{ м}$ , ЭДС индукции на его концах равна  $4 \text{ В}$ ?

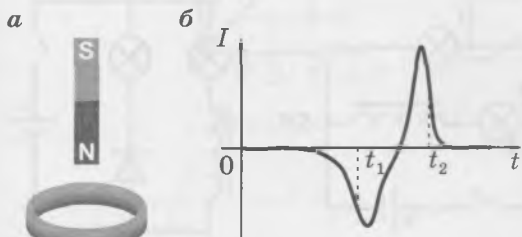


Рис. 85

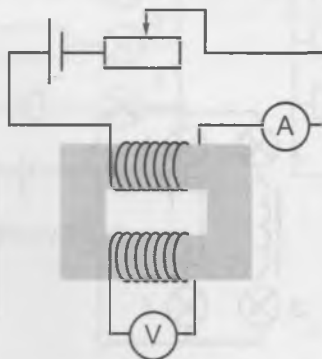


Рис. 86

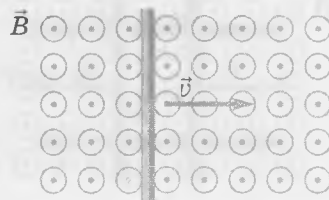
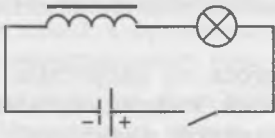


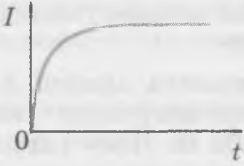
Рис. 87

145. По двум параллельным рельсам, находящимся на расстоянии 50 см друг от друга в горизонтальной плоскости в однородном магнитном поле с индукцией 0,3 Тл, в противоположные стороны движутся перемычки со скоростью 2 м/с каждая (рис. 88). Чему равна сила тока в цепи, если сопротивление каждой перемычки равно 3 Ом, а сопротивлением рельсов и контактов можно пренебречь?

## Самоиндукция. Энергия магнитного поля

**Явление самоиндукции**





ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Энергия магнитного поля тока

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

#### Явление самоиндукции

146. Какие лампы в цепи, схема которой изображена на рисунке 89, загорятся сразу при замыкании ключа, а какие будут разгораться постепенно? Обоснуйте ваш ответ.

147. При размыкании цепи, содержащей катушку (рис. 90), в ключе проскакивает *искра*. Как это объяснить?

148. На рисунке 91 изображена схема электрической цепи, содержащая диод.

- а) Перенесите рисунок в тетрадь. Укажите наличие и направление тока во всех элементах цепи после замыкания ключа. Опишите наблюдаемые явления.
- б) Укажите наличие и направление тока во всех элементах цепи сразу после размыкания ключа. Опишите наблюдаемые явления.
- в) Возникнет ли искра при размыкании ключа? Обоснуйте свой ответ.

*Совет.* а) Учтите, что ток через диод может течь только в одном направлении (это направление указывает на схеме стрелка в обозначении диода). б) Вследствие явления электромагнитной индукции направление тока в катушке некоторое время после размыкания ключа останется прежним.

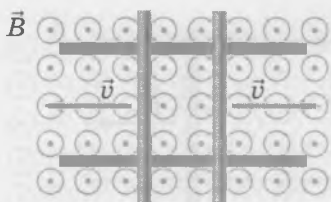


Рис. 88

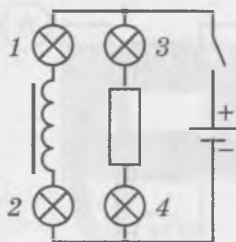


Рис. 89

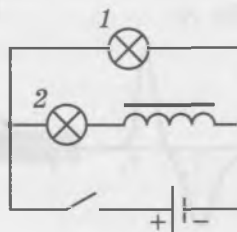


Рис. 90

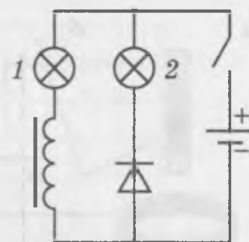


Рис. 91

## Индуктивность

149. Когда сила тока в замкнутом контуре равна 2 А, магнитный поток поля, созданного током, через этот контур равен 10 мВб. Чему равна индуктивность контура?

150. На рисунке 92 изображены графики зависимости силы тока от времени для двух *одинаковых* катушек. В какой катушке ЭДС самоиндукции больше? Во сколько раз?

151. Когда сила тока в катушке равномерно увеличивается от 2 до 5 А в течение 3 с, ЭДС самоиндукции в катушке равна 0,5 мВ.

а) Чему равна индуктивность катушки?

б) Чему будет равна ЭДС самоиндукции в той же катушке, если сила тока будет равномерно увеличиваться от 1 до 13 А в течение 2 с?

## Энергия магнитного поля тока

152. При какой силе тока энергия магнитного поля в катушке индуктивностью 5 мГн равна 10 мДж?

153. Вернёмся к электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 91. Сопротивления ламп  $R_1 = 6$  Ом,  $R_2 = 4$  Ом, ЭДС источника  $\mathcal{E} = 12$  В, индуктивность катушки  $L = 30$  мГн. Внутренним сопротивлением источника тока и сопротивлением катушки можно пренебречь.

а) Чему равна сила тока в цепи при замкнутом ключе?

б) Чему равна энергия магнитного поля в катушке при замкнутом ключе?

в) Какое количество теплоты выделится в обеих лампах после *размыкания* ключа?

г) Какое количество теплоты выделится в каждой лампе после *размыкания* ключа?

*Совет.* в) Воспользуйтесь законом сохранения энергии. г) Воспользуйтесь законом Джоуля — Ленца и учтите, что сила тока в лампах после размыкания ключа одинакова.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ<sup>1)</sup>

### Базовый уровень

154. На рисунке 93 изображена схема электрической цепи. Опишите, что будет происходить с каждой лампой после замыкания ключа. Обоснуйте ваш ответ.

*Совет.* Вспомните, при каком подключении диода через него будет идти ток. Учтите, что в катушке после замыкания ключа возникает ЭДС самоиндукции.

155. На рисунке 94 изображена схема электрической цепи. Какая из ламп загорится сразу после замыкания ключа?

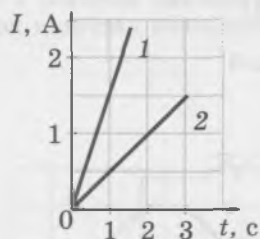


Рис. 92

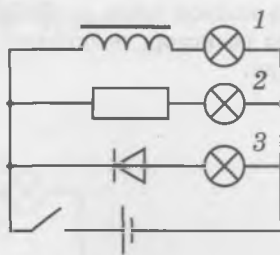


Рис. 93

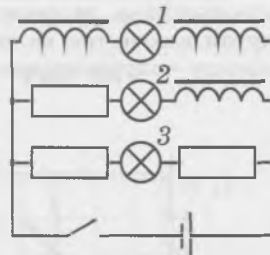


Рис. 94

<sup>1)</sup> В заданиях к этому разделу предполагается, что сопротивлением катушки индуктивности можно пренебречь.

156. Сила тока в катушке с индуктивностью 6 мГн за 20 мс равномерно убывает от 4 до 1 А. Чему равна ЭДС самоиндукции?

157. Чему равна индуктивность катушки, если сила тока в ней за 0,2 с равномерно увеличивается на 10 А, а ЭДС самоиндукции равна 20 В?

158. На рисунке 95 приведён график зависимости силы тока в катушке индуктивностью 0,2 Гн от времени. Чему равна ЭДС самоиндукции в катушке?

159. Чему равна энергия магнитного поля катушки с индуктивностью 0,6 Гн, если сила тока в катушке 2 А? Как изменится энергия магнитного поля, если сила тока увеличится в 2 раза?

160. Энергия магнитного поля катушки с индуктивностью 0,5 Гн равна 4 Дж. Чему равна сила тока в катушке?

161. При одинаковой силе тока энергия магнитного поля первой катушки в 9 раз больше энергии магнитного поля второй катушки. Чему равно отношение индуктивностей катушек  $\frac{L_1}{L_2}$ ?

*Совет.* Воспользуйтесь выражением для энергии магнитного поля тока в катушке.

### Повышенный уровень

162. По графику зависимости силы тока в катушке от времени (рис. 96) определите, в какой момент времени модуль ЭДС самоиндукции принимает наименьшее значение. Чему он равен?

*Совет.* Модуль ЭДС самоиндукции пропорционален скорости изменения функции  $I(t)$ .

163. Катушка с площадью поперечного сечения 6 см<sup>2</sup> содержит 1000 витков. Когда сила тока в катушке равна 2 А, магнитная индукция поля внутри неё равна 1 мТл. Чему равна индуктивность катушки? Магнитное поле внутри катушки считайте однородным; магнитные потоки, пронизывающие витки катушки, — одинаковыми.

*Совет.* Воспользуйтесь определением индуктивности и учтите, что ЭДС индукции возникает в каждом витке катушки.

164. Сила тока в первой катушке индуктивностью 4 Гн равна 5 А. Сила тока во второй катушке индуктивностью 2 Гн равна 10 А. В какой из катушек энергия магнитного поля тока больше и во сколько раз?

165. Параллельно соединённые проволочную катушку и резистор подключили к источнику тока через ключ. Индуктивность катушки 0,8 Гн, сопротивление резистора 4 Ом, ЭДС источника тока 6 В, его внутреннее сопротивление 2 Ом. Чему равно количество теплоты, которое выделится в резисторе после размыкания ключа?

*Совет.* Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи и законом сохранения энергии. Учтите, что при замкнутом ключе ток не течёт через резистор, поскольку сопротивление катушки по условию намного меньше сопротивления резистора.

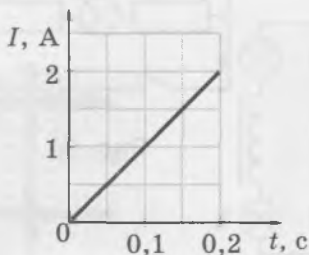


Рис. 95

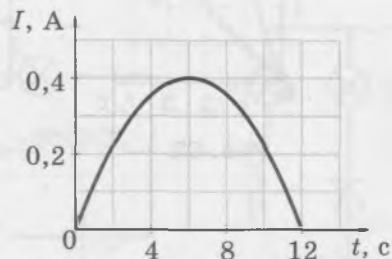


Рис. 96

166. По графику зависимости силы тока в катушке индуктивностью 40 мГн от времени (рис. 97) определите:

- значение энергии магнитного поля в начальный момент;
- значение энергии магнитного поля через 10 мс после начала наблюдения.

### Высокий уровень

167. На рисунке 98 изображён график зависимости силы тока от времени в катушке индуктивностью 2 мГн.

- В какой момент в течение указанного на графике промежутка времени модуль ЭДС самоиндукции был наибольшим?
- В какой момент модуль ЭДС самоиндукции был наименьшим? Чему при этом он был равен?

*Совет.* а) Из формулы  $\mathcal{E}_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$  следует, что модуль ЭДС самоиндукции пропорционален скорости изменения функции  $I(t)$ . б) В момент, когда сила тока достигает максимума.

168. На рисунке 99 изображена схема электрической цепи. ЭДС источника тока равна 12 В, его внутреннее сопротивление 1 Ом, электроёмкость конденсатора 2 мФ, индуктивность катушки 36 мГн, сопротивление лампы 5 Ом. В начальный момент ключ замкнут. Какое количество теплоты выделится в лампе после размыкания ключа?

*Совет.* Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи, выражениями для энергии электрического поля в конденсаторе и для энергии магнитного поля в катушке, а также законом сохранения энергии. Учтите, что постоянный ток через конденсатор не идёт и что после размыкания ключа всё количество теплоты выделится в лампочке.

169. На рисунке 100 изображена схема электрической цепи. ЭДС источника тока равна 5 В, его внутреннее сопротивление 1 Ом, электроёмкость конденсатора 0,1 мкФ, сопротивление резистора 1 кОм. В начальный момент ключ замкнут. После размыкания ключа в резисторе выделилось количество теплоты, равное 3,75 мкДж. Чему равна индуктивность катушки?

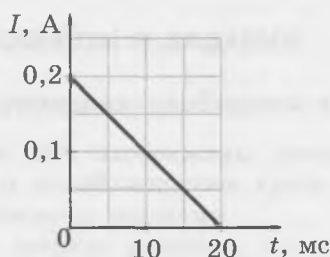


Рис. 97

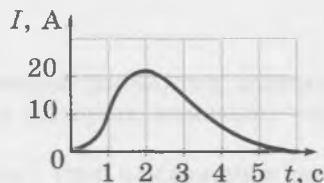


Рис. 98

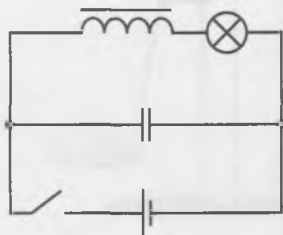


Рис. 99

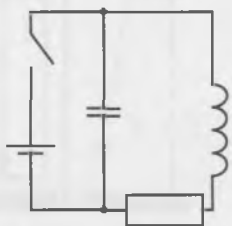


Рис. 100

170. На рисунке 101 изображена схема электрической цепи. ЭДС источника тока равна 9 В, электроёмкость конденсатора 10 мФ, индуктивность катушки 20 мГн, сопротивление резистора 3 Ом. В начальный момент ключ замкнут. Какое количество теплоты выделится в лампе после размыкания ключа? Внутренним сопротивлением источника тока можно пренебречь. Есть ли в условии лишние данные?

*Совет.* Учтите, что при замкнутом ключе напряжение на катушке индуктивности равно нулю, а сила тока в катушке не равна нулю.

171. На рисунке 102, а изображена схема электрической цепи. В начальный момент ключ разомкнут. График зависимости силы тока от времени после замыкания ключа изображён на рисунке 102, б.

- Почему при замыкании ключа сила тока плавно увеличивается от постоянного значения  $I_0$  до постоянного значения  $I_1$ ?
- Чему равна сила тока  $I_1$ , если внутренним сопротивлением источника тока можно пренебречь?

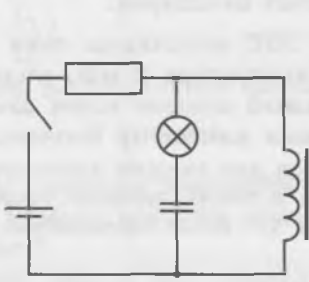


Рис. 101

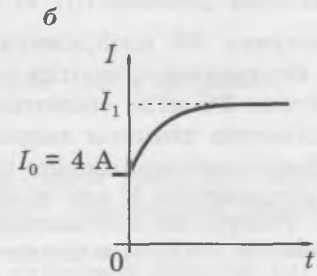
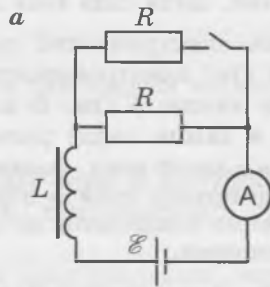


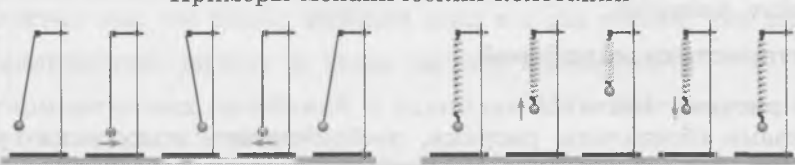
Рис. 102

# КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

## КОЛЕБАНИЯ

### Свободные механические колебания

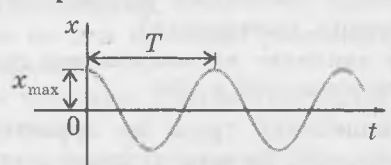
**Свободные механические колебания**  
Примеры механических колебаний



**Соотношения между периодом, частотой и циклической частотой колебаний**

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \omega = 2\pi\nu$$

**Уравнение гармонических колебаний**      **График гармонических колебаний**

$$x = x_{\max} \cos \omega t$$


### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

#### Условия существования свободных колебаний

172. На рисунке 103 изображены различные положения *нитяного маятника* — подвешенного на нити колеблющегося груза. Рисунки, на которых показано устойчивое положение груза, обведены рамками.

Сделайте в тетради рисунок, поясняющий, почему при отклонении груза от положения равновесия равнодействующая приложенных к нему сил стремится вернуть груз в положение равновесия.

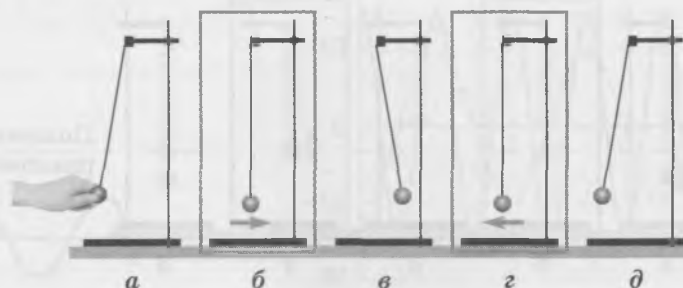


Рис. 103

173. Подвешенный на пружине груз (*пружинный маятник*) колеблется около положения устойчивого равновесия (рис. 104). Рисунки, на которых показано устойчивое положение груза, обведены рамками.

Сделайте в тетради рисунок, поясняющий, почему при отклонении груза от положения равновесия равнодействующая приложенных к нему сил стремится вернуть груз в положение равновесия.

174. Если нажать сверху вниз на плавающий в воде деревянный брусок, а потом отпустить его, то брусок начнёт совершать вертикальные колебания. Сделайте в тетради рисунок, поясняющий, равнодействующая каких сил стремится вернуть брусок в положение устойчивого равновесия.

*Совет.* Учтите силу Архимеда.

### Основные характеристики колебаний

175. Рассмотрите рисунки 103 и 104.

- Какими буквами обозначены рисунки, изображающие положения грузов, между которыми происходит одно *полное* колебание?
- Какими буквами обозначены рисунки, изображающие положения грузов, разделённые во времени *половиной* периода колебаний?

176. Сколько раз груз пройдёт через положение равновесия за один период? Примите, что в начальный момент груз не находится в положении равновесия.

177. Какая часть периода колебаний проходит между двумя последовательными прохождениями грузом положения равновесия?

178. Чем отличаются состояния колеблющегося тела при двух *последовательных* прохождениях положения равновесия?

*Совет.* Обратите внимание на направление скорости грузов при прохождении через положения равновесия на рисунках 103 и 104.

179. Амплитуда колебаний груза на пружине равна 2 см. Какой путь проходит груз за один период колебаний? За три периода колебаний?

*Совет.* За время одного периода колебаний груз *четырежды* проходит расстояние от положения равновесия до одного из крайних положений.

180. Докажите, что частота и период колебаний связаны соотношением  $\nu = \frac{1}{T}$ .

181. Подвешенный на пружине груз совершает колебания с амплитудой 2 см и частотой 5 Гц.

- Чему равен период колебаний?
- Чему равен путь, который проходит груз за 1 мин?
- Сколько раз груз проходит через положение равновесия за 1 мин?

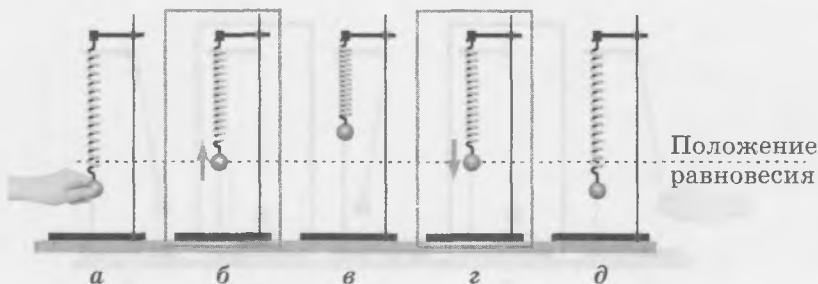


Рис. 104

## Гармонические колебания

В условиях последующих задач предполагается, что в начальный момент смещение колеблющегося тела от положения равновесия максимально и положительно. В таком случае уравнение гармонических колебаний имеет вид

$$x = x_{\max} \cos \omega t.$$

Величину  $\omega$  называют *циклической частотой*. Она измеряется в  $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .

182. Какой характеристике колебаний равно значение  $x_{\max}$ ?
183. Выразите период колебаний  $T$  через циклическую частоту  $\omega$ .  
*Совет.* Воспользуйтесь тем, что период функции  $\cos \omega t$  в  $\omega$  раз меньше, чем период функции  $\cos t$ .
184. Выразите циклическую частоту  $\omega$  через частоту колебаний  $\nu$ .
185. Уравнение гармонических колебаний в единицах СИ имеет вид  $x = 0,05 \cos 10t$ .
- Чему равна амплитуда колебаний?
  - Чему равна циклическая частота колебаний?
  - Чему равна частота колебаний?
  - Чему равен период колебаний?
  - Чему равно смещение тела через половину периода после начального момента времени?
  - Чему равно смещение тела через четверть периода после начального момента времени?
186. На рисунке 105 изображён график гармонических колебаний.
- Перенесите рисунок в тетрадь. Обозначьте на нём амплитуду и период колебаний.
  - Отметьте красным цветом любые две точки на оси времени, разделённые промежутком времени, равным половине периода колебаний.
  - Отметьте синим цветом любые две точки на оси времени, разделённые промежутком времени, равным четверти периода колебаний.
  - Обведите красным цветом любой участок графика, соответствующий положительному значению смещения от положения равновесия.
  - Обведите синим цветом любой участок графика, соответствующий отрицательному значению смещения от положения равновесия.
187. Изобразите в тетради графики двух гармонических колебаний с одинаковой амплитудой, но разными периодами.
188. Изобразите в тетради графики двух гармонических колебаний с разными амплитудами, но одинаковой частотой.
189. Чему равны амплитуда, период, частота и циклическая частота колебаний, графики которых изображены на рисунке 106? Запишите уравнение каждого колебания в единицах СИ.

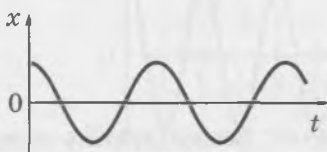


Рис. 105

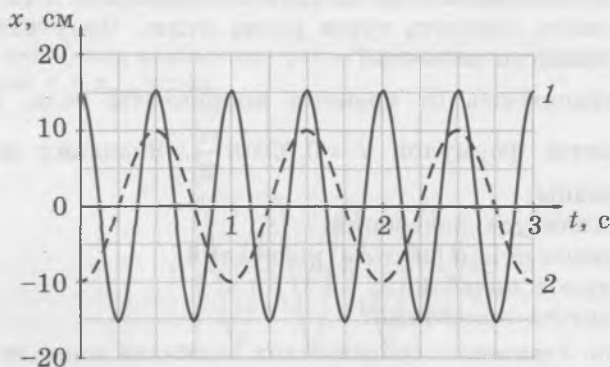


Рис. 106

190. Изобразите в тетради графики двух гармонических колебаний, удовлетворяющих условиям: частота колебаний, соответствующих графику 1, в три раза больше, чем частота колебаний, соответствующих графику 2, а амплитуда колебаний, соответствующих графику 1, в три раза меньше, чем амплитуда колебаний, соответствующих графику 2.

### Фаза колебаний

В общем случае уравнение гармонических колебаний имеет вид

$$x = x_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Выражение, стоящее в этой формуле под знаком косинуса, называют *фазой колебаний* и обозначают  $\varphi$ , а величину  $\varphi_0$  называют *начальной фазой*. Фазу колебаний измеряют в радианах.

191. Докажите, что за промежуток времени, равный периоду колебаний  $T$ , фаза колебаний изменяется на  $2\pi$ .

Между двумя колебаниями, происходящими с одной частотой, есть *сдвиг фаз*, если эти колебания отличаются значениями начальной фазы. Если сдвиг фаз между колебаниями двух тел равен  $\pi$ , то говорят, что эти тела колеблются в *противофазе*.

192. Докажите, что если тела колеблются в противофазе с одинаковыми амплитудами, то смещения этих тел в любой момент *равны по модулю, но имеют противоположные знаки*.

### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

#### Базовый уровень

193. Чему равны период и частота колебаний маятника, совершающего 20 колебаний за 25 с?

194. В таблице представлены значения координаты тела, колеблющегося вдоль оси  $x$ , в различные моменты времени. Чему равен период колебаний?

$t$ , с	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2
$x$ , мм	0	4	6,9	6,9	4	0	-4	-6,9	-6,9

*Совет.* Используя таблицу, изобразите примерный график зависимости  $x(t)$  и с его помощью найдите период колебаний шарика.

195. Материальная точка совершает незатухающие колебания с амплитудой 1 мм и частотой 1 кГц. Найдите путь, пройденный этой точкой за 1 с.

*Совет.* Определите период колебаний точки и количество колебаний, совершённых ею за 1 с. Учтите, что за один период колебаний точка *четырежды* проходит расстояние, равное амплитуде колебаний.

196. Подвешенный к нити груз колеблется с периодом 4 с и амплитудой 2 см. В начальный момент скорость груза равна нулю. Чему равен путь, пройденный грузом за 5 с после начального момента?

197. Зависимость от времени координаты тела, совершающего колебания вдоль оси  $x$ , выражается формулой  $x = 0,02 \sin \frac{\pi t}{2}$ . Значения всех физических величин заданы в СИ.

Чему равны:

- амплитуда колебаний;
- циклическая частота колебаний;
- период колебаний;
- частота колебаний?

*Совет.* Уравнение гармонических колебаний имеет вид  $x = x_{\max} \sin \omega t$ . Воспользуйтесь соотношениями  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ;  $\omega = 2\pi\nu$ .

198. На рисунке 107 изображён график зависимости смещения от времени для тела, совершающего гармонические колебания. Чему равны амплитуда, период и частота колебаний тела? Запишите уравнение гармонических колебаний в единицах СИ.

### Повышенный уровень

199. В начальный момент скорость груза пружинного маятника равна нулю. Чему равен период колебаний маятника, если за 5 с груз проходит путь, в 5 раз больший амплитуды колебаний?

200. Уравнение гармонических колебаний материальной точки в единицах СИ имеет вид  $x = 0,04\sin 4\pi t$ . Какой путь пройдёт точка за 1 мин?

*Совет.* Найдите амплитуду и период колебаний.

201. Напишите уравнение гармонических колебаний груза на пружине, который совершает колебания с частотой 5 Гц, если в начальный момент скорость груза равна нулю, а его смещение от положения равновесия равно 3 см.

202. По графикам зависимости смещения от времени для тел, совершающих гармонические колебания (рис. 108), определите:

- амплитуда колебаний какого тела больше, и во сколько раз;
- период колебаний какого тела больше, и во сколько раз.

203. Уравнение гармонических колебаний тела в единицах СИ имеет вид  $x = 0,02\cos 0,5\pi t$ . Через какой наименьший промежуток времени после начального момента координата тела будет равна  $-0,02$  м?

*Совет.* За искомый промежуток времени тело переместится из одного крайнего положения в другое крайнее положение.

### Высокий уровень

204. Уравнение гармонических колебаний материальной точки в единицах СИ имеет вид  $x = 0,02\sin \frac{\pi t}{6}$ . За какой минимальный промежуток времени после начального момента точка сместится от начального положения на 1 см?

*Совет.* Составьте тригонометрическое уравнение для нахождения искомого промежутка времени.

205. Материальная точка совершает гармонические колебания с периодом 1,2 с. Чему равна координата точки через 0,2 с после того момента, когда она была равна нулю, если амплитуда колебаний равна 6 см?

*Совет.* Используя данные из условия задачи, запишите тригонометрическое уравнение для нахождения искомой величины.

206. От положения равновесия до максимального смещения тело, совершающее гармонические колебания, проходит за 3 с, двигаясь в одном направлении. За какой промежуток времени тело проходит расстояние, равное половине амплитуды колебаний, если в начальный момент смещение тела равно нулю?

*Совет.* В данном случае смещение тела в начальном положении равно нулю, поэтому зависимость смещения от времени выражается формулой  $x = x_{\max} \sin \omega t$ .

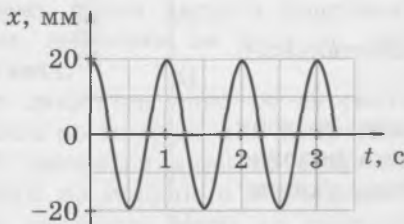


Рис. 107

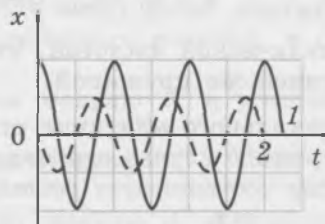


Рис. 108

207. Груз на пружине сместили от положения равновесия и отпустили без толчка. За какую долю периода колебаний он пройдёт первую половину пути до положения равновесия? вторую половину пути?

*Совет.* В данном случае смещение груза в начальном положении максимально, поэтому зависимость смещения от времени выражается формулой  $x = x_{\max} \cos \omega t$ .

## Динамика механических колебаний

<p>Период колебаний пружинного маятника</p> $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	<p>Период колебаний математического маятника</p> $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$
$v_{\max} = \omega x_{\max}$	$a_{\max} = \omega^2 x_{\max}$

### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

#### Горизонтальный пружинный маятник

208. Груз пружинного маятника заменили другим грузом, масса которого в 4 раза больше. Как изменился период колебаний?

209. Пружину маятника заменили другой пружиной, жёсткость которой в 2 раза больше. Как изменилась частота колебаний?

#### Вертикальный пружинный маятник

210. Рассмотрим вертикальные колебания груза массой  $m$ , подвешенного на лёгкой пружине жёсткостью  $k$ . Обозначим  $x_0$  удлинение пружины, при котором груз находится в положении равновесия (рис. 109). Докажите, что  $x_0 = \frac{mg}{k}$ .

*Совет.* Когда груз находится в равновесии, действующая на него сила упругости со стороны пружины уравнивает силу тяжести.

211. Докажите, что, когда груз совершает вертикальные колебания, справедливо соотношение

$$ma_x = -k(x - x_0). \quad (5)$$

*Совет.* Воспользуйтесь законом Гука и вторым законом Ньютона.

Зависимость  $x(t)$  при колебаниях груза, подвешенного на пружине, выражается формулой

$$x = x_0 + x_{\max} \cos \omega t$$

с той же циклической частотой, что и для горизонтального маятника с такой же пружиной.

Отличие вертикального маятника от горизонтального состоит только в том, что в случае вертикального маятника положению равновесия соответствует *растянутая* пружина, удлинение которой  $x_0 = \frac{mg}{k}$ .

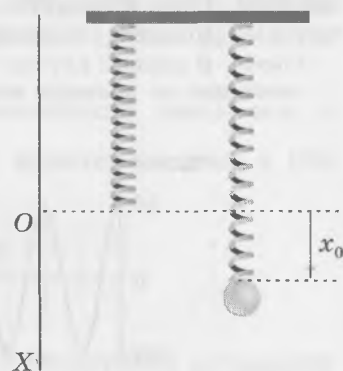


Рис. 109

**212.** Подвешенная к пружине гири находится в равновесии, когда удлинение пружины равно 2,5 см.

- Чему равен период вертикальных колебаний гири?
- При какой амплитуде колебаний гири пружина будет оставаться всё время растянутой?

*Совет.* Когда гиря находится в равновесии, действующая на неё со стороны пружины сила упругости уравновешивает силу тяжести.

**213.** Пружина жёсткостью  $k$  подвешена к нити, а к пружине подвешен шар массой  $m$  (рис. 110).

- Чему равна наибольшая возможная амплитуда гармонических колебаний шара?
- В какие моменты шар находится в состоянии невесомости при гармонических колебаниях с наибольшей возможной амплитудой?
- В каких пределах изменяется сила натяжения нити при гармонических колебаниях шара с наибольшей возможной амплитудой?

*Совет.* а) Подвешенная к нити пружина не может сжиматься. б) При гармонических колебаниях с наибольшей возможной амплитудой натяжение нити равно нулю, когда шар находится в верхней точке траектории. в) Используя закон Гука и второй закон Ньютона, докажите, что если амплитуда колебаний равна  $x_0$ , то удлинение пружины в момент, когда шар находится в нижней точке траектории, в 2 раза больше, чем когда он находится в положении равновесия.

### Математический маятник

**214.** Колеблющийся на нити небольшой грузик проходит положение равновесия с интервалом 1 с.

- Чему равен период колебаний груза?
- Чему равна длина нити?

Эта задача подсказывает, как сделать простейший самодельный секундомер в домашних условиях.

**215.** Космонавт высадился на Луне с двумя часами — пружинными и маятниковыми.

- Ход каких часов остался таким же, как на Земле?
- За какой промежуток времени минутная стрелка маятниковых часов совершит полный оборот?

*Совет.* а) Рассмотрите, период колебаний какого маятника зависит от ускорения свободного падения, и учтите, что ускорение свободного падения вблизи поверхности Луны примерно в 6 раз меньше, чем вблизи поверхности Земли. б) Найдите, во сколько раз увеличился период колебаний маятника при переносе его с Земли на Луну.

**216.** Маленький заряженный шарик с положительным зарядом  $q$  и массой  $m$  подвешен на нити длиной  $l$ . Вся система находится в однородном электростатическом поле. Модуль напряжённости поля  $E$ , вектор напряжённости направлен вниз. Чему равен период  $T$  малых колебаний шарика?

*Совет.* Учтите, что на шарик, кроме силы тяжести, действует ещё направленная вертикально вниз сила со стороны электростатического поля.

**217.** К потолку лифта подвешена нить длиной  $l$ , а к нити подвешен небольшой шарик. Чему равна частота колебаний шарика, если лифт будет двигаться с ускорением, меньшим по модулю, чем ускорение свободного падения, в следующих случаях:

- лифт движется вниз со скоростью, равной по модулю  $v$ , и ускорением, равным по модулю  $a$  и направленным вниз?
- лифт движется вниз со скоростью, равной по модулю  $v$ , и ускорением, равным по модулю  $a$  и направленным вверх?
- лифт движется вверх со скоростью, равной по модулю  $v$ , и ускорением, равным по модулю  $a$  и направленным вниз?



Рис. 110

г) лифт движется вверх со скоростью, равной по модулю  $v$ , и ускорением, равным по модулю  $a$  и направленным вверх?

*Совет.* Можно считать, что в ускоренно движущемся лифте во всех формулах, содержащих ускорение свободного падения  $g$ , оно заменяется выражением  $g + a$ , если ускорение направлено вверх, и выражением  $g - a$ , если ускорение направлено вниз. Направление и модуль скорости лифта значения не имеют.

**218.** Колеблющийся на нити заряженный шарик помещают в однородное магнитное поле. Вектор магнитной индукции поля направлен перпендикулярно плоскости колебаний шарика. Изменяется ли при этом частота колебаний шарика, и если да, то как: увеличивается или уменьшается?

*Совет.* Сила Лоренца перпендикулярна скорости заряженного тела.

### Соотношение между смещением, скоростью и ускорением тела при гармонических колебаниях

**219.** Используя производные, докажите, что проекции скорости и ускорения тела, совершающего гармонические колебания, выражаются следующими формулами:

$$v_x = -\omega x_{\max} \sin \omega t,$$

$$a_x = -\omega^2 x_{\max} \cos \omega t.$$

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что  $v_x = x'$ ,  $a_x = x''$ , и формулами для производных тригонометрических функций.

**220.** Докажите, что при гармонических колебаниях

$$v_{\max} = \omega x_{\max},$$

$$a_{\max} = \omega^2 x_{\max}.$$

**221.** Амплитуда колебаний нитяного маятника равна 4 см. С какой скоростью груз проходит положение равновесия, если длина нити 70 см?

*Совет.* При прохождении положения равновесия модуль скорости груза принимает наибольшее значение. Воспользуйтесь соотношением  $v_{\max} = \omega x_{\max}$ .

**222.** Колеблющийся на горизонтальной пружине груз массой 0,5 кг проходит положение равновесия со скоростью 2 м/с. Амплитуда колебаний  $x_{\max} = 5$  см.

а) Какова циклическая частота колебаний?

б) Какова жёсткость пружины?

*Совет.* а) Воспользуйтесь соотношением  $v_{\max} = \omega x_{\max}$ .

**223.** Горизонтальная пластина совершает гармонические вертикальные колебания с амплитудой 7 мм и частотой 4 Гц. На пластине находится брусок массой 2 кг.

а) Каково наибольшее значение модуля ускорения пластинки?

б) Чему равны наибольшее и наименьшее значения веса бруска?

в) При какой амплитуде колебаний пластинки груз будет отрываться от неё во время колебаний, если частота колебаний останется прежней?

*Совет.* б) Воспользуйтесь выражением для веса груза, движущегося с ускорением. в) Груз будет отрываться от пластинки, если наибольшее значение модуля её ускорения будет превышать ускорение свободного падения.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

**224.** Пружинный маятник совершает колебания с периодом 1 с. Чему будет равен период колебаний, если массу груза увеличить в 2 раза, а пружину заменить другой, жёсткость которой в 2 раза меньше?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой периода колебаний пружинного маятника.

**225.** Чему равна жёсткость пружины, если прикреплённый к ней груз массой 200 г совершает одно колебание за 0,5 с?

**226.** Груз какой массы надо прикрепить к пружине жёсткостью 100 Н/м, чтобы получившийся пружинный маятник совершал колебания с частотой 2 Гц?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой периода колебаний пружинного маятника и тем, что  $\nu = \frac{1}{T}$ .

**227.** Как изменится период колебаний нитяного маятника, если:

- а) длину нити увеличить в 4 раза;
- б) массу груза увеличить в 2 раза?

**228.** Какова длина нити нитяного маятника, который совершал бы на Луне колебания с периодом 5 с? Ускорение свободного падения на Луне равно 1,6 м/с<sup>2</sup>.

*Совет.* Воспользуйтесь выражением для периода колебаний математического маятника.

**229.** Уравнение гармонических колебаний материальной точки в единицах СИ имеет вид  $x = 0,04 \cos 2\pi t$ . Запишите формулы зависимости проекции скорости тела от времени и проекции ускорения тела от времени.

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что  $v_x = x'$ ,  $a_x = x''$ , и формулами для производных тригонометрических функций.

**230.** Материальная точка совершает гармонические колебания вдоль оси  $x$ . Проекция её скорости на ось  $x$  в единицах СИ изменяется по закону  $v_x = 0,6 \cos 3\pi t$ . Чему равны амплитуда скорости, частота и период колебаний?

### Повышенный уровень

**231.** Период колебаний груза массой  $m$  на пружине равен  $T$ . Как изменятся (увеличатся или уменьшатся) период и частота колебаний, если уменьшить массу груза?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой периода колебаний пружинного маятника.

**232.** К двум одинаковым пружинам прикрепляют медный и алюминиевый шары одинакового объёма. Во сколько раз период колебаний одного шара больше периода колебаний другого?

*Совет.* Выясните, во сколько раз отличаются массы шаров.

**233.** Подвешенный к пружине медный шар совершает вертикальные колебания. Как изменится период колебаний, если:

- а) заменить шар другим медным шаром, радиус которого в 2 раза меньше?
- б) медный шар заменить алюминиевым, радиус которого равен радиусу медного?
- в) данную пружину заменить половиной такой же пружины?
- г) перенести систему на Луну?

*Совет.* в) Учтите, что жёсткость половины пружины в 2 раза больше жёсткости целой пружины.

**234.** На некоторой планете небольшой груз, подвешенный на нити длиной 25 см, совершает за минуту 30 колебаний. Чему равно ускорение свободного падения на этой планете?

**235.** Как изменятся период и частота малых колебаний нитяного маятника, если увеличить длину нити?

**236.** Частоты колебаний шарика, подвешенного на нити длиной 15 см, и груза на пружине жёсткостью 200 Н/м одинаковы. Чему равна масса груза?

*Совет.* Воспользуйтесь выражениями для периода колебаний математического и пружинного маятников, а также тем, что  $T = \frac{1}{\nu}$ .

237. В таблице представлены значения координаты шарика, совершающего колебания вдоль оси  $x$ , через равные промежутки времени. Чему равна максимальная скорость шарика?

$t, \text{ с}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$x, \text{ см}$	8	5,7	0	-5,7	-8	-5,7	0	5,7

*Совет.* Используя таблицу, изобразите примерный график зависимости  $x(t)$  и с его помощью найдите период колебаний шарика, а также определите амплитуду колебаний шарика. Воспользуйтесь тем, что  $v_{\max} = \omega x_{\max}$ .

### Высокий уровень

238. На горизонтальной пластине, совершающей гармонические *горизонтальные* колебания с периодом 0,9 с, лежит груз. Коэффициент трения между грузом и пластиной равен 0,4.

- При каком максимальном значении ускорения пластины груз неподвижен относительно пластины?
- При какой амплитуде колебаний пластины груз скользит по пластине?

*Совет.* Сила трения покоя не может превышать своего максимального значения, которое при решении школьных задач принимают равным силе трения скольжения.

239. Нитяной маятник длиной  $l_1 = 10$  см совершает колебания вдоль стены, в которую на расстоянии  $l_2 = 6,4$  см от точки подвеса вбит гвоздь (рис. 111). Чему равен период колебаний этого маятника?

240. Первый нитяной маятник совершает 20 колебаний в минуту, а второй — 30 колебаний в минуту. Длина нити третьего маятника равна разности длин нитей первого и второго маятников. Чему равна частота колебаний третьего маятника?

*Совет.* Запишите выражение для периода колебаний нитяного маятника для случаев, описанных в условии задачи. Решите полученную систему уравнений.

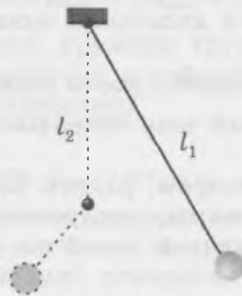
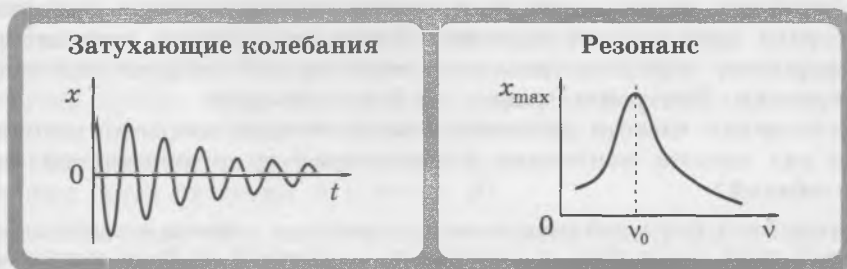


Рис. 111

# Энергия механических колебаний.

## Вынужденные колебания



### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

#### Энергия свободных колебаний

241. На рисунке 112 изображены различные положения колеблющегося груза.

- В каких положениях *кинетическая* энергия груза максимальна? минимальна?
- В каких положениях *потенциальная* энергия груза максимальна? минимальна?
- Сколько раз в течение одного периода колебаний кинетическая энергия груза достигает максимального значения? минимального?
- Сколько раз в течение одного периода колебаний потенциальная энергия груза достигает максимального значения? минимального?

242. На рисунке 113 изображены различные положения колеблющегося горизонтального пружинного маятника.

- В каком положении (положениях) *кинетическая энергия* груза максимальна? минимальна?
- В каких положениях *потенциальная энергия деформации пружины* максимальна? минимальна?
- Сколько раз в течение одного периода колебаний кинетическая энергия груза достигает максимального значения? минимального?
- Сколько раз в течение одного периода колебаний потенциальная энергия деформации пружины достигает максимального значения? минимального?

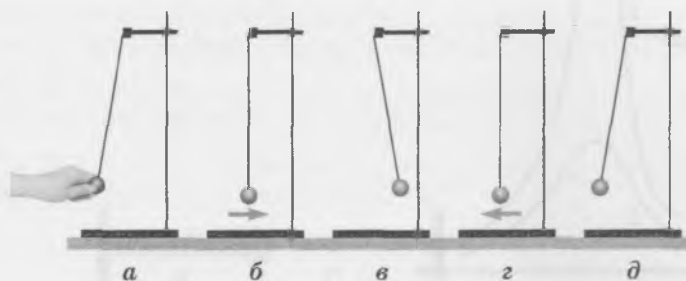


Рис. 112

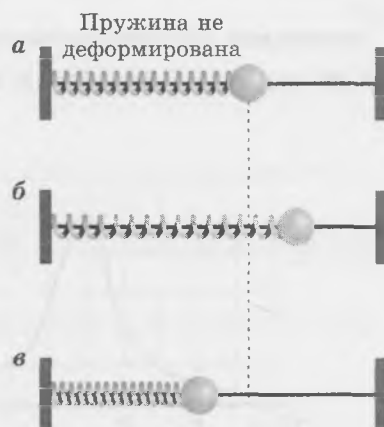


Рис. 113

243. Уравнение гармонических колебаний пружинного маятника имеет вид

$$x = x_{\max} \cos \omega t.$$

- Запишите формулы, выражающие зависимость потенциальной и кинетической энергии системы «груз + пружина» от времени. Постройте графики этих зависимостей.
- Запишите формулу, выражающую зависимость *полной* энергии системы «груз + пружина» от времени. Постройте график этой зависимости.
- Какова циклическая частота изменения кинетической энергии? потенциальной?
- Во сколько раз частота изменения кинетической и потенциальной энергии больше частоты колебаний?

*Совет.* а) Воспользуйтесь формулой зависимости скорости от времени и выражением циклической частоты колебаний через массу груза  $m$  и жёсткость пружины  $k$ . б) Воспользуйтесь основным тригонометрическим тождеством. в) Воспользуйтесь формулами  $\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$ ,  $\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$ .

244. Период колебаний пружинного маятника 0,8 с. В какие моменты времени в течение первого периода колебаний кинетическая энергия груза равна потенциальной энергии упругой деформации пружины? В начальный момент скорость груза равна нулю.

*Совет.* Из основного тригонометрического тождества следует, что в рассматриваемые моменты времени  $\sin^2 \omega t = \cos^2 \omega t = \frac{1}{2}$ . Отсюда следует, что  $\omega t = n\pi \pm \frac{\pi}{4}$ . Далее воспользуйтесь тем, что  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ .

245. При каком смещении пружинного маятника из положения равновесия кинетическая энергия груза равна потенциальной энергии упругой деформации пружины? Амплитуда колебаний равна  $x_{\max}$ .

### Резонанс

246. Собственная частота колебательной системы равна 2 Гц. При каком периоде колебаний внешней силы амплитуда вынужденных колебаний наибольшая?

247. На рисунке 114 приведены графики зависимости амплитуды вынужденных колебаний от частоты для двух аналогичных колебательных систем. В какой системе трение больше?

248. Объясните, как надо толкать застрявший на бездорожье автомобиль, чтобы сдвинуть его с места.

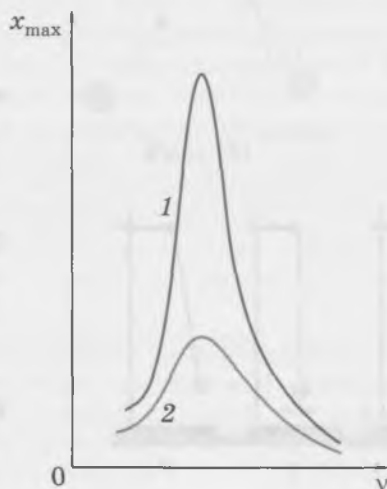


Рис. 114

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

249. На рисунке 115 изображён пружинный маятник, совершающий гармонические колебания между точками  $A$  и  $C$ . Точка  $B$  соответствует положению равновесия маятника. Как изменяются (увеличиваются, уменьшаются или остаются неизменными) кинетическая энергия груза, модуль скорости груза и потенциальная энергия пружины:

- при движении груза от точки  $B$  к точке  $C$ ;
- при движении груза от точки  $B$  к точке  $A$ ;
- при движении груза от точки  $A$  к точке  $B$ ?

250. Сколько раз в течение 16 с кинетическая энергия маятника достигнет наибольшего значения, если частота колебаний равна 0,5 Гц и в начальный момент груз маятника не находится в положении равновесия?

251. Один конец горизонтальной пружины жёсткостью 500 Н/м закреплён, а другой прикреплен к бруску массой 0,2 кг, находящемуся на гладкой горизонтальной поверхности. В начальный момент брусок сдвигают, сжимая пружину, и отпускают без толчка. Какова величина начальной деформации пружины, если максимальная скорость бруска при колебаниях равна 2 м/с?

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

252. Чему равна максимальная скорость груза массой 4 кг, совершающего колебания на пружине жёсткостью 400 Н/м, если амплитуда колебаний груза равна 10 см?

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

### Повышенный уровень

253. Уравнение гармонических колебаний пружинного маятника в единицах СИ имеет вид  $x = x_{\max} \cos \omega t$ . Период колебаний равен 4 с. Через какой минимальный промежуток времени после начального момента потенциальная энергия маятника вернётся к своему начальному значению?

*Совет.* Потенциальная энергия маятника достигает своего максимального значения дважды за период.

254. Уравнение гармонических колебаний пружинного маятника в единицах СИ имеет вид  $x = 0,2 \cos 4\pi t$ . Масса груза, прикрепленного к пружине, равна 0,5 кг.

- Запишите формулы, выражающие зависимость потенциальной и кинетической энергии колеблющейся системы от времени. Постройте графики этих зависимостей.
- Чему равна полная энергия колеблющейся системы? Постройте график зависимости полной энергии колеблющейся системы от времени.

*Совет.* а) Учтите, что  $v_x = x'$ . б) Воспользуйтесь основным тригонометрическим тождеством.

255. По графику зависимости амплитуды установившихся колебаний маятника от частоты вынуждающей силы (рис. 116) определите:

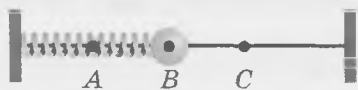


Рис. 115

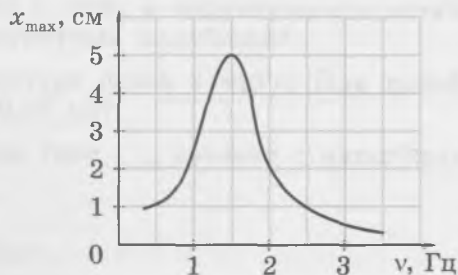


Рис. 116

- а) чему равна собственная частота колебаний маятника;  
 б) чему равно отношение максимальной скорости маятника при частоте 0,5 Гц к его максимальной скорости при частоте 2,5 Гц.

*Совет.* а) Амплитуда вынужденных колебаний максимальна, когда частота внешней силы равна частоте собственных колебаний системы.

256. На рисунке 117 приведён график зависимости амплитуды установившихся малых колебаний нитяного маятника от частоты вынуждающей силы. Чему равна длина нити?

*Совет.* Определите по графику собственную частоту колебаний.

### Высокий уровень

257. Горизонтальный пружинный маятник массой 100 г вывели из положения равновесия и отпустили. Через какой минимальный промежуток времени после этого момента потенциальная энергия пружины станет равна кинетической энергии груза, если жёсткость пружины равна 10 Н/м?

258. Небольшой пластилиновый шарик массой  $m$  падает с высоты  $h$  на чашу пружинных весов, прилипает к ней и начинает вместе с чашей совершать вертикальные гармонические колебания. Чему равна амплитуда возникших колебаний, если жёсткость пружины весов равна  $k$ ? Массой чаши можно пренебречь.

*Совет.* См. рисунок 118, где  $x_1$  — максимальная деформация пружины после падения шарика на чашу весов,  $x_0$  — деформация пружины, когда пружина и шарик находятся в равновесии. Воспользуйтесь теоремой об изменении кинетической энергии, законом Гука и третьим законом Ньютона.

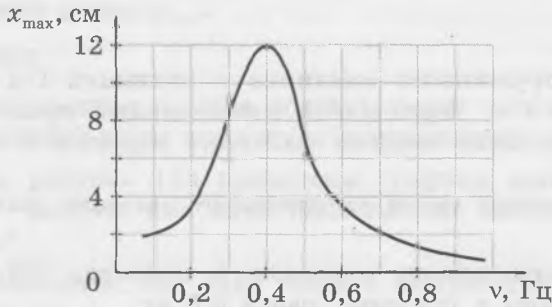


Рис. 117

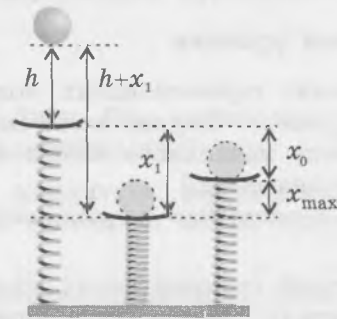


Рис. 118

# Колебательный контур

**Колебательный контур**

**Формула Томсона**

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

**Аналогия между электромагнитными и механическими величинами**

$q \leftrightarrow x$	$\frac{q^2}{2C} \leftrightarrow \frac{kx^2}{2}$
$i \leftrightarrow v$	
$L \leftrightarrow m$	$\frac{Li^2}{2} \leftrightarrow \frac{mv^2}{2}$
$\frac{1}{C} \leftrightarrow k$	

## ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Если в начальный момент конденсатор колебательного контура был заряжен, а тока в катушке не было, зависимость заряда конденсатора от времени имеет вид

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

где циклическая частота  $\omega$  связана с периодом колебаний  $T$  и их частотой  $\nu$  соотношениями

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

**259.** Используя то, что сила тока является производной по времени от заряда, докажите, что если зависимость заряда конденсатора колебательного контура от времени выражается написанной выше формулой, то зависимость силы тока от времени имеет вид

$$i = -i_{\max} \sin \omega t.$$

**260.** Как изменится период электромагнитных колебаний в контуре, если:

- а) увеличить индуктивность катушки в 2 раза;
- б) увеличить электроёмкость конденсатора в 4 раза?

**261.** Электроёмкость конденсатора контура равна 2 мкФ, а индуктивность катушки равна 2 мГн. Чему равны период и частота электромагнитных колебаний?

**262.** Индуктивность катушки колебательного контура равна 2 мкГн. При какой электроёмкости конденсатора период колебаний равен 0,25 мс?

**263.** Докажите, что максимальное значение силы тока  $i_{\max}$  связано с максимальным значением заряда  $q_{\max}$  соотношением

$$i_{\max} = \omega q_{\max}.$$

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что  $i = q'$ , и уравнением гармонических колебаний.

264. Заряд конденсатора колебательного контура достигает максимального значения  $q_{\max} = 3$  мкКл, а сила тока в катушке достигает максимального значения  $i_{\max} = 6$  мА. Электроёмкость конденсатора равна 50 мкФ.

- Чему равна циклическая частота колебаний?
- Чему равен период колебаний?
- Чему равна индуктивность катушки?

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ<sup>1)</sup>

### Базовый уровень

265. Увеличится или уменьшится период электромагнитных колебаний в контуре (рис. 119), если ключ  $K$  перевести из положения 1 в положение 2? из положения 1 в положение 3? Во сколько раз?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой Томсона.

266. Увеличится или уменьшится период электромагнитных колебаний в контуре (рис. 120), если ключ  $K$  перевести из положения 1 в положение 2? из положения 1 в положение 3? Во сколько раз?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой Томсона.

267. Чему равен период собственных колебаний колебательного контура, состоящего из конденсатора электроёмкостью 800 пФ и катушки индуктивностью 2 мкГн?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой Томсона.

268. Период колебаний колебательного контура равен 0,4 мкс. Чему равны частота колебаний контура, циклическая частота, а также индуктивность катушки, если электроёмкость конденсатора 500 пФ?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой Томсона и тем, что  $\omega = 2\pi\nu$ .

269. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,4 мГн и конденсатора электроёмкостью 20 нФ. Чему равно максимальное напряжение на обкладках конденсатора, если максимальное значение силы тока в катушке равно 30 мА?

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

270. В таблице представлены значения заряда одной из обкладок конденсатора колебательного контура в некоторые моменты времени. Чему равна амплитуда колебаний заряда конденсатора?

$t$ , мкс	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$q$ , нКл	2	1,4	0	-1,4	-2	-1,4	0	1,4	2

*Совет.* Используя таблицу, изобразите примерный график зависимости  $q(t)$ . По графику определите амплитуду колебаний заряда.

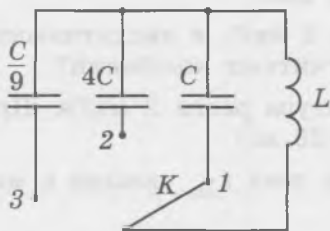


Рис. 119

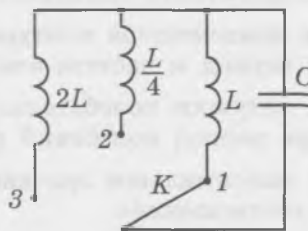


Рис. 120

<sup>1)</sup> При решении задач этого раздела считайте, что потерями энергии на излучение и нагревание можно пренебречь.

## Повышенный уровень

271. Период электромагнитных колебаний колебательного контура равен 8 мкс, максимальный заряд на обкладках конденсатора 6 мкКл. Чему равен модуль заряда конденсатора через 2 мкс после момента, когда заряд конденсатора был равен нулю?

*Совет.* Заряд конденсатора обращается в нуль дважды в течение одного периода колебаний.

272. Пространство между обкладками воздушного конденсатора, включённого в колебательный контур, заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 8. Как при этом изменился период электромагнитных колебаний?

*Совет.* Выясните, как при этом изменяется электроёмкость конденсатора, и воспользуйтесь формулой Томсона.

273. Индуктивность катушки колебательного контура равна 0,2 Гн, а электроёмкость конденсатора равна 15 мкФ. Чему равно амплитудное значение силы тока в контуре, если при напряжении на конденсаторе 2 В сила тока в катушке равна 20 мА?

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

274. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 3 Гн и конденсатора электроёмкостью 2 мкФ. Чему равен модуль заряда конденсатора в некоторый момент времени, если сила тока в катушке в этот же момент времени равна 2,4 мА, а максимальный заряд конденсатора равен 6 мкКл?

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

275. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L$  и конденсатора электроёмкостью  $C$ , заряженного в начальный момент до максимального напряжения  $U_{\max}$ . Чему равна сила тока в катушке в момент времени, когда напряжение на конденсаторе уменьшится вдвое по сравнению с начальным моментом?

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

276. Индуктивность катушки колебательного контура равна 0,2 мГн, а заряд конденсатора изменяется по закону  $q = 10^{-3} \cos(10^3 t)$  (в единицах СИ). Чему равна полная энергия колебательного контура?

*Совет.* Полная энергия колебательного контура равна сумме энергии электрического поля конденсатора и энергии магнитного поля катушки. Воспользуйтесь формулой Томсона и найдите максимальное значение заряда конденсатора.

## Высокий уровень

277. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 90 мГн и конденсатора электроёмкостью 4 мкФ. В начальный момент конденсатор заряжен, сила тока в катушке равна нулю. Через какой минимальный промежуток времени после начального момента заряд конденсатора уменьшится в 2 раза?

*Совет.* Запишите уравнение зависимости заряда от времени и воспользуйтесь формулой Томсона.

278. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 80 мГн и конденсатора электроёмкостью 2 мкФ. В начальный момент конденсатор заряжен, сила тока в катушке равна нулю. Через какой минимальный промежуток времени после начального момента энергия электрического поля в конденсаторе станет равной энергии магнитного поля в катушке?

*Совет.* Запишите уравнение зависимости напряжения на обкладках конденсатора от времени, воспользуйтесь законом сохранения энергии и формулой Томсона.

279. Конденсатору электроёмкостью 10 мкФ, соединённому с катушкой индуктивности, сообщили заряд 1 мКл, после чего в контуре возникли затухающие электромагнитные колебания. Чему равно количество теплоты, выделившееся в контуре к моменту, когда максимальное напряжение на конденсаторе уменьшилось в 4 раза по сравнению с начальным моментом? Примите, что затухание колебаний было обусловлено только выделением тепла.

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

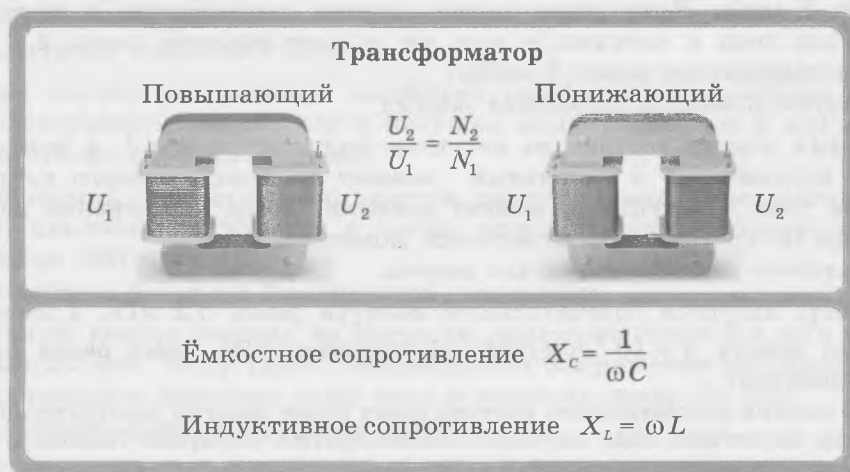
**280.** Плоскому конденсатору колебательного контура, соединённому с катушкой индуктивности, сообщили заряд  $0,2 \text{ мкКл}$ , после чего в контуре возникли затухающие электромагнитные колебания. Чему будет равно количество теплоты, выделившееся в контуре к моменту, когда колебания полностью прекратятся? Обкладки конденсатора имеют квадратную форму со стороной  $5 \text{ мм}$ , толщина диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 6$  равна  $1,5 \text{ мм}$ .

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии и формулой электроёмкости плоского конденсатора.

**281.** При увеличении электроёмкости конденсатора колебательного контура на  $0,3 \text{ мкФ}$  частота колебаний в нём уменьшилась в 2 раза. Чему равна электроёмкость конденсатора до и после её увеличения?

*Совет.* Воспользуйтесь выражением  $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ .

## Переменный электрический ток



### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

**282.** В однородном магнитном поле с индукцией  $2 \text{ Тл}$  равномерно вращается прямоугольная проволочная рамка со сторонами  $20 \text{ см}$  и  $5 \text{ см}$ . Рамка соединена с резистором. Общее сопротивление рамки и резистора равно  $20 \text{ Ом}$ . В начальный момент плоскость рамки перпендикулярна вектору магнитной индукции. Частота вращения рамки  $50 \text{ Гц}$ . Запишите формулу, выражающую зависимость силы тока в цепи от времени.

*Совет.* Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи. Поскольку по условию в начальный момент магнитный поток через рамку максимален, зависимость магнитного потока через рамку от времени выражается по закону *косинуса* (так как  $\cos \omega t = 1$  при  $t = 0$ ).

**283.** На рисунке 121 схематически изображена модель индукционного генератора переменного тока с вращающимся магнитом и неподвижной рамкой. Почему индукционный ток в неподвижной рамке возникает при вращении магнитов? Что играет в таком случае роль сторонних сил?

**284.** С какой частотой изменяется мощность тока в приборе, включённом в розетку домашней проводки?

*Совет.* Частота переменного тока в сети равна  $50 \text{ Гц}$ .

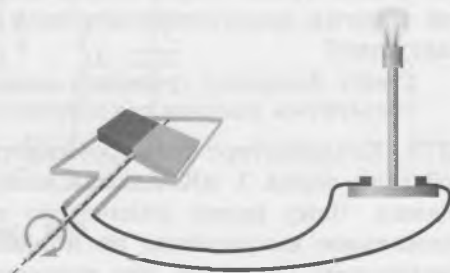


Рис. 121

285. Зависимость напряжения в сети от времени выражается формулой  $u = u_{\max} \cos \omega t$ . Через какой наименьший промежуток времени после  $t = 0$  выполняется равенство  $u = U$ ? Выразите этот промежуток времени через период колебаний напряжения  $T$ .

*Совет.* Найдите, при каком наименьшем значении  $t$  справедливо равенство  $\cos \omega t = \frac{1}{\sqrt{2}}$ .

286. Чему равна общая продолжительность промежутков времени, в течение которых модуль переменного напряжения  $u$  больше модуля действующего значения  $U$ , если время наблюдения  $t$  намного больше периода колебаний  $T$ ?

*Совет.* Достаточно рассмотреть четверть одного периода колебаний.

287. На каком из рисунков 122, а, б изображён повышающий трансформатор? Почему диаметр провода обмотки, содержащей меньше витков, больше?

288. Напряжение на первичной обмотке трансформатора, содержащей 110 витков, равно 220 В.

- Что покажет вольтметр, соединённый с проводом, обвитым вокруг одной из обмоток один раз? десять раз?
- Сколько витков во вторичной обмотке, если напряжение на ней равно 42 В?

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

289. Проволочная рамка вращается в однородном магнитном поле так, что в ней индуцируется ЭДС, зависимость которой от времени в единицах СИ выражается формулой  $e_i = 80 \cos(500\pi t)$ . Найдите значения амплитуды, циклической частоты, периода и частоты колебаний ЭДС.

*Совет.* Зависимость от времени ЭДС индукции в рамке выражается формулой  $e_i = \mathcal{E}_{\max} \cos \omega t$ .

290. В однородном магнитном поле с индукцией 20 мТл равномерно вращается прямоугольная рамка площадью 300 см<sup>2</sup>. Ось вращения перпендикулярна линиям магнитной индукции. Чему равно максимальное значение ЭДС, возникающей в рамке, если период вращения рамки равен 20 мс?

*Совет.* Зависимость от времени ЭДС индукции в рамке выражается формулой  $e_i = BS\omega \sin \omega t$ .

291. Рамка площадью 400 см<sup>2</sup> вращается с частотой 40 Гц в однородном магнитном поле с индукцией 0,2 Тл. Ось рамки перпендикулярна линиям магнитной индукции. Сколько витков в рамке, если амплитудное значение ЭДС равно 60,3 В?

*Совет.* Амплитудное значение ЭДС в рамке равно произведению амплитудного значения ЭДС в одном витке на число витков в рамке.

292. Чему равны амплитудное и действующее значения напряжения на клеммах генератора, если оно изменяется в единицах СИ по закону  $u = 311 \sin(314t)$ ?

*Совет.* Амплитудное значение напряжения связано с действующим значением формулой  $U = \frac{u_{\max}}{\sqrt{2}}$ .

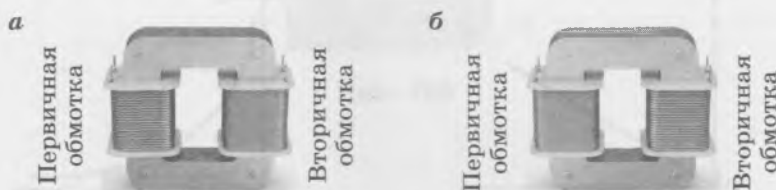


Рис. 122

293. Напряжение на концах первичной обмотки трансформатора равно 200 В, сила тока в ней 4 А. Чему равна сила тока во вторичной обмотке, если напряжение на её концах 50 В?

294. Первичная обмотка трансформатора содержит в 4 раза меньше витков, чем вторичная. Какое напряжение подаётся на первичную обмотку, если напряжение на вторичной обмотке равно 100 В?

### Повышенный уровень

295. В однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл равномерно вращается прямоугольная проволочная рамка со сторонами 10 см и 20 см, содержащая 40 витков. Частота вращения рамки равна 8 Гц, ось её вращения перпендикулярна линиям магнитной индукции. Рамка соединена с резистором сопротивлением 10 Ом. Сопротивлением рамки можно пренебречь.

- Чему равно амплитудное значение ЭДС индукции в одном витке рамки?
- Чему равно амплитудное значение ЭДС индукции в рамке?
- Чему равно амплитудное значение силы тока в цепи?
- Чему равно действующее значение силы тока в цепи?
- Какое количество теплоты выделится в цепи за 10 мин?

*Совет.* а) Воспользуйтесь законом электромагнитной индукции и учтите, что зависимость от времени пронизывающего рамку магнитного потока выражается формулой  $\Phi = BS\cos\omega t$ . в) Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи. д) Воспользуйтесь законом Джоуля — Ленца.

296. Зависимость ЭДС индукции от времени в единицах СИ выражается формулой  $e_i = 100\sin 50\pi t$ . Через какой минимальный промежуток времени после начального момента значение ЭДС будет равно 50 В?

297. Электродпечь сопротивлением 400 Ом подключена к генератору переменного тока. Чему равна амплитуда силы тока, если за 1 мин в ней выделяется количество теплоты, равное 108 кДж?

*Совет.* Воспользуйтесь законом Джоуля — Ленца и выражением, связывающим амплитудное значение силы тока с действующим значением.

298. Некоторый элемент электрической цепи подключили к выходу генератора переменного тока с изменяемой частотой гармонических колебаний при неизменной амплитуде колебаний напряжения. На рисунке 123 изображён график зависимости силы переменного тока в этом элементе от частоты колебаний. Какой это может быть элемент (резистор, катушка или конденсатор)?

*Совет.* Ёмкостное сопротивление обратно пропорционально частоте переменного тока, а индуктивное сопротивление прямо пропорционально частоте переменного тока. Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи.

299. Некоторый элемент электрической цепи подключили к выходу генератора переменного тока с изменяемой частотой гармонических колебаний при неизменной амплитуде колебаний напряжения. На рисунке 124 изображён график зависимости силы переменного тока в этом элементе от частоты колебаний. Какой это может быть элемент (резистор, катушка или конденсатор)?

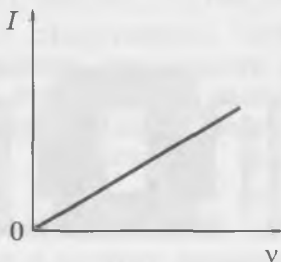


Рис. 123

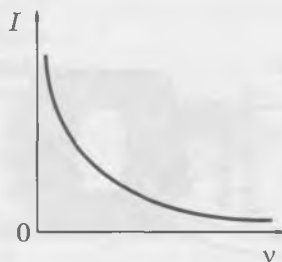


Рис. 124

300. В цепь переменного тока включена катушка с индуктивностью  $0,5$  Гн. Чему равно индуктивное сопротивление катушки, если частота переменного тока  $50$  Гц?

301. В цепь переменного тока с частотой  $50$  Гц включён конденсатор, ёмкость которого равна  $1$  мкФ. Чему равно ёмкостное сопротивление конденсатора?

302. Если первичную обмотку трансформатора включить в сеть переменного тока, то во вторичной обмотке возникнет напряжение  $30$  В. Если в ту же сеть переменного тока включить вторичную обмотку трансформатора, то в первичной обмотке возникнет напряжение  $120$  В. Чему равно отношение числа витков в первичной обмотке трансформатора к числу витков во вторичной обмотке?

*Совет.* Запишите выражение, связывающее напряжение на концах обмоток с числом витков в них для обоих описанных в условии задачи случаев. Решите полученную систему уравнений.

303. Напряжение на первичной обмотке трансформатора равно  $220$  В, напряжение на вторичной обмотке  $14$  В. Чему равен КПД трансформатора, если сила тока в его первичной обмотке равна  $0,8$  А, а во вторичной обмотке  $12$  А?

### Высокий уровень

304. Почему трансформатор нельзя включать в цепь постоянного тока? Объясните свой ответ.

*Совет.* Индукционный ток в контуре возникает только при *изменении* магнитного потока, пронизывающего этот контур. Учтите, что «обычное» сопротивление катушек трансформатора мало.

305. На рисунке 125 схематически изображён школьный разборный трансформатор, включённый в сеть переменного тока. Ко вторичной обмотке трансформатора подключают нагрузку, в результате в первичной обмотке незначительно возрастает сила тока. Как изменится сила тока в каждой обмотке трансформатора, если удалить верхнюю часть сердечника?

*Совет.* Вследствие удаления части сердечника магнитное поле в обеих катушках уменьшится. Вследствие этого уменьшатся ЭДС индукции и самоиндукции.

306. Трансформатор понижает напряжение с  $220$  В до  $42$  В. Через окно замкнутого сердечника пропущен провод, концы которого соединены с вольтметром, показывающим напряжение  $0,5$  В. Сколько витков в каждой обмотке трансформатора?

*Совет.* Провод с подключённым к нему вольтметром можно рассматривать как дополнительную обмотку трансформатора, содержащую один виток. Этот виток пронизывается таким же магнитным потоком, как и любой из витков.

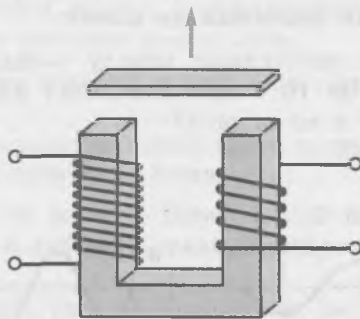
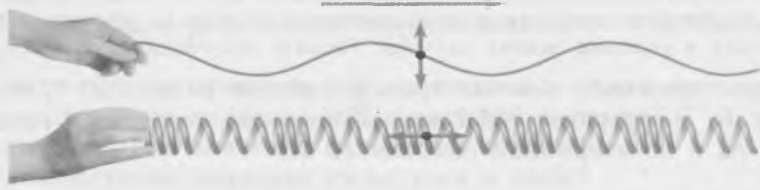


Рис. 125

# ВОЛНЫ

## Механические волны. Звук

**Поперечные и продольные волны**  
Направление распространения волны



$T = \frac{1}{\nu}$        $v = \lambda \nu$        $\nu = \frac{\lambda}{T}$

Высота звука определяется частотой звуковой волны.  
Громкость звука определяется амплитудой звуковой волны

### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 307.** За 12 с мимо стоящего на берегу реки человека прошло шесть гребней волны. Чему равны период и частота волны?
- 308.** Рассмотрите волны, схематически изображённые в одном масштабе на рисунке 126. Какие волны имеют одинаковую длину волны? Амплитуда каких волн одинакова?
- 309.** Нарисуйте в тетради схематическое изображение двух волн, для которых длины волн отличаются в 2 раза. Амплитуды волн значения не имеют.
- 310.** Нарисуйте в тетради схематическое изображение двух волн, для которых амплитуды отличаются в 2 раза. Длины волн значения не имеют.
- 311.** По морю движутся волны, расстояние между соседними гребнями которых равно 2 м. На волнах колеблется мяч. За 10 с мяч совершил пять колебаний.
- Чему равны частота волны и её период?
  - Чему равна скорость волны?

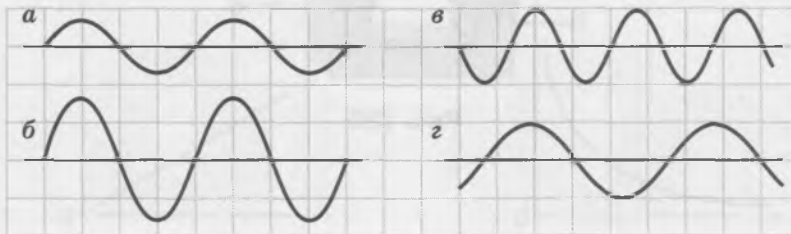


Рис. 126

Когда звуковая волна переходит из одной среды в другую — например, из воздуха в воду или обратно, — *неизменной* остаётся частота волны, равная частоте колебаний источника звука. А вот *длина волны* при переходе из одной среды в другую *изменяется* вследствие изменения скорости волны.

**312.** Частота колебаний, соответствующая ноте «ля», равна 440 Гц. Чему равна длина волны ноты «ля»:

- а) в воздухе;
- б) в воде?

**313.** Человеческое ухо наиболее чувствительно к звуку частотой от 3 кГц до 5 кГц. Какому диапазону длин волн в воздухе соответствуют эти частоты?

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

**314.** Поплавок поднимался на волне 8 раз за 20 с. Чему равен период волны?

*Совет.* За промежуток времени, равный периоду волны, через данную точку пространства проходит один гребень волны.

**315.** На рисунке 127 схематически изображена продольная волна. Какой из отрезков соответствует длине волн?

**316.** Частота колебаний источника звука равна 250 Гц. Чему равна длина звуковой волны, создаваемой этим источником в воздухе?

**317.** Саксофон издаёт звуки в диапазоне от 80 Гц до 8 кГц. Чему равно отношение наибольшей длины волны этих звуков к наименьшей?

**318.** Частота звуковой волны в воздухе равна 250 Гц. Сколько длин волн уместится в длине комнаты, равной 6,6 м?

**319.** Чему равно кратчайшее расстояние от охотника до отвесной скалы, если эхо от своего выстрела охотник услышал через 4 с после выстрела?

*Совет.* Расстояние от охотника до скалы звук от выстрела проходит дважды.

**320.** Чему равна глубина моря в месте нахождения корабля, если сигнал, посланный эхолотом, принимается им через 4 с?

### Повышенный уровень

**321.** Звуковая волна частотой 750 Гц распространяется в воде. Чему равно расстояние между двумя ближайшими точками волны, колеблющимися в противофазе?

*Совет.* Искомое расстояние равно половине длины волны.

**322.** Звуковая волна переходит из воздуха в воду. Во сколько раз изменяется длина волны при таком переходе?

*Совет.* Когда звуковая волна переходит из одной среды в другую, *неизменной* остаётся частота волны, равная частоте колебаний источника звука.

**323.** Рабочий ударяет молотком по рельсу. Через какой промежуток времени после удара услышит звук этого удара другой рабочий, находящийся у того же рельса на расстоянии 500 м от первого?

*Совет.* Учтите, что звуковая волна распространяется от первого рабочего ко второму по стали (в рельсе) и по воздуху.

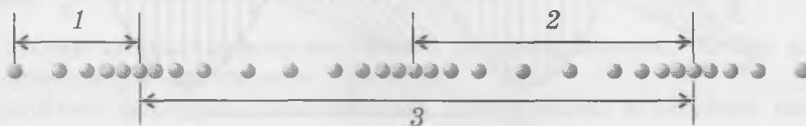


Рис. 127

324. Теплоход плывёт вдоль берега. Волна от теплохода доходит до берега за 3 мин. Чему равно расстояние от теплохода до берега, если длина волны равна 1,2 м, а частота волны равна 0,5 Гц?

*Совет.* Найдите скорость волны.

### Высокий уровень

325. Из ружья выстрелили вертикально вверх. Пуля достигла высоты 660 м одновременно со звуком выстрела. Какой максимальной высоты достигла пуля? Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

*Совет.* Рассмотрите равномерное движение звуковой волны и движение пули как тела, брошенного вертикально вверх.

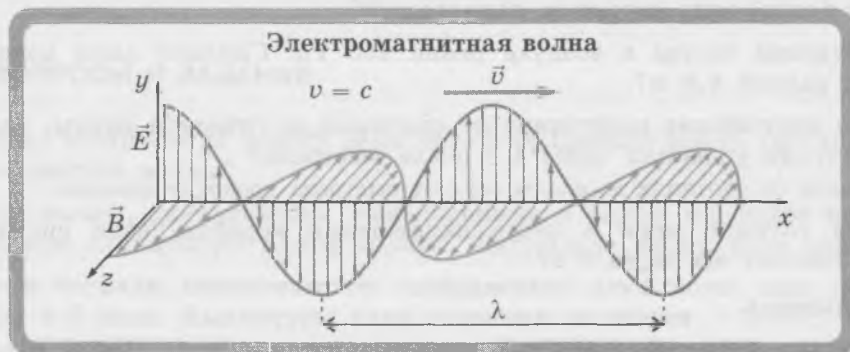
326. Первый рабочий ударил молотом по рельсу. При этом второй рабочий, находящийся вблизи того же прямого рельса, услышал два звука от удара с интервалом 0,5 с. Чему равно расстояние между рабочими?

*Совет.* Звук удара дошёл до второго рабочего сначала по рельсу, а потом — по воздуху.

327. Звук от удара при падении камня в шахту был услышан через 6 с после начала падения. Какова глубина шахты и сколько времени длилось падение камня? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

328. Чему равна частота звуковой волны, если при её переходе из воздуха в воду длина волны увеличилась на 1,17 м?

## Электромагнитные волны



### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

329. На рисунке 128 схематически изображена электромагнитная волна, распространяющаяся вдоль оси  $x$ . Как направлены вектор напряжённости электрического поля и вектор магнитной индукции относительно направления распространения волны?

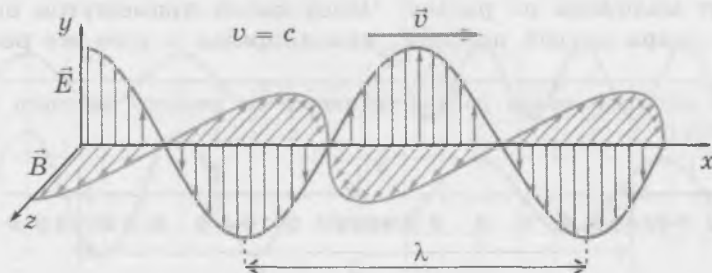


Рис. 128

**330.** Как направлены вектор напряжённости электрического поля и вектор магнитной индукции друг относительно друга?

**331.** Докажите, что скорость света  $c$ , длина электромагнитной волны  $\lambda$  и её частота  $\nu$  связаны соотношением

$$c = \lambda\nu.$$

**332.** Диапазон длин волн видимого света в вакууме и в воздухе — от  $3,8 \cdot 10^{-7}$  м (фиолетовый цвет) до  $7,6 \cdot 10^{-7}$  м (красный цвет). Каков диапазон частот видимого света?

**333.** В каком диапазоне изменяется частота

- а) радиоволн;
- б) ультрафиолетового излучения;
- в) рентгеновского излучения?

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

**334.** Какой (какие) из перечисленных объектов, согласно классической электродинамике, излучает электромагнитные волны?

- а) Проводник, по которому протекает переменный ток.
- б) Проводник, по которому протекает постоянный ток.
- в) Заряд, движущийся с постоянной скоростью.
- г) Электрон, движущийся в электрическом поле.
- д) Покоящийся электромагнит, подключённый к источнику постоянного тока.
- е) Заряд, движущийся с ускорением.
- ж) Постоянный магнит, лежащий в равномерно движущемся автомобиле.
- з) Ион, движущийся в магнитном поле.

**335.** Найдите шкалу электромагнитных волн в каком-либо учебнике или в Интернете. Какие волны имеют минимальную частоту? минимальную длину волны?

**336.** К какому диапазону относятся электромагнитные волны с частотой  $3 \cdot 10^{13}$  Гц?

### Повышенный уровень

**337.** Электромагнитная волна распространяется вдоль оси  $z$  так, что вектор напряжённости электрического поля направлен параллельно оси  $y$ . Вдоль какой оси направлен вектор магнитной индукции этой волны?

*Совет.* Электромагнитная волна является поперечной волной.

**338.** После увеличения частоты электромагнитной волны в 3 раза длина волны уменьшилась на 2 см.

- а) Какова была первоначальная частота волны?
- б) К каким диапазонам электромагнитных волн относятся начальная и конечная волны?

*Совет.* Скорость электромагнитной волны в данном случае не изменяется.

## Передача информации с помощью электромагнитных волн

### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

#### Базовый уровень

**339.** На какую длину волны нужно настроить радиоприёмник, чтобы слушать передачи радиостанции, работающей на частоте 120 МГц?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой, связывающей длину волны с частотой колебаний источника волн. Учтите, что электромагнитная волна распространяется со скоростью, равной скорости света в вакууме.

340. Диапазон частот, на которых работают сотовые телефоны, составляет от 900 МГц до 1800 МГц. Каким длинам волн соответствуют эти частоты?

341. Какие частоты соответствуют длинам волн от 1,5 м до 6 м, на которых передаётся видеоизображение?

### Повышенный уровень

342. Мобильная связь в автомобиле может пропасть, когда автомобиль проезжает под эстакадой или мостом, в которых есть металлические конструкции. Объясните, почему это происходит.

343. Сколько колебаний происходит в колебательном контуре радиопередатчика за промежуток времени, равный одному периоду звуковых колебаний с частотой 5 кГц, если длина несущей волны передатчика равна 60 м?

344. Индуктивность колебательного контура при настройке радиопередатчика уменьшили. Как при этом изменились: период колебаний тока в контуре, частота излучаемых волн и длина волны излучения?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой Томсона, выражением, связывающим частоту и период колебаний, а также формулой для расчёта длины волны.

345. Радиоприёмник настроен на длину волны 292 м. Индуктивность катушки колебательного контура радиоприёмника равна 2 мГн. Чему равна ёмкость конденсатора контура?

346. Радиоприёмник настроен на частоту 6 МГц. Как надо изменить ёмкость конденсатора колебательного контура радиоприёмника, чтобы он принимал радиоволны с длиной волны 150 м?

347. На какую длину волны настроен колебательный контур, если зависимость заряда от времени в единицах СИ на обкладках конденсатора выражается формулой  $q = 5 \cdot 10^{-6} \cos(6,28 \cdot 10^7 t)$ ?

*Совет.* Из уравнения зависимости  $q(t)$  найдите период колебаний.

348. Индуктивность катушки колебательного контура радиоприёмника равна 3 мкГн.

а) В каких пределах должна изменяться ёмкость конденсатора контура, чтобы приёмник мог принимать радиоволны с длиной волны от 23 м до 73 м?

б) Каков при этом диапазон частот принимаемых радиоволн?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой Томсона для периода электромагнитных колебаний и формулой, связывающей длину волны с частотой волны и скоростью радиоволны (скоростью света).

### Высокий уровень

349. Приёмник настроен на длину волны 25 м. Как изменится длина принимаемых волн, если заполнить воздушный конденсатор контура диэлектриком — увеличится или уменьшится? Насколько изменится длина принимаемой волны, если диэлектрическая проницаемость диэлектрика равна 6?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой Томсона и формулой для ёмкости плоского конденсатора.

350. Колебательный контур приёмника содержит две сменные катушки, причём  $L_2 > L_1$ . Ёмкость колебательного контура радиоприёмника можно увеличивать от  $C_1$  до  $C_2$ .

а) Чему равны наименьшая и наибольшая частоты радиоволн, которые может принимать приёмник?

б) Чему должно быть равно значение  $C_2$ , чтобы диапазоны принимаемых волн не перекрывались, если  $C_1 = 5$  пФ,  $L_1 = 10$  мкГн, а  $L_2 = 40$  мкГн?

*Совет.* б) Учтите, что наибольшая частота в «нижнем» диапазоне частот должна быть меньше наименьшей частоты в «верхнем» диапазоне частот.

351. Радиоприёмник содержит колебательный контур, ёмкость которого можно изменять от 56 пФ до 670 пФ. Наименьшая длина волны, которую может принимать приёмник, равна 40 м.

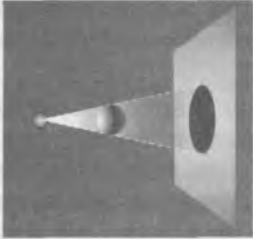
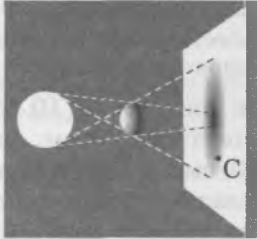
- Чему равна индуктивность катушки контура?
- На какую максимальную длину волны можно настроить приёмник?
- Чему будут равны наименьшая и наибольшая частоты принимаемых волн?


## ОПТИКА

### ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

#### Законы геометрической оптики


**Тень и полутень**



**Закон отражения света**

$$\beta = \alpha$$



**Закон преломления света**

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n$$

**Полное внутреннее отражение**

Предельный угол полного отражения

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}$$

## ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

### Прямолинейное распространение света. Тень и полутень

352. В каких случаях ход лучей света можно видеть со стороны?

353. Как быстро проверить прямолинейность линейки?

*Совет.* Посмотреть вдоль линейки.

354. Вертикальный стержень длиной  $l$ , находящийся на расстоянии  $d$  от вертикального экрана, освещён точечным источником света. Источник света и середина стержня находятся на одном перпендикуляре к экрану. Длина тени на экране равна  $2l$ . Ответьте на следующие вопросы, выполнив в тетради необходимые геометрические построения.

- Чему равно расстояние от источника света до экрана?
- Как будет изменяться длина тени, если стержень приближать к экрану при неподвижных источнике и экране?
- Как будет изменяться длина тени, если экран удалять от стержня при неподвижных источнике и стержне?
- Как будет изменяться длина тени, если источник удалять от стержня при неподвижных экране и стержне?

355. Плоскость непрозрачного диска параллельна экрану. Расстояние от диска до экрана 20 см. Диск освещён точечным источником света. Тень от диска имеет форму круга, площадь которого в 9 раз больше площади диска. Где находится источник света?

*Совет.* Сделайте вспомогательный рисунок. Воспользуйтесь подобием треугольников и тем, что площадь круга пропорциональна квадрату его радиуса.

356. Непрозрачный диск диаметром 10 см расположен параллельно экрану. Он освещается светящимся диском диаметром 20 см, расположенным тоже параллельно экрану. Расстояние между дисками 50 см, а их центры находятся на одном перпендикуляре к экрану.

- На каком минимальном расстоянии от непрозрачного диска надо поместить экран, чтобы на нём была только полутень?
- Чему при этом равен диаметр полутени на экране?

*Совет.* а) Воспользуйтесь подобием треугольников.

357. Начертите в тетради схему, поясняющую причину полного и частного солнечного затмения. Объясните, почему при этом Солнце надо рассматривать как протяжённый источник света.

*Совет.* Точки поверхности Земли, где наблюдается полное солнечное затмение, находятся в области полной тени от Луны, а точки поверхности, где наблюдается частное солнечное затмение, находятся в области полутени.

### Законы отражения света

Обратите внимание: углы падения и отражения света отсчитывают от *перпендикуляра* к зеркалу, проведённого через точку падения луча.

358. Каковы углы падения и отражения света в опыте, изображённом на рисунке 129?



Рис. 129

359. Могут ли падающий и отражённый лучи идти вдоль одной прямой? Подтвердите ваш ответ примером.

360. При каком угле отражения падающий и отражённый лучи перпендикулярны друг другу?

361. Угол падения увеличивают на  $15^\circ$ . Как при этом изменяется угол между падающим и отражённым лучами?

362. Чему равен угол между отражённым лучом и *зеркалом*, если угол падения равен  $30^\circ$ ?

363. Мальчик освещает солнечным зайчиком дно глубокого колодца в момент, когда угол между солнечными лучами и горизонтом равен  $50^\circ$ . Под каким углом к *горизонту* расположена плоскость зеркала? Сделайте пояснительный рисунок.

*Совет.* Докажите сначала с помощью геометрического построения, что искомый угол равен углу падения света на зеркало.

### Изображение в зеркале

364. На рисунке 130 схематически изображён ход лучей, исходящих из точечного источника  $S$  и видимых наблюдателем после отражения от зеркала.

- Объясните, почему смотрящий в зеркало человек видит лучи, исходящие из точки  $S_1$ , которая является *изображением* точечного источника  $S$ .
- Сравните положения точечного источника  $S$  и его изображения  $S_1$ : что у них общего и чем они отличаются?

Заметим: в точке  $S_1$ , которая является изображением точечного источника в зеркале, пересекаются не сами лучи света, а их *продолжения*.

365. На рисунке 131 изображена стрелка  $AB$ , расположенная перед зеркалом (зеркало мы видим сбоку). Перенесите рисунок в тетрадь.

- Постройте изображения точек  $A$  и  $B$ .
- Постройте изображение стрелки  $AB$ .
- Изменится ли, и если да, то как, изображение стрелки, если оставить только часть зеркала?

*Совет.* в) Изображение формируется любой частью зеркала. Для построения изображения в небольшом зеркале его надо мысленно увеличить (оставив в той же плоскости).

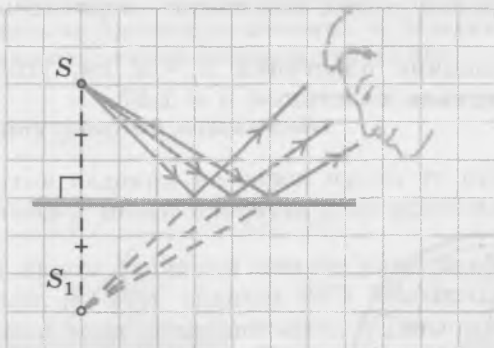


Рис. 130

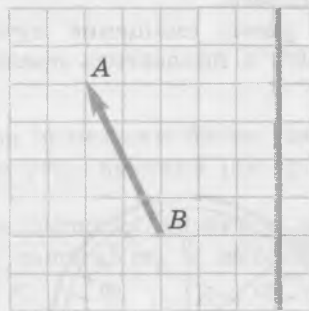


Рис. 131

### Диффузное отражение

366. Почему при диффузном отражении не возникает изображений предметов?

367. Приведите примеры очень удалённых предметов, которые мы видим благодаря диффузному отражению.

368. Почему глядя на зеркало, мы видим не само зеркало, а изображения предметов в нём?

### Законы преломления света

369. Чем *отличаются* опыты, изображённые на рисунках 132, а и б? Что у них *общего*?

370. Обозначим  $n_c$  показатель преломления стекла. Для какого из двух изображённых на рисунке 132 опытов справедливо соотношение  $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_c$ ? Запишите, чему равно отношение синусов углов падения и преломления для другого опыта.

Показатель преломления стекла различен для разных его сортов; для расчётов при решении задач используйте значение, приведённое в справочных данных.

371. При каком угле падения угол преломления равен углу падения?

372. Почему в опыте по преломлению света, изображённом на рисунках 132, а, б используется стеклянный *полуцилиндр*?

373. Определите, чему равен показатель преломления того сорта стекла, из которого изготовлен полуцилиндр в опыте, изображённом на рисунке 132, а.

*Совет.* Определите по рисунку углы падения и преломления, а затем воспользуйтесь законом преломления света.

374. Чему равен угол преломления, когда свет падает в воду из воздуха и угол падения равен  $60^\circ$ ?

375. Луч света от фонарика, находящегося на дне бассейна, падает на поверхность воды. Чему равен угол преломления, если угол падения равен  $30^\circ$ ?

376. Каков *максимально возможный* угол преломления при падении света из воздуха в воду?

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что максимально возможный угол падения луча равен  $90^\circ$ .

377. На рисунке 133 изображён ход луча при прохождении сквозь *плоскопараллельную* прозрачную пластинку.

- Перенесите рисунок в тетрадь и обозначьте на нём все углы падения и преломления.
- Объясните, почему в результате прохождения сквозь пластинку *направление луча не изменилось*.
- Чему равно смещение луча  $d$ , если толщина пластинки  $h = 2$  см, угол падения  $\alpha = 60^\circ$ , а показатель преломления материала пластинки  $n = 1,5$ ?

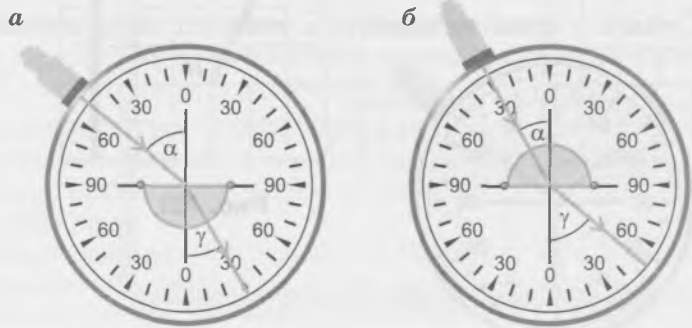


Рис. 132

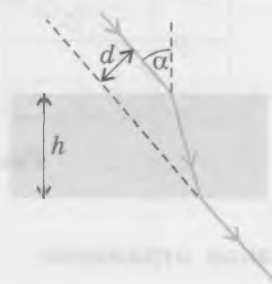


Рис. 133

**378.** Изобразите схематически в тетради прохождение луча света через *вертикальную* границу раздела двух прозрачных сред в случаях, когда:

- справа от границы раздела оптически более плотная среда;
- справа от границы раздела оптически менее плотная среда.

**379.** На рисунке 134 изображён ход луча при прохождении сквозь стеклянную призму. Обратите внимание: луч света отклоняется к основанию треугольника в сечении призмы.

- Перенесите рисунок в тетрадь и укажите на нём углы падения и преломления при прохождении через границу раздела «воздух — стекло» и «стекло — воздух».
- При прохождении через стеклянную призму, в основании которой лежит равнобедренный треугольник, луч света повернулся на  $60^\circ$ . При этом внутри призмы луч шёл параллельно нижней стороне треугольника в сечении призмы. Чему равен показатель преломления стекла, из которого сделана данная призма?

*Совет.* б) Докажите, что в данном случае угол преломления на границе «воздух — стекло» равен  $30^\circ$ . Найдите угол падения, учитывая то, что при прохождении через призму луч света повернулся на  $60^\circ$ .

**380.** Посреди большого бассейна глубиной 2 м установлен вертикальный стержень высотой 3 м. Солнечные лучи направлены под углом  $30^\circ$  к *горизонту*.

- Сделайте в тетради чертёж и постройте на нём ход луча света, прошедшего очень близко от вершины стержня и упавшего на поверхность воды. Укажите угол падения этого луча на поверхность воды.
- Найдите длину тени стержня на поверхности воды.
- Чему равен угол преломления солнечных лучей?
- Чему равна длина тени стержня на дне бассейна?

*Совет.* а) Обратите внимание на то, что в условии задан угол между солнечными лучами и *горизонтом*.

**381.** На поверхности воды посреди большого озера плавает тонкий деревянный диск радиусом 20 см. Небо полностью затянуто облаками.

- Каковы в данном случае углы падения лучей света на поверхность воды?
- Сделайте в тетради чертёж, поясняющий, почему под диском образуется тень.
- Чему равен в данном случае максимально возможный угол преломления?
- Чему равна максимальная глубина тени под диском?

*Совет.* а) Учтите, что в пасмурный день источником света является всё небо. А поскольку по условию озеро большое, можно считать, что лучи света падают на поверхность воды под всевозможными углами. б) Учтите, что при переходе в оптически более плотную среду угол преломления не может превышать определённого значения. в) Максимальный угол преломления будет при максимальном угле падения, равном в данном случае  $90^\circ$ .

## Полное внутреннее отражение

Если угол падения не равен нулю, то при переходе из оптически более плотной среды в оптически менее плотную угол преломления больше угла падения (см. рис. 132, б).

**382.** При каком значении синуса угла падения угол преломления является *максимально возможным*, то есть равным  $90^\circ$ ? Обозначьте этот угол падения  $\alpha_0$  и выразите значение синуса этого угла через показатель преломления стекла  $n_c$ .

*Совет.* Воспользуйтесь законом преломления света.

**383.** Чему равен предельный угол полного отражения для луча, падающего из воды на границу раздела «вода — воздух»?

*Совет.* В данном случае  $\sin \alpha_0 = \frac{1}{n_{\text{в}}}$ , где  $n_{\text{в}}$  — показатель преломления воды.



Рис. 134

**384.** На рисунках 135, *а*, *б* схематически изображён ход двух лучей, падающих на боковую грань прозрачных призм, в основании которых — равнобедренный прямоугольный треугольник.

- а) В каком случае (случаях) имеет место полное внутреннее отражение света от одной из граней призмы?  
б) Чему равно минимальное значение показателя преломления вещества, из которого сделана первая призма?

*Совет.* б) Воспользуйтесь тем, что угол падения луча света при полном внутреннем отражении равен в данном случае  $45^\circ$ .

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

**385.** Чему равен угол между отражённым лучом и *поверхностью* зеркала, если угол падения луча на зеркало равен  $30^\circ$ ?

*Совет.* Углами падения или отражения называют углы между падающим или отражённым лучом и *перпендикуляром* к зеркалу.

**386.** В зеркале получено изображение предмета *АВ*. Зеркало перемещают в точку, в которой ранее находилось изображение этого предмета в зеркале, причём предмет остаётся на прежнем месте. Во сколько раз при этом увеличивается расстояние между предметом и его изображением в зеркале?

**387.** Зеркало приближают к предмету со скоростью  $0,5$  м/с. С какой скоростью движется изображение предмета в зеркале?

*Совет.* Учтите, что расстояние от изображения предмета до зеркала равно расстоянию от предмета до зеркала.

**388.** Луч света падает из воды на поверхность стекла под углом  $45^\circ$ .

- а) Чему равен синус угла преломления?  
б) Чему равен угол преломления?

*Совет.* Воспользуйтесь законом преломления света.

**389.** Луч света падает из воздуха в жидкость, показатель преломления которой равен  $1,4$ . Чему равен синус угла падения, если луч света распространяется в жидкости под углом  $60^\circ$  к её *поверхности*? Чему равен угол падения?

*Совет.* Определите сначала угол преломления.

**390.** Луч света переходит из стекла в воду. Угол падения луча света равен  $45^\circ$ , а угол преломления —  $60^\circ$ . Чему равен показатель преломления данного сорта стекла?

**391.** Предельный угол полного отражения на границе «жидкость — воздух» равен  $47,3^\circ$ . Какая это может быть жидкость?

### Повышенный уровень

**392.** Точечный источник света расположен на высоте  $1,2$  м над столом. Между источником света и столом располагают горизонтально картонный диск диаметром  $20$  см. Чему равен диаметр тени от диска, если источник света, центр диска и центр тени от диска лежат на одном перпендикуляре к столу, причём расстояние от источника до диска равно  $30$  см?



Рис. 135

**393.** Светящийся диск диаметром 2 м прикреплен к потолку на высоте 4 м от пола. Не-прозрачный диск диаметром 2 м расположен горизонтально под светящимся диском на высоте 2 м от пола так, что центры дисков лежат на одной вертикали. Чему равны площадь полной тени и площадь полутени на полу?

*Совет.* Учтите, что полутень имеет форму кольца.

**394.** Недалеко от укрепленного на столбе фонаря в землю вбит вертикальный шест, выступающий над землей на 1,2 м. При увеличении расстояния от фонарного столба до шеста на 1,5 м длина тени шеста увеличивается на 50 см. На какой высоте находится фонарь? Сделайте пояснительный рисунок.

*Совет.* Воспользуйтесь подобием двух треугольников. Вершины первого — фонарь и верхние точки шеста в двух положениях. Вершины второго — фонарь и концы теней от шеста в двух положениях.

**395.** Игорь хочет показать младшему братику в зоопарке фокус: расположить маленькое плоское зеркальце так, чтобы братик увидел в нём изображение всего слона. Как Игорю это сделать? Сможет ли братик в этом зеркальце увидеть *своё* изображение целиком? Поясните свои ответы рисунками.

*Совет.* Надо держать зеркало достаточно близко к глазу.

**396.** На одно из двух зеркал, перпендикулярных друг другу, падает луч света, перпендикулярный линии пересечения зеркал, и отражается от обоих зеркал. Постройте ход луча и найдите, как изменится направление луча после отражения от обоих зеркал.

*Совет.* Докажите, что сумма углов падения луча на зеркала равна  $90^\circ$ .

**397.** Исходящий от солнца луч после преломления в воде идёт под углом  $60^\circ$  к поверхности воды. Под каким углом к горизонту направлены солнечные лучи?

**398.** Луч света падает на поверхность стекла под углом  $60^\circ$ . Под каким углом должен упасть этот луч на поверхность воды, чтобы углы преломления в стекле и в воде были равными?

**399.** На поверхности жидкости с показателем преломления 1,6 лежит прозрачная плоскопараллельная пластинка с показателем преломления 1,4. На пластинку падает сверху луч света под углом  $30^\circ$ . Чему равен угол преломления луча в жидкости?

*Совет.* Дважды воспользуйтесь законом преломления света. В условии есть лишнее данное.

**400.** Плоскопараллельную стеклянную пластинку с показателем преломления 1,5 положили на плоскопараллельную стеклянную пластинку с показателем преломления 1,6. На верхнюю пластинку падает луч света под углом  $50^\circ$ . Чему равен угол преломления света при выходе из нижней пластинки?

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что в результате прохождения луча света через плоскопараллельную стеклянную пластинку направление луча не изменяется.

## Высокий уровень

**401.** При переходе луча света из воздуха в стекло угол между лучом и перпендикуляром к поверхности стекла уменьшился вдвое. Чему равен угол падения?

**402.** Луч света переходит из воздуха в некоторую жидкость. При этом луч частично отражается и частично преломляется. Чему равен показатель преломления жидкости, если угол падения равен  $60^\circ$ , а отражённый и преломлённый лучи перпендикулярны друг другу?

*Совет.* Докажите, что сумма углов падения и преломления равна  $90^\circ$ .

**403.** Предельный угол полного отражения при переходе света из стекла в некоторое прозрачное вещество равен  $38,7^\circ$ . Какое это может быть вещество?

**404.** Если толчёное стекло залить водой, оно становится почти невидимым. Объясните наблюдаемое явление.

405. На поверхности озера плавает куб с длиной ребра 10 см, как показано на рисунке 136. Небо обложено облаками. Плотность куба  $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$ .

- а) Чему равна глубина погружения куба?
- б) Каковы форма и размеры тени от куба в воде?
- в) Объясните, почему нельзя увидеть тень от куба, глядя сверху. Сделайте пояснительный рисунок.



Рис. 136

*Совет.* б) Найдите максимально возможный угол преломления в воде. в) Учтите явление полного внутреннего отражения лучей света при падении на поверхность воды снизу.

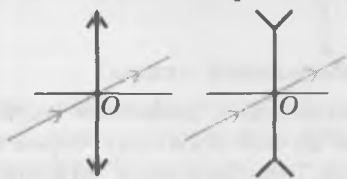
406. На границе раздела «вода — воздух» происходит полное внутреннее отражение некоторого луча света, направленного из воды вверх под углом к поверхности воды. Поверх воды наливают слой прозрачного масла с показателем преломления, отличающимся от показателя преломления воды. Сможет ли теперь тот же луч света выйти в воздух? Сделайте пояснительный рисунок.

*Совет.* Докажите, что луч света, идущий из воды под углом, равным предельному углу полного внутреннего отражения на границе «вода — воздух», после преломления на границе «вода — масло» будет падать на верхнюю поверхность слоя масла под углом, равным предельному углу полного внутреннего отражения на границе «масло — воздух».

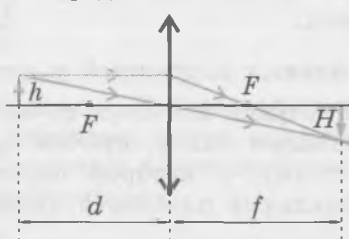
407. Юноша стоит на горизонтальном дне водоёма глубиной 15 м. На каком минимальном расстоянии от ступней юноши находится на дне реки камень, изображение которого он может увидеть отражённым от поверхности воды? Примите, что глаза юноши находятся на высоте 1,7 м от его подошв.

# Линзы. Построение изображений в линзах

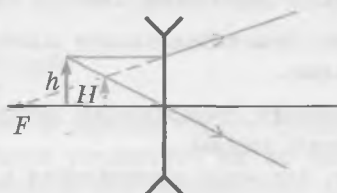
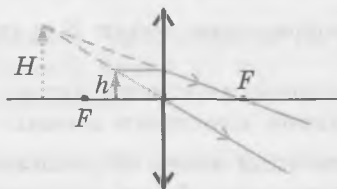
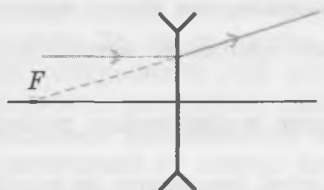
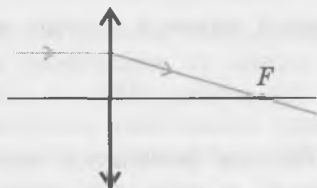
Ход луча, идущего через оптический центр линзы



Построение изображения предмета в линзе



Ход луча, идущего параллельно главной оптической оси линзы



**Фокальная плоскость** — плоскость, параллельная плоскости линзы и проходящая через один из её главных фокусов.

Оптическая сила линзы

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

Увеличение линзы

$$\Gamma = \frac{H}{h}$$

**Формула тонкой линзы**

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

действительное изображение  $f > 0$

мнимое изображение  $f < 0$

собирающая линза  $F > 0$

рассеивающая линза  $F < 0$

## ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

### Виды линз. Основные элементы линзы

408. Сколько фокусов у одной собирающей линзы? Как они расположены? Сделайте пояснительный рисунок.

409. Оптическая сила линзы равна 4 дптр. Чему равно фокусное расстояние линзы?

*Фокальной плоскостью* линзы называют плоскость, параллельную плоскости линзы и проходящую через главный фокус. Лучи, параллельные побочной оптической оси, после преломления в собирающей линзе пересекаются в точке  $A$ , лежащей в фокальной плоскости линзы (рис. 137), а после преломления в рассеивающей линзе *продолжения* преломлённых лучей пересекаются в точке, лежащей в фокальной плоскости линзы.

410. Сколько фокальных плоскостей у одной собирающей линзы?

411. Изобразите в тетради ход двух лучей, параллельных побочной оптической оси, падающих на *рассеивающую* линзу, причём один из лучей проходит через оптический центр линзы. Укажите точку, в которой пересекаются *продолжения* преломлённых лучей, и обозначьте обе фокальные плоскости линзы.

### Построение изображений в линзах

412. Постройте изображение точки  $S$  в собирающей линзе в случае, если точка  $S$  расположена:

- дальше фокальной плоскости линзы;
- ближе фокальной плоскости линзы.

413. Докажите, что если точка  $S$  расположена *дальше* фокальной плоскости собирающей линзы, то её изображение будет *действительным*, а если она расположена *ближе* фокальной плоскости собирающей линзы, то её изображение будет *мнимым*.

414. Докажите, что *действительное изображение предмета всегда перевёрнутое*, а *мнимое — всегда прямое*.

415. Объясните, почему собирающая линза не даёт изображения точки, расположенной в фокальной плоскости линзы.

*Совет.* Докажите, что после преломления в линзе лучи, исходящие из такой точки, будут *параллельными*.

416. Докажите, что *рассеивающая линза даёт мнимое изображение точки независимо от её положения*. Убедитесь в этом, построив изображение точки, находящейся *дальше* фокуса, в фокусе и *ближе* фокуса.

### Увеличение линзы

417. Докажите, что действительное изображение предмета в собирающей линзе будет:

- уменьшенным, если  $d > 2F$ ;
- в натуральную величину, если  $d = 2F$ ;
- увеличенным, если  $d < 2F$  (но не равно  $F$ ).

418. Докажите, что *мнимое изображение предмета в собирающей линзе всегда увеличенное*.

419. Докажите, что *изображение предмета в рассеивающей линзе всегда уменьшенное*.

420. Докажите, что для увеличения линзы справедлива формула<sup>1)</sup>

$$\Gamma = \frac{f}{d}$$

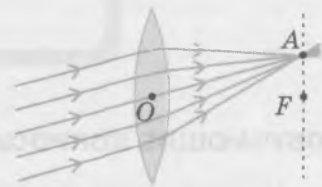


Рис. 137

*Совет.* Рассмотрите ход луча, проходящего через оптический центр линзы, и воспользуйтесь подобием треугольников.

<sup>1)</sup> Для *мнимого* изображения следует брать *модуль* расстояния от линзы до изображения.

## Формула тонкой линзы

Расстояние  $f$  от линзы до изображения, расстояние  $d$  от линзы до предмета и фокусное расстояние линзы  $F$  связаны соотношением

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

Это соотношение называют *формулой тонкой линзы*. При её использовании считают  $f$  *положительным*, если изображение предмета *действительное*, и *отрицательным*, если изображение *мнимое*. Фокусное расстояние  $F$  считают *положительным*, если линза *собирающая*, и *отрицательным*, если линза *рассеивающая*.

Используя при решении задач формулу тонкой линзы, удобнее не приводить её к одному знаменателю, а брать в таком виде, в каком она записана выше.

**421.** Линза даёт действительное изображение предмета, находящееся на расстоянии 30 см от линзы. При этом расстояние от линзы до предмета равно 15 см.

а) Какая это линза — собирающая или рассеивающая?

б) Чему равно фокусное расстояние линзы?

*Совет.* а) Действительное изображение даёт только собирающая линза. б) Воспользуйтесь формулой тонкой линзы.

**422.** Когда предмет находится на расстоянии 20 см от линзы, его *мнимое* изображение находится на расстоянии 25 см от линзы.

а) Является линза собирающей или рассеивающей?

б) Чему равно фокусное расстояние линзы  $F$ ?

в) Где будет находиться изображение предмета и каковы будут свойства этого изображения, если расстояние от линзы до предмета увеличить на 30 см?

г) Как надо переместить предмет по отношению к его начальному положению, чтобы изображение предмета было в натуральную величину?

*Совет.* а) Используя формулу тонкой линзы, определите знак  $F$ . Если окажется, что  $F > 0$ , это будет означать, что линза собирающая, а если окажется, что  $F < 0$ , это будет означать, что линза рассеивающая. б) Учтите, что по условию изображение *мнимое*, поэтому при использовании формулы тонкой линзы расстояние от линзы до изображения следует считать *отрицательным*. в) Расстояние от линзы до предмета станет равным 50 см. Воспользуйтесь уже найденным значением фокусного расстояния линзы. г) Изображение предмета будет в натуральную величину, когда он находится на двойном фокусном расстоянии от линзы.

**423.** Используя формулу тонкой линзы, составьте задачу, ответ которой «Расстояние от предмета до линзы равно 30 см».

**424.** Линза с фокусным расстоянием 10 см находится между предметом и экраном, на котором получено чёткое изображение предмета. При этом расстояние от предмета до экрана в 3 раза больше расстояния от линзы до экрана.

а) Какие надо брать знаки  $f$  и  $F$  для использования формулы тонкой линзы в данном случае?

б) Чему равно отношение  $\frac{d}{f}$  в данном случае?

в) Чему равно расстояние от линзы до экрана?

г) Является изображение предмета увеличенным, уменьшенным или в натуральную величину?

д) Чему равно увеличение  $\Gamma$  предмета в линзе?

е) Насколько и в каком направлении надо переместить линзу, чтобы снова получить чёткое изображение на экране?

ж) Каким при этом станет изображение — увеличенным или уменьшенным? Чему будет равно увеличение предмета в линзе?

*Совет.* а) Изображение на экране может быть только действительным, а действительное изображение может дать только собирающая линза. б) Обратите внимание на то, что в условии говорится о расстоянии *от предмета до экрана*, то есть *от предмета до его изображения*. е) Воспользуйтесь тем, что в формуле тонкой линзы  $f$  и  $d$  можно «поменять значениями»: вместо значения  $f$  подставить значение  $d$  и наоборот.

**425.** Линза находится между предметом и его чётким изображением на экране. При этом расстояние от линзы до предмета равно 9 см. Когда линзу передвинули на 9 см вдоль оптической оси, получили другое чёткое изображение предмета на экране. Чему равно фокусное расстояние линзы?

*Совет.* Если бы линзу передвинули на 9 см ближе к предмету, то линза оказалась бы расположенной вплотную к предмету. Действительного изображения в таком случае линза дать не могла бы. Значит, линзу отодвинули от предмета. Используя формулу тонкой линзы, докажите, что при неизменном расстоянии от предмета до экрана два положения линзы, при которых она даёт чёткое изображение на экране, отличаются тем, что  $d$  и  $f$  «поменялись местами». Отсюда следует, что при втором положении линзы, когда  $d = 18$  см, расстояние от линзы до изображения  $f = 9$  см. Примените формулу тонкой линзы.

**Использование фокальной плоскости линзы для построения изображения точки, лежащей на главной оптической оси линзы, хода произвольного луча и для нахождения фокусов линзы**

Если точка  $A$  лежит на главной оптической оси, то исходящие из неё два замечательных луча *совпадают*, поэтому их нельзя использовать для построения изображения.

В таком случае можно взять следующие два луча (рис. 138):

- произвольный луч  $a$ , исходящий из данной точки и проходящий через линзу;
- параллельный ему луч  $b$ , идущий через оптический центр линзы и не изменяющий поэтому своего направления.

После прохождения через линзу параллельные падающие лучи  $a$  и  $b$  пересекаются в фокальной плоскости. Это позволяет построить ход луча  $a$  после преломления в линзе. Точка  $A_1$ , в которой преломлённый луч пересекает главную оптическую ось, является изображением точки  $A$ .

**426.** Постройте изображение точки, лежащей:

- а) на главной оптической оси ближе фокуса собирающей линзы;
- б) на главной оптической оси рассеивающей линзы.

**427.** Использование фокальной плоскости помогает также построить ход произвольного луча через линзу, если известны положения её фокусов.

- а) Объясните построение хода произвольного луча  $a$ , показанное на рисунке 139.
- б) Перенесите рисунки 140,  $a$ ,  $b$  в тетрадь и постройте для обоих случаев ход луча после его преломления в линзе.

*Совет.* б) Постройте ход луча, параллельного данному и проходящего через оптический центр линзы.

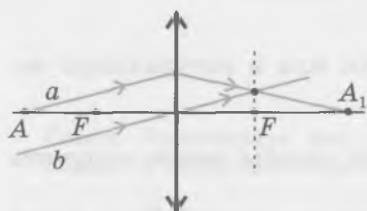


Рис. 138

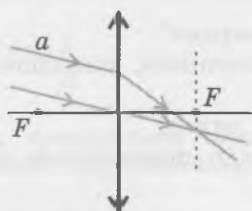


Рис. 139

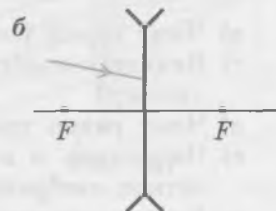
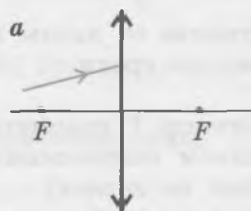


Рис. 140

428. Перенесите рисунок 141 в тетрадь и найдите положение фокусов линзы.

*Совет.* Постройте ход второго луча, параллельного падающему на линзу лучу и проходящего через оптический центр линзы. После преломления в линзе эти два луча пересекутся в фокальной плоскости.

### Изображение треугольника в линзе

В некоторых задачах требуется построить изображение не стрелки, а двумерной фигуры — например, треугольника. В таких случаях предполагается, что изображением *отрезка* является тоже *отрезок*<sup>1)</sup>, поэтому для построения изображения треугольника достаточно построить изображения всех его вершин.

429. На рисунке 142 показано построение изображения  $A_1B_1C_1$  треугольника  $ABC$ .

а) Объясните построение хода луча  $AB$  при его прохождении через плоскость линзы.

б) Объясните построение изображения  $B_1C_1$  отрезка  $BC$ .

*Совет.* а) Обратите внимание на ход луча, идущего через оптический центр линзы параллельно лучу  $AB$ , и воспользуйтесь тем, что параллельные лучи после преломления в линзе пересекаются в фокальной плоскости. б) Использован ход луча  $AB$  при его преломлении в линзе и ход луча, проходящего через оптический центр линзы.

430. На рисунке 143 изображён равнобедренный прямоугольный треугольник, расположенный перед собирающей линзой. Катет треугольника равен 4 см. Оптическая сила линзы 2,5 дптр.

а) Перенесите рисунок в тетрадь и постройте изображение треугольника в линзе.

б) Найдите площадь треугольника-изображения.



Рис. 141

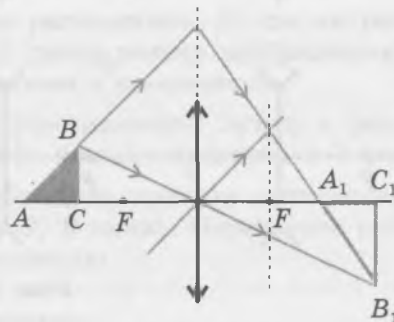


Рис. 142



Рис. 143

<sup>1)</sup> Это можно считать справедливым для отрезков, не пересекающих фокальную плоскость линзы и малых по сравнению с её фокусным расстоянием. Это условие не выполнено на рисунках этого раздела, потому что иначе предметы и их изображения были бы чересчур мелкими.

# ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

## Базовый уровень

431. Перенесите рисунки 144, *a—e* в тетрадь и постройте изображение точечного источника света *S* в линзах. Укажите вид полученного в каждом случае изображения.

432. Перенесите рисунки 145, *a—e* в тетрадь и постройте изображение предмета *AB* в линзах. Укажите вид полученного в каждом случае изображения.

433. Светящаяся точка расположена на расстоянии от линзы, равном половине фокусного расстояния линзы. Постройте изображение этой точки, если:

- линза собирающая;
- линза рассеивающая.

434. Точечный источник света находится на расстоянии 30 см от линзы, а расстояние от линзы до изображения этого источника на экране равно 20 см. Является линза собирающей или рассеивающей? Чему равно её фокусное расстояние?

*Совет.* На экране может быть получено только действительное изображение. Воспользуйтесь формулой тонкой линзы.

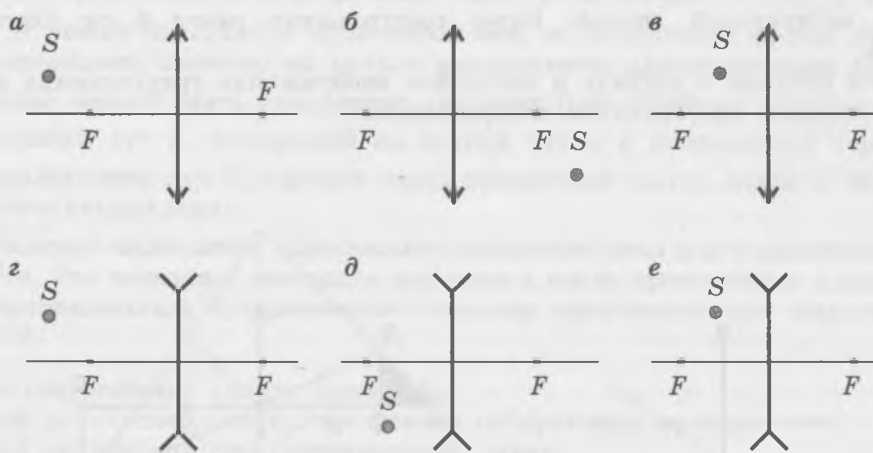


Рис. 144

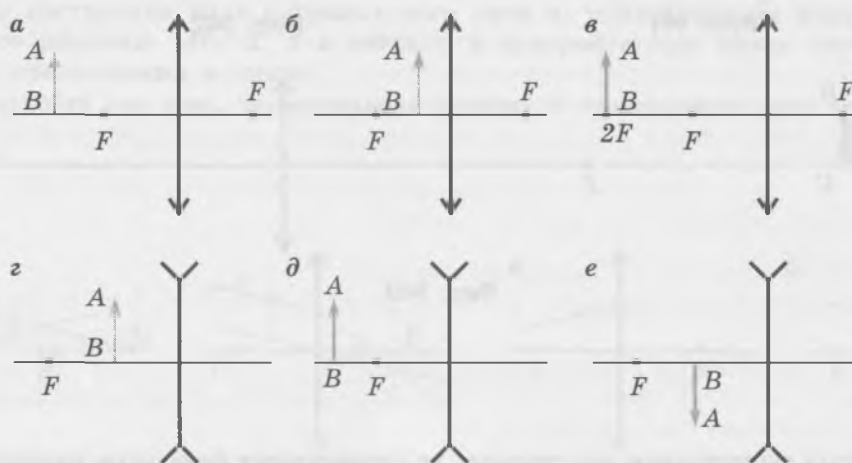


Рис. 145

435. На каком расстоянии от собирающей линзы находится изображение предмета, если расстояние от предмета до линзы равно 20 см, а фокусное расстояние линзы равно 10 см?

436. Чему равно фокусное расстояние рассеивающей линзы, если светящаяся точка находится на расстоянии 40 см от линзы, а её изображение — на расстоянии 20 см от линзы?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой тонкой линзы с учётом знаков для  $f$  и  $F$ .

437. Линза даёт мнимое увеличенное в 4 раза изображение предмета, находящегося на расстоянии 12 см от линзы. Является линза собирающей или рассеивающей? Чему равно её фокусное расстояние?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой для увеличения линзы и формулой тонкой линзы с учётом знака перед  $f$ .

438. Расстояние от линзы до экрана, на котором видно чёткое изображение предмета, равно 1,2 м. Оптическая сила линзы равна 2,5 дптр.

а) Является линза собирающей или рассеивающей?

б) Чему равно фокусное расстояние линзы?

в) Чему равно расстояние от линзы до предмета?

г) Является изображение предмета уменьшенным или увеличенным? Во сколько раз?

*Совет.* а) Изображение на экране является действительным. б) Оптическая сила линзы обратно пропорциональна её фокусному расстоянию, выраженному в метрах. в) Воспользуйтесь формулой тонкой линзы. г) Воспользуйтесь выражением для увеличения линзы.

439. Предмет расположен на расстоянии 50 см от рассеивающей линзы. Чему равна её оптическая сила, если расстояние от линзы до изображения равно 20 см?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой тонкой линзы с учётом знаков  $f$  и  $F$  и выражением для оптической силы линзы.

### Повышенный уровень

440. Перед собирающей линзой с фокусным расстоянием 20 см на расстоянии 5 см от неё расположен предмет высотой 3 см. Чему равен размер изображения?

*Совет.* В данном случае изображение будет мнимым и увеличенным.

441. Чему равно расстояние от предмета до рассеивающей линзы с фокусным расстоянием 15 см, если изображение, даваемое линзой, меньше предмета в 2 раза?

442. На каждом из рисунков 146,  $a$ — $г$  изображена главная оптическая ось линзы, светящаяся точка  $S$  и изображение этой точки  $S_1$  в линзе. Перенесите рисунки в тетрадь и определите с помощью геометрического построения:

а) оптический центр каждой линзы;

б) вид линзы (собирающая или рассеивающая);

в) положение фокусов каждой линзы.

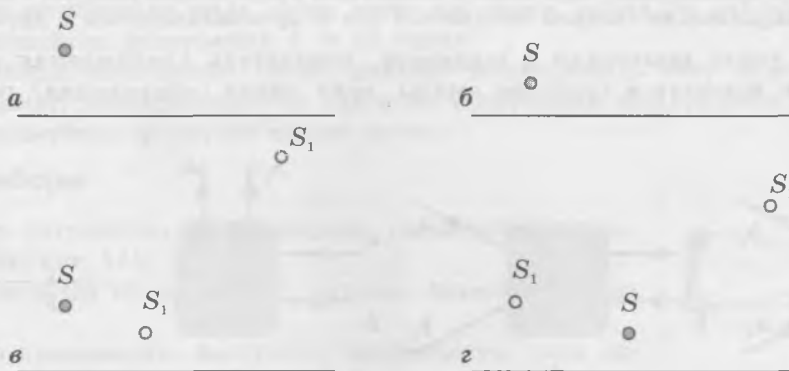


Рис. 146

443. Верхнюю половину собирающей линзы закрыли. Изменилось ли (и если изменилось, то как) изображение, получаемое с её помощью на экране?

*Совет.* Учтите, что изображение каждой точки создаётся *всеми* лучами, вышедшими из точки и прошедшими через линзу. Закрывая половину линзы, перекрывают только часть лучей, проходящих через линзу, а ход остальных лучей не изменяется.

444. На рисунках 147, *a—в* оптический прибор (линза или зеркало), закрыт непрозрачной пластиной. Перенесите рисунки в тетрадь и с помощью построения хода показанных на рисунке лучей определите, какой прибор находится за пластиной в каждом случае.

*Совет.* Обратите внимание на порядок преломлённых лучей.

445. Собирающую стеклянную линзу погрузили в воду. Как изменились при этом фокусное расстояние и оптическая сила линзы? Сделайте пояснительный рисунок.

*Совет.* Учтите, что показатель преломления воды больше показателя преломления воздуха и меньше показателя преломления стекла.

### Высокий уровень

446. Линза даёт изображение предмета на экране, уменьшенное в 3 раза. Как надо изменить фокусное расстояние линзы (увеличить или уменьшить), чтобы при том же расстоянии от предмета до линзы изображение стало увеличенным в 3 раза? Во сколько раз?

*Совет.* Запишите формулу тонкой линзы для обоих случаев. В условии не сказано, что расстояние от линзы до экрана осталось прежним.

447. Изображение предмета, находящегося на расстоянии 8 см от переднего фокуса линзы, получено на экране, находящемся на расстоянии 18 см от заднего фокуса линзы. Чему равно фокусное расстояние линзы?

*Совет.* На экране можно получить только действительное изображение предмета. Отсюда следует, что линза собирающая и предмет находится на расстоянии от линзы, большем фокусного.

448. Перенесите рисунок 148 в тетрадь и постройте изображение стрелки.

449. Два точечных источника света находятся на расстоянии 32 см друг от друга. Где между ними надо поместить собирающую линзу, чтобы изображения обоих источников оказались в одной точке? Фокусное расстояние линзы равно 12 см.

*Совет.* Докажите, что одно из изображений мнимое, а другое — действительное.

450. На расстоянии 45 см от экрана находится предмет. С помощью собирающей линзы на экране получают его уменьшенное изображение. Затем линзу перемещают так, что на экране получают другое изображение того же предмета, которое в 4 раза больше первого изображения. Чему равно фокусное расстояние линзы?

451. Линзу, изготовленную из двух тонких сферических стёкол постоянной толщины и одинакового радиуса, между которыми находится воздух (выпуклая воздушная линза), погрузили в воду. Как действует эта линза? Сделайте пояснительный рисунок.

*Совет.* Показатель преломления воды больше показателя преломления воздуха. Рассмотрите ход луча света, идущего параллельно главной оптической оси и преломляющегося в двух тонких стёклах.

452. Стеклянную линзу поместили в жидкость, показатель преломления которой больше, чем у стекла. Как изменятся свойства линзы, если линза собирающая? рассеивающая?

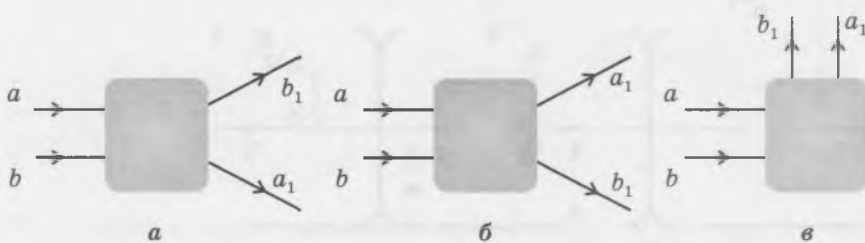


Рис. 147

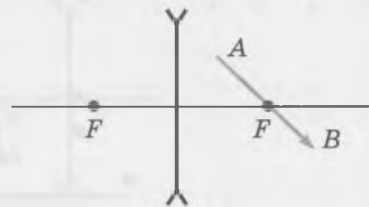
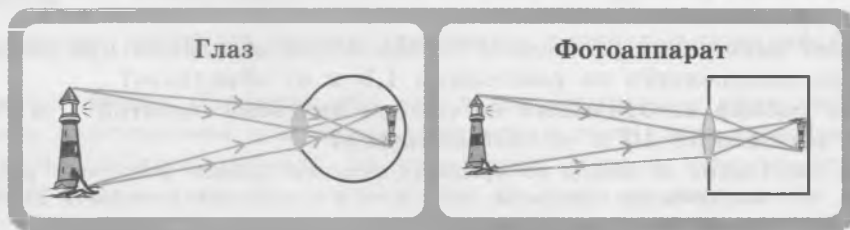


Рис. 148

## Глаз и оптические приборы



### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

#### Глаз

453. В каком случае оптическая сила глаза больше: при рассматривании близких или удалённых предметов?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой тонкой линзы и учтите, что расстояние от линзы до изображения в данном случае остаётся неизменным — это расстояние от хрусталика до сетчатки.

Человеку со здоровым зрением наиболее удобно рассматривать мелкие предметы, когда они находятся на расстоянии около 25 см от глаза. Это расстояние называют *расстоянием наилучшего зрения*.

454. Расстояние от хрусталика до сетчатки примите равным 17 мм.

- Чему равна оптическая сила этого глаза при рассматривании удалённых предметов?
- Чему равна оптическая сила этого глаза при рассматривании предмета, расположенного на расстоянии наилучшего зрения?

*Совет.* а) Воспользуйтесь формулой тонкой линзы, считая расстояние до предмета бесконечно большим. б) Воспользуйтесь формулой тонкой линзы, приняв расстояние до предмета равным расстоянию наилучшего зрения.

Для выполнения следующего задания воспользуйтесь тем, что оптическую силу  $D$  системы, состоящей из двух близко расположенных линз с оптической силой  $D_1$  и  $D_2$ , можно рассчитать по формуле

$$D = D_1 + D_2.$$

При этом оптическую силу *собирающей* линзы надо считать *положительной*, а *рассеивающей* линзы — *отрицательной*.

455. Человек не может чётко видеть детали предмета, расположенного ближе 1 м от глаза. Расстояние от хрусталика до сетчатки примите равным 17 мм.

- У этого человека близорукость или дальнозоркость?
- Чему равна оптическая сила глаза этого человека, когда он рассматривает предмет, расположенный на расстоянии 1 м от глаза?
- Линзы с какой оптической силой должен использовать этот человек, чтобы чётко видеть предмет, находящийся от глаза на расстоянии наилучшего зрения?

*Совет.* в) Воспользуйтесь формулой тонкой линзы.

#### Оптические приборы

456. Рассмотрите устройство фотоаппарата, схематически изображённое на рисунке 149.

- Опишите свойства изображения, которое формируется на плёнке<sup>1)</sup>.
- Как можно производить настройку на резкость, если оптическая сила объектива постоянна?

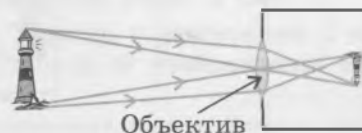


Рис. 149

<sup>1)</sup> В цифровых фотоаппаратах используется светочувствительная матрица.

457. Фокусное расстояние объектива фотоаппарата равно 15 мм.

- Чему должно быть равно расстояние от объектива до плёнки при фотографировании удалённых предметов?
- Чему должно быть равно расстояние от объектива до плёнки при фотографировании предмета, расположенного на расстоянии 1,5 м от объектива?
- Чему равен размер изображения на плёнке человека высотой 1 м 70 см, находящегося на расстоянии 10 м от фотоаппарата?

*Совет.* в) Если расстояние от линзы до предмета намного больше фокусного расстояния линзы, можно считать, что изображение предмета находится в фокальной плоскости линзы. Воспользуйтесь подобием треугольников.

458. Спутник движется по круговой орбите на высоте 120 км над поверхностью Земли. Со спутника ведётся фотосъёмка поверхности Земли фотоаппаратом с фокусным расстоянием 12 см. Расстояние между соседними светочувствительными элементами на матрице фотоаппарата равно 2 мкм. Изображения не будут смазанными, если за время экспозиции (пока объектив фотоаппарата был открыт) изображение сместится не более чем на один светочувствительный элемент.

- Чему равен размер предмета, изображение которого попало на 10 соседних светочувствительных элементов?
- С какой скоростью движется спутник?
- Чему равна скорость движения изображения по матрице?
- Каким должно быть время экспозиции при фотографировании, чтобы изображения предметов не были смазаны из-за движения спутника?

*Совет.* а) Можно считать, что изображение находится в фокальной плоскости объектива. б) Если высота орбиты спутника намного меньше радиуса Земли, скорость спутника можно приблизительно считать равной первой космической скорости. в) Скорость движения изображения будет во столько же раз меньше скорости спутника, во сколько раз изображение предмета меньше самого предмета.

459. Используя построение или формулу тонкой линзы, докажите, что действительное изображение предмета в собирающей линзе будет сильно увеличенным, если предмет находится чуть-чуть дальше фокальной плоскости линзы.

Это свойство собирающей линзы используют в проекционных аппаратах и киноаппаратах (рис. 150).

460. С помощью построения объясните, как на экране формируется сильно увеличенное перевёрнутое изображение кадров киноплёнки.

461. Почему в проекционный аппарат слайд надо вставлять «вверх ногами»?

462. Экран находится на расстоянии 10 м от проекционного аппарата. Высота экрана 2 м, а высота слайда 2 см. Чему равно фокусное расстояние объектива аппарата?

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что расстояние от слайда до объектива можно приблизительно считать равным фокусному расстоянию объектива. Воспользуйтесь также подобием треугольников.

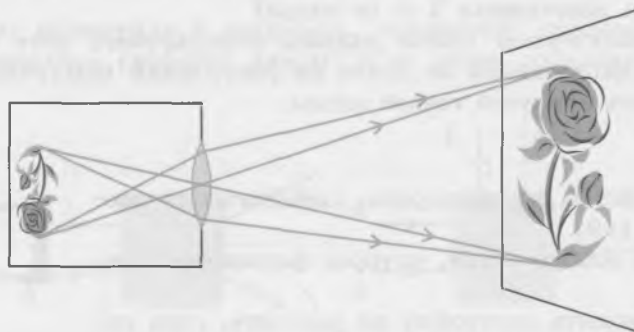


Рис. 150

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ<sup>1)</sup>

### Базовый уровень

463. Человек хорошо различает детали предметов, расположенных не ближе 40 см от глаза.

- Какой дефект зрения (близорукость или дальнозоркость) у этого человека?
- Чему равна максимально возможная оптическая сила глаза этого человека?
- Какие линзы (собирающие или рассеивающие) должен использовать этот человек, чтобы чётко видеть предмет, находящийся от глаза на расстоянии наилучшего зрения? Чему равна оптическая сила этих линз?

*Совет.* б) Максимальная оптическая сила у глаза тогда, когда человек рассматривает детали предмета на наименьшем возможном расстоянии предмета от глаза. в) Расстояние наилучшего зрения человека со здоровым зрением равно 25 см.

464. Человек хорошо различает детали предметов, расположенных не дальше 10 см от глаза.

- Какой дефект зрения (близорукость или дальнозоркость) у этого человека?
- Чему равна минимально возможная оптическая сила глаза этого человека?
- Какие линзы (собирающие или рассеивающие) должен использовать этот человек, чтобы чётко видеть предмет, находящийся от глаза на расстоянии наилучшего зрения? Чему равна оптическая сила этих линз?

*Совет.* б) Минимальная оптическая сила у глаза тогда, когда человек рассматривает детали предмета на наибольшем возможном расстоянии предмета от глаза.

465. Предмет расположен на расстоянии 80 см от объектива фотоаппарата. Расстояние от объектива до светочувствительного слоя равно 1 см. Во сколько раз размер предмета больше размера его изображения?

*Совет.* Рассмотрите ход луча, идущего через оптический центр объектива, и воспользуйтесь подобием треугольников.

466. Чему равна высота изображения дерева высотой 20 м на сетчатке глаза, если рассматривать дерево с расстояния 170 м?

*Совет.* Рассмотрите ход луча, идущего через оптический центр глаза, и воспользуйтесь подобием треугольников.

### Повышенный уровень

467. Близорукий человек хорошо видит предметы, расположенные на расстоянии наилучшего зрения, когда пользуется очками с оптической силой  $-4$  дптр. На каком минимальном расстоянии он сможет читать без очков мелкий шрифт?

*Совет.* Запишите формулу тонкой линзы для случаев, когда человек использует очки и когда человек не использует очков. Учтите, что расстояние наилучшего зрения равно 25 см.

468. Чему равно фокусное расстояние объектива фотоаппарата, если:

- предмет находится на расстоянии 1 м от объектива, а размер изображения в 10 раз меньше размеров предмета?
- фотографирование производится с расстояния 1 км, а на плёнке получается уменьшенное изображение предмета в масштабе  $1 : 5000$ ?

*Совет.* а) Воспользуйтесь формулой тонкой линзы и выражением для увеличения линзы. б) В данном случае можно принять, что изображение находится в фокальной плоскости объектива.

469. Здание высотой 8 м фотографируют фотоаппаратом с фокусным расстоянием 5 см. С какого расстояния производят фотосъёмку, если высота изображения равна 1 см?

470. Фотоаппаратом, оптическая сила объектива которого равна 5 дптр, с расстояния 1 м фотографируют картину. Чему равна площадь картины, если площадь её изображения на плёнке оказалась равна  $4 \text{ см}^2$ ?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой тонкой линзы и формулой для увеличения линзы. Учтите, что сравниваются площади предмета и его изображения.

<sup>1)</sup> При решении задач этого раздела, если иное не оговорено, примите расстояние от хрусталика до сетчатки равным 17 мм. Светочувствительный слой фотоаппарата для краткости всюду назван «плёнкой».

471. Экран расположен на расстоянии 10 м от объектива проекционного аппарата с оптической силой 4,1 дптр. Каких размеров надо взять экран, чтобы на нём уместилось изображение диапозитива размером  $6 \times 9$  см?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой тонкой линзы и выражением для увеличения линзы.

### Высокий уровень

472. Когда фотосъёмку предмета производят с расстояния 5 м, высота изображения предмета равна 2 мм. Когда съёмку того же предмета производят с расстояния 1 м, высота изображения равна 12 мм. Чему равно фокусное расстояние объектива фотоаппарата?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой тонкой линзы и запишите выражение для отношения увеличений линзы в двух рассмотренных случаях.

473. С помощью фотоаппарата с фокусным расстоянием объектива 40 мм фотографируют автомобиль, движущийся мимо фотографа со скоростью 54 км/ч на расстоянии 10 м от него. Каким должно быть время экспозиции  $\Delta t$ , чтобы размытие контура изображения на плёнке не превышало 50 мкм?

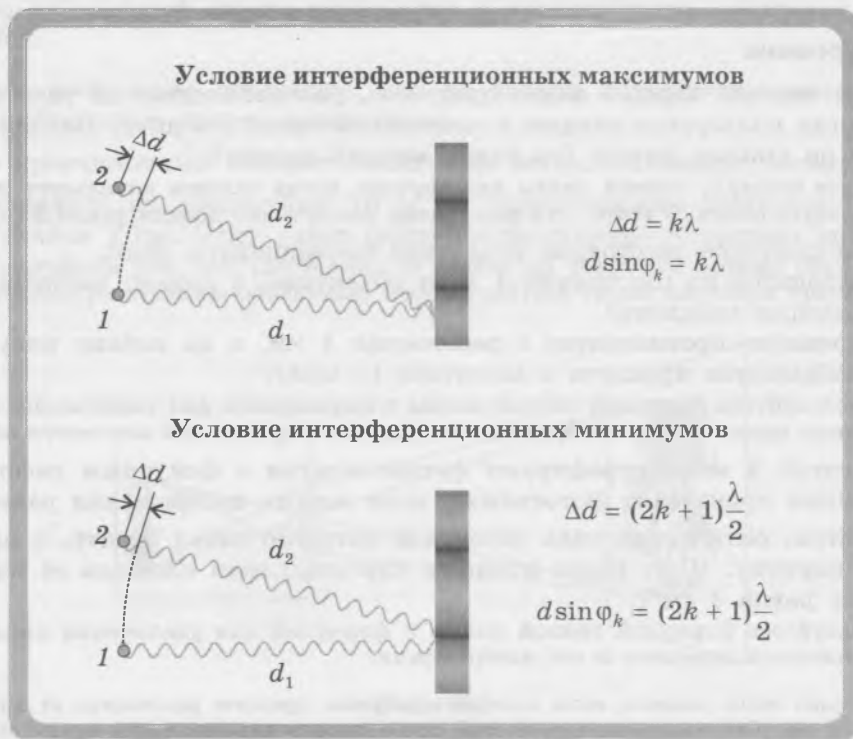
*Совет.* Докажите, что в данном случае можно считать, что изображение объектива находится в его фокальной плоскости, и воспользуйтесь ходом луча, идущего через оптический центр объектива.

474. Будем считать изображение на плёнке фотоаппарата достаточно резким, если вместо изображения точки на плёнке получается изображение пятна радиусом не более 20 мкм. На каком расстоянии от объектива должен находиться предмет, чтобы его изображение было достаточно резким, если радиус объектива равен 2 мм, а его фокусное расстояние равно 50 мм?

*Совет.* Учтите, что изображение находится за фокальной плоскостью линзы на расстоянии  $f - F$  от фокальной плоскости. Воспользуйтесь подобием треугольников.

## ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

### Интерференция волн



## ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

### Условия интерференционных максимумов и минимумов

475. Расстояние между точечными источниками волн, колеблющихся в одной фазе, равно 12 см. Длина волны равна 2 см. Под какими углами наблюдаются линии:

- а) первых интерференционных максимумов;
- б) вторых интерференционных максимумов;
- в) третьих интерференционных максимумов;
- г) четвёртых интерференционных максимумов?

*Совет.* Найдите синусы искомых углов, используя условие интерференционных максимумов.

476. Каков *наибольший* порядок интерференционных максимумов, который может наблюдаться в условии предыдущей задачи?

*Совет.* Учтите, что угол  $\varphi_k$  не может превышать  $90^\circ$ .

477. Выведите соотношение, которому удовлетворяют углы, под которыми наблюдаются интерференционные *минимумы*.

### Просветление оптики

478. На рисунке 151 схематически изображён ход лучей при отражении от стеклянной поверхности, покрытой прозрачной плёнкой с показателем преломления  $n$  меньшим, чем показатель преломления стекла (просветление оптики). Докажите, что минимальная толщина плёнки  $h$ , при которой происходит взаимное гашение отражённых волн 1 и 2 с длиной волны  $\lambda$ , выражается формулой

$$h = \frac{\lambda}{4n}.$$

*Совет.* Учтите, что волна 2 проходит сквозь плёнку *дважды*, а также то, что длина волны света в плёнке в  $n$  раз меньше, чем в воздухе. Воспользуйтесь тем, что минимальная разность хода волн 1 и 2, при которой эти волны будут в противофазе, равна половине длины волны.

479. Длина волны света зелёного цвета равна 0,55 мкм. Чему равна минимальная толщина просветляющей плёнки с показателем преломления 1,3?

### Полосы равной толщины

480. Между квадратными стеклянными пластинками со стороной  $L$  зажат волос диаметром  $D$  (схематически это показано на рис. 152). Сверху падает свет, пропущенный через зелёный светофильтр. При наблюдении сверху видны параллельные волосу полосы (рис. 153). Они возникают вследствие интерференции световых волн 1 и 2, отражённых от двух поверхностей стекла, между которыми находится узкий воздушный «клин», то есть от нижней поверхности верхнего стекла и верхней поверхности нижнего стекла (рис. 154).

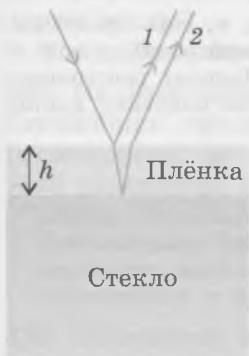


Рис. 151

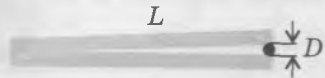


Рис. 152

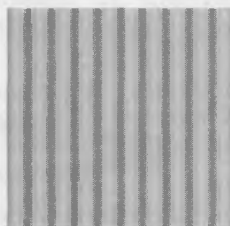


Рис. 153

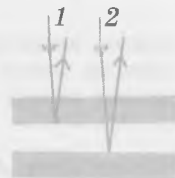


Рис. 154

а) Пусть один из интерференционных максимумов (светлая полоса) наблюдается в точке  $A$ , а *соседний* максимум — в точке  $B$  (рис. 155). При падении света сверху интерференция происходит между лучом, отражённым в точке  $A$ , и лучом, отражённым в точке  $A_1$ , а также между лучом, отражённым в точке  $B$ , и лучом, отражённым в точке  $B_1$ . Отметим на отрезке  $BB_1$  точку  $C$ , такую, что  $BC = AA_1$ . Исходя из того, что соседние максимумы в точках  $A$  и  $B$  могут наблюдаться только при условии, что изменение разности хода отражённых волн для этих точек равно одной длине волны, докажите, что  $CB_1 = \frac{\lambda}{2}$ , где  $\lambda$  — длина волны света.

б) Исходя из подобия двух равнобедренных треугольников, боковыми сторонами одного из которых являются  $A_1C$  и  $A_1B_1$ , а боковыми сторонами другого — стеклянные пластинки, докажите, что

$$\frac{CB_1}{A_1C} = \frac{D}{L}.$$

в) Исходя из того, что расстояние  $s$  между соседними светлыми полосами равно  $AB$ , докажите, что

$$s = \frac{\lambda L}{2D}.$$

г) Найдите толщину волоса в описанном выше опыте, приняв, что рисунок 153 дан с *тройным* увеличением. Длина волны зелёного цвета  $0,55$  мкм, а сторона стеклянной пластинки  $20$  см.

д) Чему станет равным расстояние между соседними светлыми полосами, если вместо зелёного светофильтра использовать красный, который пропускает свет с длиной волны  $0,7$  мкм?

*Совет.* а) Свет, отражённый в точке  $B_1$ , проходит расстояние  $CB_1$  дважды (сверху вниз и снизу вверх). Учтите, что соседним максимумам соответствует разность хода волн, равная одной длине волны. г) Чтобы найти расстояние на рисунке между соседними светлыми полосами, воспользуйтесь методом рядов.

**481.** На квадратной рамке находится мыльная плёнка. Две стороны рамки горизонтальны, плоскость рамки вертикальна. При освещении рамки горизонтально направленным светом с длиной волны  $0,66$  мкм в отражённом свете наблюдаются параллельные светлые и тёмные полосы. Показатель преломления плёнки можно принять равным показателю преломления воды. Длина световой волны в воде в  $n$  раз меньше длины волны света в воздухе, где  $n$  — показатель преломления воды.

а) Как расположены полосы — вертикально или горизонтально?

б) Насколько толщина плёнки у нижней стороны рамки больше, чем у верхней, если наблюдается  $10$  светлых полос?

*Совет.* а) Учтите, что под действием силы тяжести плёнка книзу утолщается, то есть превращается в своеобразный «клин». б) Используйте соотношение между длиной световой волны в воде и в воздухе. Учтите, что внутри плёнки отражённый свет проходит *дважды*. Поэтому расстоянию между двумя светлыми полосами соответствует увеличение толщины плёнки на половину длины волны (в плёнке).

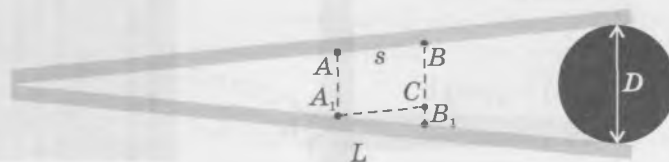


Рис. 155

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

482. Разность хода волн от двух источников в некоторой точке пространства в 4 раза больше длины волны. Что будет наблюдаться в данной точке (усиление или ослабление волн), если источники волн колеблются в одной фазе?

*Совет.* Воспользуйтесь условием интерференционных максимумов.

483. В данную точку пространства приходят световые волны от двух когерентных источников. Разность хода волн равна 1,8 мкм. Наблюдается ли в данной точке интерференционный максимум или минимум, если длина световой волны равна:

- а) 600 нм;
- б) 400 нм?

*Совет.* Воспользуйтесь условием интерференционных максимумов и минимумов.

484. Чему равна длина когерентных световых волн, если минимальная разность хода этих волн, при которой они ослабляют друг друга, равна 250 нм?

*Совет.* Воспользуйтесь условием интерференционных минимумов.

### Повышенный уровень

485. Наблюдатель рассматривает интерференционную картину волн на поверхности воды, исходящих из двух точечных источников, колеблющихся в одинаковой фазе. Он заметил, что интерференционные максимумы 6-го порядка лежат на одной линии с обоими источниками.

- а) Сколько линий, соответствующих интерференционным максимумам с различными значениями  $k$ , наблюдается в этом опыте?
- б) Чему равно отношение расстояния между источниками волн к длине волны?
- в) Чему равны углы, под которыми наблюдаются интерференционные максимумы второго и третьего порядков?

*Совет.* а) Учтите, что центральному максимуму соответствует  $k = 0$ . б) Воспользуйтесь тем, что для максимумов 6-го порядка разность хода волн равна  $6\lambda$ . в) Воспользуйтесь формулой  $d \sin \varphi_k = k\lambda$ .

486. Чему равна минимально возможная разность фаз колебаний двух точечных когерентных источников волн, если в точке, находящейся на равном расстоянии от обоих источников, наблюдается интерференционный минимум?

*Совет.* Интерференционный минимум наблюдается в случаях, когда в данную точку пространства волны приходят в противофазе.

487. Положение третьего интерференционного максимума для данной длины световой волны совпадает с положением второго интерференционного максимума для длины волны, равной 690 нм. Чему равна длина данной волны? Какому цвету соответствует эта длина волны?

*Совет.* Запишите условие интерференционного максимума для обоих случаев.

488. На расстоянии 6 м от двух когерентных источников света расположен экран. Две ближайшие светлые полосы, лежащие по разные стороны от центрального максимума, расположены на расстоянии 4,8 мм друг от друга. Чему равна длина световой волны, если расстояние между источниками равно 1 мм?

*Совет.* Воспользуйтесь условием интерференционного максимума. Указанное расстояние между ближайшими светлыми полосами в 2 раза больше расстояния от каждой из этих полос до центрального максимума. Синусы и тангенсы малых углов можно принять равными самим углам, измеренным в радианной мере.

489. Расстояние между двумя когерентными источниками света равно 2 мм, расстояние между двумя соседними интерференционными полосами на экране 2,1 мм. Чему равно расстояние между источниками света и экраном, если длина волны равна 600 нм?

## Высокий уровень

490. На рисунке 156 показано, как можно наблюдать интерференцию света, используя один точечный источник света и зеркало.

- Опишите схему опыта, воспользовавшись изображением точечного источника света в зеркале. Приведите пояснительный рисунок.
- Найдите, чему будет равно расстояние между соседними интерференционными максимумами на экране, если источник испускает монохроматический свет с длиной волны 500 нм. Расстояние от источника света до экрана равно 20 м, а расстояние от источника света до зеркала равно 5 мм.

*Совет.* Интерferируют лучи, исходящие от источника света и его изображения в зеркале. Расстояние между точечным источником света  $S$  и его изображением в зеркале  $S_1$  равно  $2h$ . Синусы и тангенсы малых углов можно приближённо считать равными значениям самих углов в радианной мере. Поэтому для соседних максимумов можно записать:  $2h(\sin \varphi_{k+1} - \sin \varphi_k) \approx 2h(\varphi_{k+1} - \varphi_k) = 2h \cdot \Delta\varphi = \lambda$ .

При этом  $\Delta\varphi = \frac{2h}{L}$ .

491. Тонкая проволочка диаметром 85 мкм помещена между краями двух хорошо отшлифованных тонких стеклянных пластинок, противоположные концы которых плотно прижаты друг к другу (рис. 157). Расстояние от проволочки до линии соприкосновения пластинок равно 25 см. Перпендикулярно поверхности верхней пластинки сверху падает пучок света с длиной волны 700 нм. Чему равно расстояние между соседними интерференционными полосами при наблюдении сверху?

492. Под действием силы тяжести мыльная плёнка, натянутая на квадратную рамку, две стороны которой горизонтальны, приняла форму клина: внизу она на 5 мкм толще, чем вверху. На плёнку перпендикулярно ей падает монохроматический свет с частотой  $4,5 \cdot 10^{14}$  Гц. Сколько горизонтальных интерференционных полос наблюдается на плёнке в отражённом свете?

*Совет.* Учтите, что внутри плёнки отражённый свет проходит *дважды*.

493. Объясните причину появления чёрного круга в центре линзы в опыте с кольцами Ньютона.

*Совет.* В этой области условие интерференционных максимумов выполняется для длин волн, которые меньше, чем наименьшая длина волны видимого света.

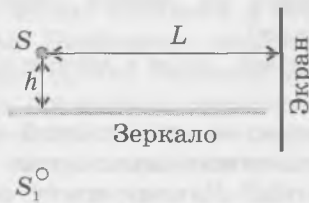
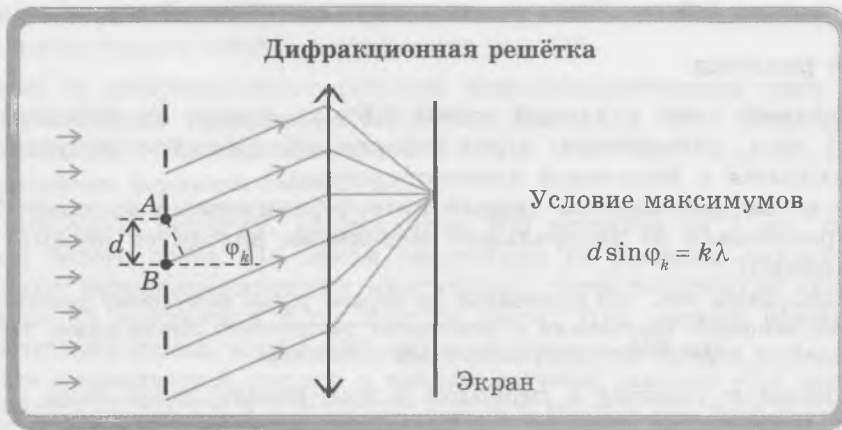


Рис. 156



Рис. 157

# Дифракция волн



## ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

### Дифракция волн от двух точечных источников

494. На рисунке 158 схематически изображена схема опыта по наблюдению интерференционной картины на удалённом экране от двух точечных источников света, излучающих когерентные волны монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ . Сдвига фазы между источниками света нет. Докажите, что интерференционные максимумы наблюдаются под углами  $\varphi_k$ , для которых выполняется соотношение

$$d \sin \varphi_k = k \lambda.$$

*Совет.* Воспользуйтесь рисунком 158 и тем, что расстояние до экрана намного больше расстояния между щелями.

495. Под какими углами наблюдаются интерференционные максимумы первого порядка для волн, соответствующих фиолетовому и красному цветам? Для этих цветов длины волн  $\lambda_{\text{ф}} = 0,38 \text{ мкм}$  и  $\lambda_{\text{к}} = 0,76 \text{ мкм}$ . Расстояние между щелями 1 мм.

Синусы и тангенсы малых углов с хорошей точностью можно считать равными самим углам в радианной мере. Это позволяет легко находить расстояние между интерференционными полосами на удалённом экране.

496. Докажите, что на удалённом экране расстояние  $s$  между соседними интерференционными полосами, соответствующими свету с длиной волны  $\lambda$ , выражается формулой

$$s = L \frac{\lambda}{d}, \text{ где } L \text{ — расстояние до экрана.}$$

*Совет.* Используя радианную меру углов, формулу  $d \sin \varphi_k = k \lambda$  для малых углов  $\varphi_k$  можно записать в виде  $d \cdot \varphi_k = k \lambda$ . Воспользуйтесь также тем, что  $s_k = L \varphi_k$ .

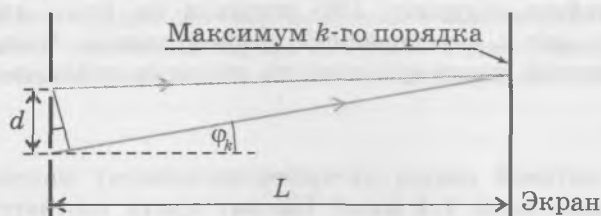


Рис. 158

497. Расстояние между соседними интерференционными максимумами на экране для света с некоторой длиной волны равно 2,6 мм. Расстояние от щелей до экрана 20 м, а расстояние между щелями 0,5 см. Чему равна длина волны света?

### Дифракционная решётка

498. Пучок оранжевого света с длиной волны 0,6 мкм падает на дифракционную решётку с периодом 1 мкм, помещённую перед собирающей линзой с фокусным расстоянием 10 см. Экран находится в фокальной плоскости линзы.

а) Под каким углом наблюдается первый интерференционный максимум?

б) На каком расстоянии от центрального максимума находится первый интерференционный максимум?

*Совет.* б) Воспользуйтесь тем, что расстояние до экрана равно фокусному расстоянию линзы. Поэтому отношение искомого расстояния к фокусному расстоянию линзы равно тангенсу угла, под которым наблюдается первый интерференционный максимум.

499. На дифракционную решётку с периодом 2 мкм падает пучок света с длиной волны 0,55 мкм. Каков наибольший порядок наблюдаемого интерференционного максимума?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой  $d \sin \varphi_k = k\lambda$  и тем, что значение синуса не может превосходить 1.

500. Для изучения видимого света используют дифракционные решётки с числом штрихов, не превышающим 1200 на 1 мм. Почему?

501. Почему дифракционную решётку называют *дифракционной*, хотя с её помощью получают *интерференционную* картину?

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

502. Сколько щелей дифракционной решётки с периодом 10 мкм приходится на 1 мм?

*Совет.* Период дифракционной решётки равен суммарной ширине щели и непрозрачного промежутка.

503. Свет с длиной волны 656 нм падает на дифракционную решётку перпендикулярно её плоскости. Чему равен период дифракционной решётки, если максимум второго порядка наблюдается под углом  $15^\circ$ ?

504. Период дифракционной решётки в 3 раза больше длины волны монохроматического света, падающего на дифракционную решётку перпендикулярно ей. Под каким углом будет наблюдаться интерференционный максимум второго порядка?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой  $d \sin \varphi_k = k\lambda$ .

505. Дифракционная решётка содержит 100 штрихов на 1 мм длины. Перпендикулярно решётке на неё падает свет с длиной волны 600 нм. Под каким углом наблюдается интерференционный максимум третьего порядка?

506. Дифракционная решётка содержит 50 штрихов на миллиметр. Перпендикулярно решётке падает свет с длиной волны 400 нм. Под какими углами наблюдаются максимумы первого и второго порядков?

507. Дифракционная решётка содержит 100 штрихов на 1 мм длины. На решётку перпендикулярно ей падает свет с определённой длиной волны. Чему равна эта длина волны, если интерференционный максимум первого порядка наблюдается под углом  $4^\circ$ ?

### Повышенный уровень

508. При какой длине световой волны интерференционному максимуму *второго* порядка соответствует разность хода волн 1,4 мкм? Какому цвету соответствует эта длина волны в воздухе?

509. На дифракционную решётку с периодом 5 мкм перпендикулярно ей падает монохроматический свет с длиной волны 675 нм. Интерференционные максимумы каких порядков можно при этом наблюдать?

*Совет.* Наибольший порядок спектра соответствует углу  $90^\circ$ .

510. При падении на дифракционную решётку монохроматического света с длиной волны 500 нм максимум второго порядка наблюдается под углом  $30^\circ$ . Чему равен период решётки, если свет падает перпендикулярно ей?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой  $d \sin \varphi_k = k\lambda$ .

511. На дифракционную решётку, содержащую 200 штрихов на 1 мм, перпендикулярно ей падает пучок белого света. На каком расстоянии от решётки находится экран, если ближайшие первые интерференционные максимумы, соответствующие красному и синему цветам, находятся на расстоянии 6 см друг от друга? При расчёте примите, что красному цвету соответствует длина волны 740 нм, а синему — 440 нм.

*Совет.* Сделайте схематический рисунок и найдите значение тангенса угла между направлением на интерференционный максимум и перпендикуляром к решётке для волн обоих цветов. Воспользуйтесь формулой  $d \sin \varphi_k = k\lambda$ .

512. В опыте Юнга на две щели падает монохроматический свет с длиной волны 550 нм. Экран находится на расстоянии 10 м от щелей. Чему равно расстояние между ближайшими интерференционными светлыми полосами, если расстояние между щелями равно 0,5 мм?

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что синусы и тангенсы малых углов приближённо равны радианной мере угла.

### Высокий уровень

513. На рисунке 159 схематически показан ход луча монохроматического света с длиной волны 500 нм, соответствующего первому интерференционному максимуму при прохождении света через дифракционную решётку, помещённую в прозрачный сосуд с водой. Период решётки равен 1 мкм.

- Найдите длину световой волны в воде.
- Чему равен угол  $\alpha$ ?
- Чему равен угол  $\beta$ ?

514. На дифракционную решётку, содержащую 100 штрихов на 1 мм длины, перпендикулярно ей падает пучок белого света. Параллельно решётке расположена собирающая линза с фокусным расстоянием 0,5 м.

- На каком расстоянии от линзы надо поместить экран, чтобы получить на нём чёткое изображение интерференционных максимумов?
- Чему равна ширина всего спектра первого порядка?

515. Источник света, дифракционную решётку и экран, не меняя расстояния между ними, перемещают из воздуха в воду. Опишите, какие изменения будут при этом наблюдаться. Обоснуйте свой ответ.

516. Параллельный пучок белого света проходит через светофильтр и падает на дифракционную решётку, содержащую 250 штрихов на 1 мм, перпендикулярно ей. Светофильтр пропускает световые волны с длиной волны от 520 нм до 570 нм. Интерференционные максимумы каких порядков будут наблюдаться в этом опыте? Будут ли перекрываться какие-либо из них?

*Совет.* Интерференционные максимумы порядков  $k$  и  $k + 1$  будут перекрываться, если  $k\lambda_2 \geq (k + 1)\lambda_1$ . Найдите наибольший возможный порядок интерференционного максимума.

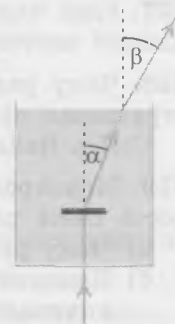


Рис. 159

# Дисперсия света

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

517. Сравните отклонение световых волн с разной длиной волны при преломлении света стеклянной призмой и при прохождении света сквозь дифракционную решётку. В чём заключается главное отличие?

518. Используя данные о показателе преломления света для воды, найдите, чему равна скорость света в воде.

519. Скорость каких световых волн в стекле больше: соответствующих красному цвету или фиолетовому?

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что при прохождении света через треугольную призму «фиолетовые» лучи отклоняются сильнее, чем «красные».

520. Чем характеризуется цвет более точно: длиной световой волны или её частотой?

521. На зелёную траву смотрят через красный светофильтр. Каким кажется цвет травы при этом?

*Совет.* Трава отражает в основном лучи, соответствующие зелёному цвету, а красный светофильтр пропускает в основном лучи, соответствующие красному цвету.

522. В чём состоит причина разложения белого света в спектр при прохождении его через стеклянную призму?

523. На белом листе красными буквами написано слово «роза», а зелёными буквами — «трава». Через стекло какого цвета нельзя прочесть первое слово? второе? Какими будут казаться красные буквы при рассмотрении их через зелёное стекло?

524. Внутри светофоров старого образца установлены обычные лампы накаливания. Как получают разноцветные сигналы светофора?

*Совет.* На пути лучей света от ламп стоят светофильтры.

525. В оптоволоконном кабеле с показателем преломления  $n = 1,5$  световой луч распространяется в течение 60 нс. Какое расстояние пройдёт свет за это время?

### Повышенный уровень

526. Показатель преломления воды для световых волн, соответствующих красному цвету, равен 1,331, а соответствующих фиолетовому цвету — 1,343. Скорость каких световых волн в воде больше и насколько больше?

527. Глаз человека различает различные цвета. Чем определяется видимый глазом цвет: длиной световой волны или её частотой?

528. Чему равна скорость света в одном из сортов стекла, если предельный угол полного отражения на границе с воздухом для этого сорта стекла равен  $30^\circ$ ?

*Совет.* Найдите коэффициент преломления света для данного сорта стекла.

529. Монохроматическая световая волна переходит из воздуха в среду, в которой скорость света равна 200 000 км/с.

а) Чему равен показатель преломления данной среды?

б) Изменяется ли частота световой волны при данном переходе, и если да, то как: увеличивается или уменьшается? Во сколько раз?

в) Изменяется ли длина световой волны при данном переходе, и если да, то как: увеличивается или уменьшается? Во сколько раз?

### Высокий уровень

530. Длина световой волны в некоторой прозрачной среде равна 300 нм, её частота  $7,2 \cdot 10^{14}$  Гц. Чему равна скорость света в этой среде и каков её показатель преломления?

*Совет.* Воспользуйтесь соотношением между скоростью волны, частотой и длиной волны.

**531.** Угол падения пучка белого света на поверхность воды равен  $30^\circ$ . Скорость света для световых волн, соответствующих красному цвету, равна  $225\,394$  км/с, а соответствующих фиолетовому цвету —  $223\,380$  км/с. Чему равен угол между направлениями красных и фиолетовых лучей в воде?

*Совет.* Воспользуйтесь законом преломления для каждого из лучей, учитывая связь между показателем преломления и скоростью света в веществе.

**532.** Длина монохроматической световой волны при переходе из воды в воздух изменилась на  $0,12$  мкм.

- Как изменилась длина волны: увеличилась или уменьшилась? Во сколько раз?
- Чему равна длина волны света в воде и в воздухе?
- Изменился ли цвет, соответствующий этой волне, при переходе из воды в воздух? Если да, то в какую сторону произошёл сдвиг цвета — в сторону красного конца спектра или фиолетового?

*Совет.* Учтите, что скорость света в воздухе больше, чем в воде. При переходе из одной среды в другую частота световой волны не изменяется.

## ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

### Основные положения специальной теории относительности

#### Постулаты специальной теории относительности

- Все физические явления протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчёта.
- Скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчёта и не зависит ни от скорости источника света, ни от скорости приёмника света

#### Относительность одновременности

Два события, одновременные в одной инерциальной системе отсчёта, могут не быть одновременными в другой инерциальной системе отсчёта

#### Замедление времени

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

**533.** Чем отличается принцип относительности Эйнштейна от принципа относительности Галилея?

**534.** Космический корабль *A* удаляется от космического корабля *B*. С корабля *A* посылают световой сигнал, который отражается от зеркала, установленного на корабле *B*, и возвращается к наблюдателю на корабле *A*.

- С какой скоростью движется свет от *A* к *B* в системе отсчёта, связанной с кораблём *A*? В системе отсчёта, связанной с кораблём *B*?
- С какой скоростью движется свет от *B* к *A* в системе отсчёта, связанной с кораблём *A*? В системе отсчёта, связанной с кораблём *B*?

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

535. Объясните, почему постулат о постоянстве скорости света противоречит правилу сложения скоростей классической физики.

536. Две ракеты летят навстречу друг другу. С первой ракеты посылают луч света в направлении второй ракеты. Относительно какой ракеты скорость света больше?

537. Представим, что из космического корабля, движущегося относительно Земли со скоростью, равной половине скорости света, испускают свет в направлении движения корабля. Чему равна скорость этого света относительно Земли?

### Повышенный уровень

538. Чему равно среднее время жизни нестабильных частиц, движущихся со скоростью  $0,6c$ , если среднее время жизни каждой такой частицы в связанной с ней системе отсчёта равно  $\tau$ ?

539. Фотонный звездолёт движется относительно Земли со скоростью  $240\,000$  км/с. По часам пассажира звездолёта прошло 3 мин. Чему соответствует этот промежуток времени по часам наблюдателя, находящегося на Земле?

540. По часам, находящимся в ракете, движущейся со скоростью  $0,99c$  относительно Земли, прошло 10 мин. Сколько времени прошло на Земле?

541. Среднее время жизни быстро движущихся нестабильных частиц в лабораторной системе отсчёта в 2 раза больше, чем их собственное время жизни<sup>1)</sup>. С какой скоростью движутся эти частицы в лабораторной системе отсчёта? Какой путь они пролетают в среднем до распада?

*Совет.* По среднему времени жизни частицы найдите её скорость в лабораторной системе отсчёта.

542. Как изменяется среднее время жизни нестабильных частиц при увеличении их скорости от нуля до  $270\,000$  км/с?

## Энергия тела. Энергия покоя

### Некоторые следствия

#### специальной теории относительности

Полная энергия  
движущегося тела

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

Импульс  
движущейся частицы

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Энергия покоя  $E_0 = mc^2$

Изменение энергии покоя  
при изменении массы

$$\Delta E_0 = \Delta m \cdot c^2$$

Соотношение между  
энергией и импульсом  
фотона

$$E = pc$$

### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

543. Оцените, на какую высоту можно было бы поднять 10 гружёных железнодорожных составов по 50 вагонов массой 100 т в каждом, совершив работу, равную энергии покоя тела массой 1 г.

<sup>1)</sup> Собственное время жизни нестабильных частиц — среднее время их жизни в системе отсчёта, относительно которой данные частицы покоятся.

544. Насколько увеличивается масса 3 л воды при нагревании от 22 °С до кипения?

545. Докажите, что для энергии и импульса частицы справедливо соотношение

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4.$$

546. Докажите, что для фотона справедливо следующее соотношение между энергией и импульсом:

$$E = pc.$$

*Совет.* Воспользуйтесь результатом предыдущей задачи.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

547. Один литр воды, взятой при температуре 0 °С, превращают в лёд при той же температуре. Как изменяется при этом масса вещества — уменьшается или увеличивается? Насколько?

548. Чему равна энергия покоя электрона?

549. Насколько уменьшается масса Солнца за 1 с, если оно каждую секунду излучает энергию, равную примерно  $3,75 \cdot 10^{26}$  Дж?

### Повышенный уровень

550. Частица движется в вакууме со скоростью  $c$ . Чему равна масса этой частицы?

551. Чему равна скорость частицы, если её полная энергия в 2 раза больше энергии покоя?

552. Какую работу надо совершить, чтобы увеличить скорость частицы от  $0,6c$  до  $0,8c$ , если масса частицы равна  $m$ ?

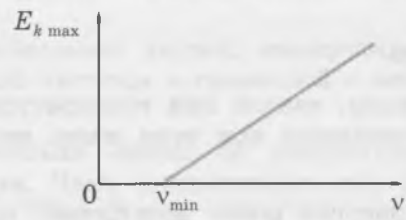
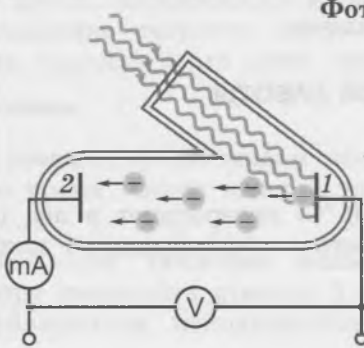
*Совет.* Работа равна разности энергий в начальном и конечном состояниях.

# КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

## КВАНТЫ И АТОМЫ

### Фотоэффект. Фотон

**Фотоэффект**



Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$$

Постоянная Планка  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с

Красная граница фотоэффекта

$$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}$$

**Фотон**

Энергия фотона  $E = h\nu$       Импульс фотона  $p = \frac{h\nu}{c}$

### ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

553. На рисунке 160 изображена схема установки для наблюдения фотоэффекта. Как направлен фототок: от электрода 1 к электроду 2 или наоборот?

*Совет.* Учтите, что электрон имеет отрицательный заряд.

554. Докажите, что *максимальная* кинетическая энергия вырванных светом электронов  $E_{k \text{ max}}$  связана с модулем заряда электрона и модулем задерживающего напряжения соотношением

$$E_{k \text{ max}} = eU_3.$$

*Совет.* Воспользуйтесь соотношением между напряжением и работой электрического поля.

555. Измеренное на опыте значение задерживающего напряжения оказалось равным 5 В. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?

556. Для калия красная граница фотоэффекта соответствует жёлтому цвету, а для цезия — оранжевому. Для какого из этих металлов частота, соответствующая красной границе фотоэффекта, больше?

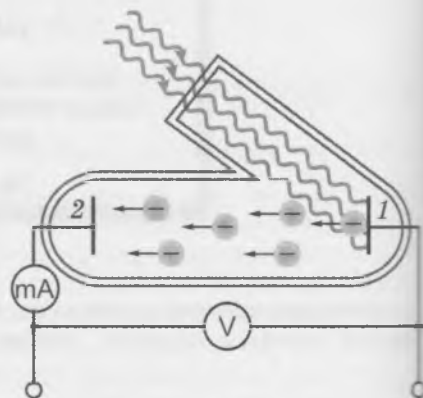


Рис. 160

При задании значения работы выхода, а также при расчётах в квантовой физике используют часто единицу энергии *электронвольт* (эВ). 1 эВ равен модулю изменения энергии электрона при прохождении им разности потенциалов 1 В.

557. Докажите, что

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

558. В опыте по фотоэффекту с поверхности некоторого металла при облучении светом с частотой  $1,21 \cdot 10^{15}$  Гц вылетают электроны с максимальной кинетической энергией 2 эВ.

- Чему равна энергия одного фотона в электронвольтах?
- Чему равна работа выхода электронов для данного металла?

*Совет.* а) Воспользуйтесь уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

559. Поясните, как уравнение Эйнштейна для фотоэффекта объясняет полученный на опыте график зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего света (рис. 161).

560. Объясните, почему красная граница фотоэффекта для данного металла связана с работой выхода электронов из этого металла соотношением

$$v_{\min} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}.$$

*Совет.* Сравните уравнение  $E_{k \max} = h\nu - A_{\text{вых}}$  с графиком зависимости максимальной кинетической энергии электрона от частоты (рис. 161). Сравните значения  $E_{k \max}$ , при которых максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов обращается в нуль.

561. Используя уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, выведите следующие формулы:

$$\text{а) } h\nu = h\nu_{\min} + \frac{mv_{\max}^2}{2};$$

$$\text{б) } h\nu = A_{\text{вых}} + eU_a;$$

$$\text{в) } h\nu = h\nu_{\min} + eU_a.$$

*Совет.* а) Воспользуйтесь выражениями для кинетической энергии и красной границы фотоэффекта.

б) Воспользуйтесь тем, что  $E_{k \max} = eU_a$ . в) Воспользуйтесь формулами  $v_{\min} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}$  и  $E_{k \max} = eU_a$ .

562. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна  $6 \cdot 10^{14}$  Гц. При какой частоте падающего света задерживающее напряжение равно 3 В?

563. Докажите, что импульс фотона  $p = \frac{h\nu}{c}$ , где  $\nu$  — частота света.

*Совет.* Воспользуйтесь формулой, связывающей импульс фотона с его энергией, а также формулой, связывающей энергию фотона с его частотой.

564. Докажите, что  $p = \frac{h}{\lambda}$ , где  $\lambda$  — длина волны света.

*Совет.* Воспользуйтесь соотношением между длиной волны, её частотой и скоростью волны.

565. Свет падает на полностью поглощающую поверхность площадью  $10 \text{ м}^2$ . Мощность поглощаемого излучения равна 3 кВт.

- Чему равна энергия, поглощённая за 1 с?
- Чему равен импульс, переданный за 1 с?
- Чему равна сила давления света на поверхность?
- Чему равно давление света?
- Во сколько раз это давление меньше нормального атмосферного давления?

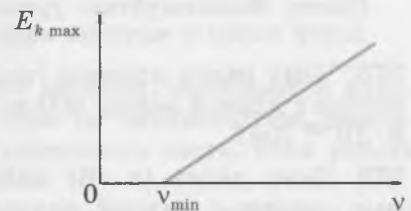


Рис. 161

*Совет.* б) Воспользуйтесь формулой  $p = \frac{E}{c}$ . в) Сила давления на поверхность равна отношению импульса, переданного поверхности за некоторый промежуток времени, к этому промежутку времени.

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

**566.** Чему равна энергия фотона ультрафиолетового излучения с частотой  $6 \cdot 10^{15}$  Гц? Выразите значение этой энергии в джоулях и электронвольтах.

*Совет.* Воспользуйтесь формулой для энергии фотона.

**567.** Чему равна энергия одного фотона, если длина волны света равна 600 нм? Выразите значение энергии фотона в джоулях и электронвольтах.

*Совет.* Воспользуйтесь уравнением Эйнштейна для фотоэффекта и выражением, связывающим длину волны с частотой колебаний.

**568.** Для некоторого металла длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта для этого металла, равна 460 нм. Будет ли монохроматический свет вырывать электроны из этого металла, если длина световой волны равна:

- а) 500 нм;
- б) 400 нм?

Обоснуйте свои ответы.

**569.** Чему равна работа выхода электронов для некоторого металла, если длина волны света, соответствующего красной границе фотоэффекта для этого металла, равна 650 нм?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой работы выхода электронов и выражением, связывающим длину волны с частотой колебаний.

**570.** Чему равна длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта для некоторого металла, если работа выхода электрона из этого металла равна 4,76 эВ?

**571.** Чему равна длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта для:

- а) цинка;
- б) оксида бария?

*Совет.* Воспользуйтесь справочными данными о работе выхода электронов из этих материалов.

**572.** При поглощении фотонов с энергией 4 эВ фотоэлектроны вылетают из металла с максимальной кинетической энергией 1,8 эВ. Чему равна работа выхода электронов для этого металла?

*Совет.* Воспользуйтесь уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

**573.** Чему равна работа выхода электронов из металла, если при облучении металлической пластинки светом с частотой  $6 \cdot 10^{14}$  Гц из неё вылетают фотоэлектроны с максимальной кинетической энергией  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж?

*Совет.* Воспользуйтесь уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

**574.** Чему равна частота света, падающего на пластину из некоторого металла, если максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж, а красная граница фотоэффекта для этого металла равна 600 нм?

*Совет.* Воспользуйтесь уравнением Эйнштейна для фотоэффекта и выражением, связывающим длину волны с частотой колебаний.

**575.** Чему равна красная граница фотоэффекта для некоторого металла, если его облучают светом с длиной волны 500 нм, а максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна  $8 \cdot 10^{-20}$  Дж?

**576.** Чему равна (в эВ) максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вырываемых светом с длиной волны 400 нм из металла, красная граница для которого равна  $5 \cdot 10^{14}$  Гц?

## Повышенный уровень

577. Калиевую пластинку облучают светом с длиной волны 420 нм. Красной границе фотоэффекта для калия соответствует длина волны света, равная 620 нм.

- Чему равна максимальная скорость фотоэлектронов?
- Сравните максимальную скорость фотоэлектронов с первой космической скоростью: какая из них больше и во сколько раз?
- Во сколько раз скорость света больше максимальной скорости фотоэлектронов?

*Совет.* Воспользуйтесь уравнением Эйнштейна для фотоэффекта и выражением для кинетической энергии электронов.

578. Максимальная скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности цезия, равна 2000 км/с. Излучение с какой длиной волны падает на поверхность цезия?

*Совет.* Воспользуйтесь справочными данными о работе выхода электронов из этого материала.

579. Чему равна красная граница фотоэффекта для некоторого металла, если максимальная скорость электронов, выбиваемых с поверхности металла при облучении, равна 1600 км/с? Длина волны падающего на поверхность металла излучения равна 100 нм.

580. Фотоны с энергией 5 эВ вырывают из металла электроны. Чему равен максимальный импульс фотоэлектронов, если работа выхода электронов из этого металла равна 4,7 эВ?

*Совет.* При установлении связи между импульсом фотоэлектрона и его скоростью учтите, что скорость фотоэлектронов намного меньше скорости света.

581. Фотоны с энергией 2,5 эВ вырывают из некоторого металла фотоэлектроны с максимальной кинетической энергией 0,5 эВ. Во сколько раз увеличится максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, если увеличить частоту падающего света в 2 раза?

*Совет.* Работа выхода электронов из металла зависит только от материала.

582. Чему равна работа выхода электронов из некоторого металла, если при облучении этого металла светом с длиной волны 500 нм задерживающее напряжение равно 1 В?

583. При облучении некоторого металла светом с длиной волны 400 нм задерживающее напряжение равно 2 В. Чему будет равно задерживающее напряжение для этого же металла при облучении светом с длиной волны 770 нм?

584. При облучении металла светом с некоторой частотой фотоэлектроны, вылетевшие из металла, задерживаются напряжением 2 В. При изменении длины волны падающего света в 2 раза задерживающее напряжение увеличилось до 7 В. Как изменилась длина волны света — увеличилась или уменьшилась? Чему равна начальная частота света?

*Совет.* Составьте систему двух уравнений Эйнштейна для описанных в условии задачи случаев. Учтите, что работа выхода электронов из металла постоянна для данного металла.

585. Фотоэлектроны вылетают из некоторого металла при облучении светом, длина волны которого очень близка к длине волны, соответствующей красной границе фотоэффекта для данного металла. Вылетевшие электроны оказываются в однородном электрическом поле с напряжённостью 1,7 кВ/м. Через какой промежуток времени после вылета из металла скорость электрона будет в 10 раз меньше скорости света?

*Совет.* Под действием электрического поля электроны движутся с ускорением  $a$ . В данном случае движение фотоэлектронов происходит без начальной скорости. Поскольку скорость электронов намного меньше скорости света, при рассмотрении их движения можно использовать законы классической физики.

## Высокий уровень

586. Фотоэлектроны, вырванные из металла светом некоторой частоты, попадают в однородное магнитное поле с индукцией 0,4 мТл и движутся в нём по окружностям, максимальный радиус которых равен 10 мм. Чему равна частота падающего света, если работа выхода электронов из данного металла равна  $4,42 \cdot 10^{-19}$  Дж?

*Совет.* В однородном магнитном поле электроны движутся по окружностям под действием силы Лоренца.

587. При какой температуре средняя кинетическая энергия атомов одноатомного идеального газа равна максимальной кинетической энергии фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении светом с длиной волны 270 нм, если работа выхода электронов для данного металла равна 4 эВ?

588. Энергия одного фотона монохроматического света равна  $5 \cdot 10^{-19}$  Дж. Чему равна длина волны этого излучения в воздухе; в воде?

*Совет.* Найдите длину волны падающего света и воспользуйтесь тем, что скорость света равна произведению частоты света на длину волны. Частота света при переходе в другую среду не изменяется.

589. Задерживающее напряжение в опыте по фотоэффекту увеличилось на 1,2 В при изменении частоты падающего на металл света. Увеличилась или уменьшилась частота света? Насколько?

590. Незаряженный конденсатор ёмкостью 8 нФ подключают к двум электродам, покрытым цезием. Когда один из электродов освещают электромагнитным излучением с частотой  $10^{15}$  Гц, в цепи в течение некоторого времени будет идти фототок, заряжающий конденсатор. Чему будет равен заряд конденсатора после прекращения фототока?

*Совет.* Фототок прекратится, когда напряжение на конденсаторе станет равным задерживающему напряжению.

591. *Интенсивность* излучения  $I$  называют отношение мощности излучения к площади поверхности, на которую падает это излучение перпендикулярно поверхности. Докажите, что если свет падает на поверхность перпендикулярно ей, то давление света  $p$  выражается формулами:

а)  $p = \frac{I}{c}$ , если поверхность чёрная, то есть полностью поглощает свет;

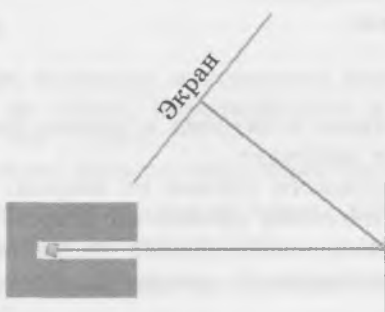
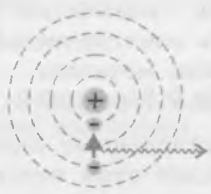
б)  $p = \frac{2I}{c}$ , если поверхность зеркальная.

*Совет.* Воспользуйтесь формулами для энергии и импульса фотона, а также соотношением между силой и переданным импульсом.

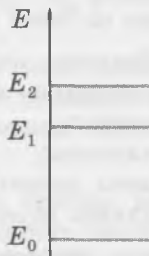
592. Солнечные лучи падают на солнечную батарею площадью  $50 \text{ м}^2$  перпендикулярно её поверхности. Чему равна сила давления солнечного света на батарею, если половину падающего на неё света она поглощает, а половину — отражает? Мощность солнечного излучения, падающего на  $1 \text{ м}^2$ , равна 1,4 кВт.

# Строение атома. Атомные спектры

**Строение атома. Атомные спектры**

<p>Опыт Резерфорда</p> 	<p>Теория атома Бора</p>  <p><math>h\nu_{kn} = E_k - E_n</math></p> <p>Длина волны де Бройля</p> $\lambda = \frac{h}{p}$
--	---

**Энергетические уровни атома**



## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

593. На рисунке 162, *a*, *б* приведены спектры излучения и поглощения водорода. Какой вывод вы можете сделать из сравнения этих спектров?
594. Расскажите, чем отличается планетарная модель атома от модели атома Томсона.
595. В каком состоянии находится атом, если он не может при этом излучить энергию?



Рис. 162

596. На рисунке 163 изображены уровень энергии электрона, при котором его энергия равна нулю (этот электрон находится вне атома), и *основной* уровень, соответствующий минимально возможной энергии атома водорода ( $-13,6$  эВ). В результате поглощения фотона электрон покинул атом водорода. Какова минимально возможная энергия этого фотона, если атом находился в основном состоянии?

597. Насколько увеличивается энергия атома при поглощении фотона с частотой  $6 \cdot 10^{14}$  Гц?

598. Непрерывный или линейчатый спектр излучают:

- а) нагретая спираль электрической плитки;
- б) раскалённый кусок металла;
- в) зажжённая газовая горелка?

599. Рассмотрите перечисленные ниже переходы электрона в атоме. Для каждого перехода определите: поглощает атом энергию или излучает.

- а) Электрон переходит с первого энергетического уровня на второй.
- б) Электрон переходит с третьего энергетического уровня на второй.
- в) Электрон переходит с четвёртого энергетического уровня на первый.
- г) Электрон переходит с четвёртого энергетического уровня на пятый.

### Повышенный уровень

600. Перенесите рисунок 164 в тетрадь и изобразите на нём все возможные переходы между уровнями, при которых излучается фотон. Сколько различных значений энергии может иметь этот фотон?

*Совет.* Атом излучает фотон при переходе на более низкую стационарную орбиту.

601. По рисунку 165, на котором изображена диаграмма энергетических уровней атома, определите, какой стрелкой изображён переход, при котором происходит:

- а) излучение фотона наибольшей частоты;
- б) поглощение фотона наименьшей частоты;
- в) излучение фотона наибольшей длины волны;
- г) поглощение фотона наименьшей длины волны.

602. Изобразите в тетради схематически энергетические уровни, используемые при работе трёхуровневого лазера, и объясните принцип работы такого лазера. Какой из уровней и по какой причине должен быть метастабильным?

603. На рисунке 166 схематически изображены энергетические уровни некоторого атома. Основному уровню соответствует энергия, равная  $-12$  эВ. При переходах между указанными уровнями атом может излучать фотоны со значениями энергии  $10$  эВ,  $6$  эВ и  $4$  эВ. Перенесите рисунок в тетрадь и изобразите на нём схематически данные переходы, а также укажите значения энергии для всех уровней.

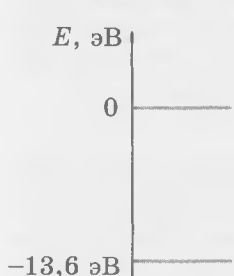


Рис. 163

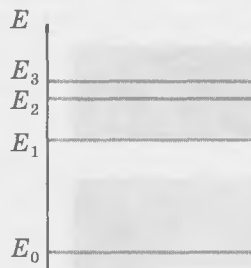


Рис. 164

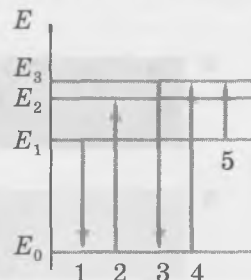


Рис. 165

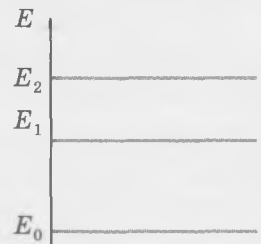


Рис. 166

604. Электрон в атоме перешёл из стационарного состояния с энергией  $-0,85$  эВ в другое стационарное состояние, при этом был излучён фотон с частотой  $5,43 \cdot 10^{14}$  Гц. Чему равна энергия электрона в конечном состоянии?

*Совет.* Электрон излучает фотон с энергией, равной разности энергий электрона на стационарных орбитах.

605. Электрон переходит в атоме из состояния с энергией  $-8,2$  эВ в состояние с энергией  $-4,7$  эВ. Найдите длину волны поглощённого фотона.

### Высокий уровень

606. Энергия атома водорода в основном состоянии равна  $-13,6$  эВ. С какой скоростью электрон вылетит из атома, находившегося в основном состоянии, после поглощения фотона с энергией  $4 \cdot 10^{-18}$  Дж?

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии.

607. Лазер излучает свет с длиной волны  $630$  нм, мощность излучения  $40$  мВт. Сколько фотонов излучает лазер каждую секунду?

608. Чему равна длина волны де Бройля, соответствующая электрону, движущемуся со скоростью  $10^7$  м/с?

609. Чему равна длина волны фотона  $\lambda_{13}$ , поглощаемого атомом при переходе с энергетического уровня  $1$  на уровень  $3$ , если при переходах атома с уровня  $2$  на уровень  $1$  и с уровня  $3$  на уровень  $2$  атом излучает соответственно фотоны с длиной волны  $\lambda_{21}$  и  $\lambda_{32}$ ?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой  $h\nu_{kn} = E_k - E_n$  и соотношением между частотой и длиной волны света.

610. Чему равна длина волны фотона, излучаемого атомом при переходе с четвёртого уровня на первый (рис. 167), если при указанных стрелками переходах длины волн излучаемых или поглощённых фотонов равны соответственно  $\lambda_{13} = 400$  нм,  $\lambda_{24} = 500$  нм,  $\lambda_{32} = 600$  нм?

611. Чему равно давление, оказываемое светом, выходящим из лазера, если диаметр лазерного пучка света равен  $2$  мм, а мощность излучения равна  $120$  мВт? Пучок света падает на поверхность перпендикулярно ей, поверхность полностью поглощает свет.

*Совет.* При падении света на полностью поглощающую поверхность передаваемый светом импульс равен суммарному импульсу фотонов. Воспользуйтесь соотношением между импульсом и энергией фотона.

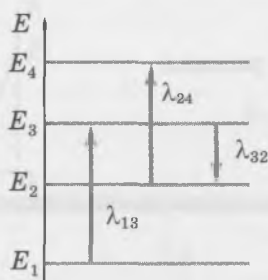


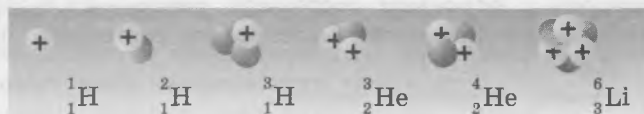
Рис. 167

# АТОМНОЕ ЯДРО И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

## Атомное ядро. Радиоактивность

### Атомное ядро

Атомное ядро состоит из положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов



Обозначение атомного ядра



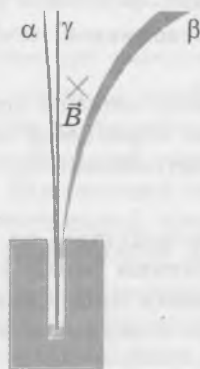
$$A = Z + N$$

$A$  — массовое число

$N$  — число нейтронов

$Z$  — зарядовое число

### Виды радиоактивных излучений

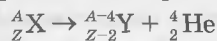


$\alpha$ -лучи — ядра гелия  ${}^4_2\text{He}$

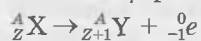
$\beta$ -лучи — электроны  ${}^0_{-1}e$

$\gamma$ -лучи — фотоны ( $\gamma$ -кванты)

Уравнение  $\alpha$ -распада

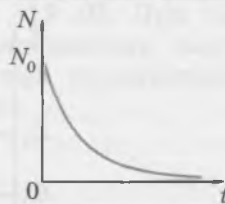


Уравнение  $\beta$ -распада



Закон радиоактивного распада

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$



## ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

612. На рисунке 168 схематически изображён опыт Резерфорда по изучению состава радиоактивного излучения. Определите знаки зарядов частиц, входящих в состав  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ -лучей.

*Совет.* Воспользуйтесь правилом левой руки.

613. Как изменяются массовое и зарядовое числа ядра при  $\alpha$ -распаде (испускании  $\alpha$ -частицы)?

614. В результате  $\alpha$ -распада ядро радия  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  превратилось в ядро радона  ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ . Напишите уравнение этого распада.

615. Как изменяются массовое и зарядовое числа ядра при  $\beta$ -распаде (испускании электрона)?

616. В результате  $\beta$ -распада ядро свинца  ${}^{214}_{82}\text{Pb}$  превратилось в ядро висмута  ${}^{214}_{83}\text{Bi}$ . Напишите уравнение этого распада.

617. Изменяются ли массовое и зарядовое числа ядра вследствие излучения гамма-кванта?

*Совет.* Фотон не имеет ни заряда, ни массы.

618. Становится ли атомное ядро ядром другого элемента вследствие излучения гамма-кванта?

619. На рисунке 169 изображён график зависимости количества нераспавшихся атомных ядер от времени для некоторого радиоактивного изотопа.

- Чему равен период полураспада этого изотопа?
- Какая доля начального числа ядер останется через 6 ч?
- Какая доля начального числа ядер останется через сутки?

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Базовый уровень

620. Определите количество протонов, нейтронов и электронов в атомах углерода  ${}^{12}_6\text{C}$ , бериллия  ${}^9_4\text{Be}$ , радия  ${}^{226}_{89}\text{Ra}$ , цезия  ${}^{133}_{55}\text{Cs}$ .

621. Назовите химический элемент, в атомном ядре которого содержатся:

- 14 протонов и 14 нейтронов;
- 19 протонов и 20 нейтронов;
- 34 протона и 45 нейтронов;
- 92 протона и 146 нейтронов.

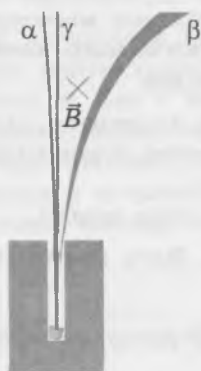


Рис. 168

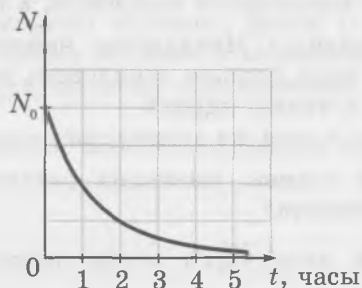


Рис. 169

622. Сколько нейтронов и протонов содержится в ядре атома серебра, если в ядре содержится 108 частиц?

623. Чем отличаются по составу ядра изотопов азота  $^{14}_7\text{N}$  и  $^{15}_7\text{N}$ ?

624. Пользуясь периодической системой химических элементов Менделеева, определите состав ядра кобальта, содержащего 32 нейтрона. Запишите соответствующее ему символическое обозначение  $^{\text{A}}_Z\text{X}$ .

625. Какие из радиоактивных излучений:

- а) не отклоняются и магнитным, и электрическим полями;
- б) отклоняются магнитным и электрическим полями?

626. Какую частицу испустило ядро тория  $^{230}_{90}\text{Th}$ , если в результате радиоактивного распада оно превратилось в ядро радия  $^{226}_{88}\text{Ra}$ ?

627. Ядро полония-212 испытало один  $\alpha$ -распад. Ядро какого химического элемента образовалось при этом? Найдите этот элемент в таблице Менделеева.

628. В результате  $\beta$ -распада ядра какого химического элемента образовался висмут-210?

### Повышенный уровень

629. В результате двух последовательных  $\alpha$ -распадов ядра некоторого элемента образовалось ядро  $^{216}_{84}\text{Po}$ . Ядром какого химического элемента оно было до распада?

630. Напишите уравнение распада для радиоактивного изотопа свинца  $^{212}_{82}\text{Pb}$ , который испытал один  $\alpha$ -распад и два  $\beta$ -распада. Какой элемент образовался в результате этой последовательности распадов?

631. Пусть  $N_0$  — число радиоактивных атомов в начальный момент времени. Сколько радиоактивных ядер *распадётся* за время, равное:

- а) одному периоду полураспада?
- б) двум периодам полураспада?
- в) трём периодам полураспада?

*Совет.* Воспользуйтесь законом радиоактивного распада.

632. Заряд ядер каких химических элементов равен:

- а)  $4 \cdot 10^{-18}$  Кл;
- б)  $5,6 \cdot 10^{-18}$  Кл;
- в)  $8,8 \cdot 10^{-18}$  Кл?

*Совет.* Заряд ядра атома кратен модулю заряда электрона.

633. Могут ли отличаться заряды двух ядер с одним и тем же массовым числом? Если да, то являются ли эти ядра ядрами одного и того же химического элемента?

*Совет.* Заряд ядра определяется зарядовым, а не массовым числом.

634. С помощью таблицы Менделеева найдите несколько элементов, для ядер которых массовое число в 2 раза больше зарядового числа. Чему равно отношение числа протонов к числу нейтронов в таких ядрах?

*Совет.* Ядра одного и того же химического элемента имеют равные заряды.

635. Могут ли ядра атомов, имеющих различные заряды, быть изотопами одного и того же химического элемента?

636. Радиоактивный атом  $^{232}_{90}\text{Th}$  после нескольких  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов превратился в атом  $^{212}_{83}\text{Bi}$ . Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов произошло?

637. Радиоактивный уран  $^{238}_{92}\text{U}$  в результате нескольких  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов превратился в свинец  $^{198}_{82}\text{Pb}$ . Сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов произошло?

638. Ядро радия  $^{226}_{88}\text{Ra}$  испытало  $\alpha$ -распад. Какое количество протонов и нейтронов содержит ядро, образовавшееся в результате этого распада?

639. Ядро некоторого химического элемента, состоящее из 92 протонов и 144 нейтронов, испустило две  $\alpha$ -частицы и одну  $\beta$ -частицу. Сколько протонов и нейтронов содержит образовавшееся в результате распада ядро?

640. Какая часть первоначальных ядер некоторого изотопа останется через 5 с, если период его полураспада равен 1 с?

*Совет.* Воспользуйтесь законом радиоактивного распада.

641. За год число ядер некоторого радиоактивного изотопа уменьшилось в 10 раз. Во сколько раз уменьшится число ядер этого изотопа по сравнению с первоначальным за три года?

642. За 10 мин распалось 75 % начального числа ядер некоторого радиоактивного изотопа. Чему равен период полураспада этого изотопа?

*Совет.* Воспользуйтесь законом радиоактивного распада.

643. Миллиард ядер данного радиоактивного изотопа распадается в течение 20 мин. Сколько ядер распадётся за следующие 20 мин, если период полураспада данного изотопа равен 20 мин?

644. Чему равен период полураспада некоторого изотопа, если за 810 суток число радиоактивных ядер уменьшилось в 8 раз?

645. Сколько процентов ядер некоторого изотопа распадётся за 840 суток, если период полураспада этого изотопа составляет 120 суток?

### Высокий уровень

646. Какое число протонов и нейтронов содержит алюминиевый ( $^{27}_{13}\text{Al}$ ) образец массой 1 г?

647. Из образца, содержащего радиоактивные изотопы, каждую секунду вылетает  $3,7 \cdot 10^{10}$   $\alpha$ -частиц, средняя скорость которых равна  $1,5 \cdot 10^7$  м/с. Какая энергия выделяется при этом за 1 ч? Масса  $\alpha$ -частицы равна  $6,7 \cdot 10^{-27}$  кг.

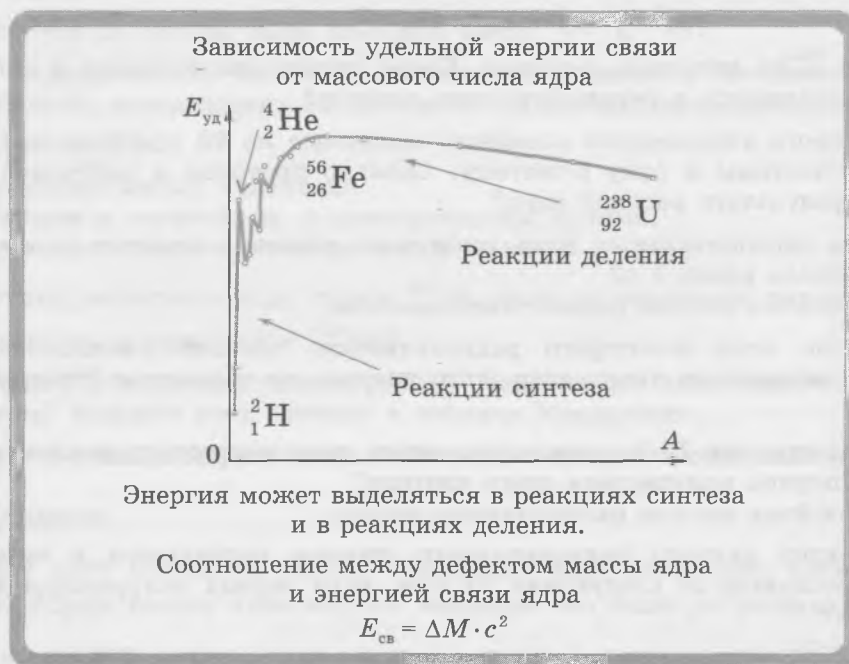
*Совет.* Найдите энергию одной движущейся  $\alpha$ -частицы.

648. Радиоактивный препарат, испускающий  $1,7 \cdot 10^{11}$   $\alpha$ -частиц в секунду, помещён в медный контейнер массой 0,5 кг. Средняя энергия одной  $\alpha$ -частицы равна 5,3 МэВ. За какое время температура контейнера повысится на 2 К? Примите, что энергия всех  $\alpha$ -частиц переходит во внутреннюю энергию медного контейнера.

649. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией, равной по модулю  $B$ , покоится радиоактивное нейтральное ядро. Оно испытывает  $\alpha$ -распад, в результате которого образуются  $\alpha$ -частица и ион с таким же по модулю зарядом. Масса  $\alpha$ -частицы  $m$ , масса иона  $M$ , их суммарная кинетическая энергия равна  $E$ . Ион и  $\alpha$ -частица движутся в магнитном поле по окружностям. Чему равны радиусы этих окружностей? Чем будет различаться движение иона и  $\alpha$ -частицы?

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения энергии и законом сохранения импульса.

# Ядерные реакции. Ядерная энергетика



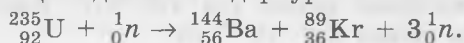
## ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

650. Запишите уравнение ядерной реакции, в результате которой возникают две  $\alpha$ -частицы при бомбардировке ядра изотопа лития  ${}^7_3\text{Li}$  быстрыми протонами.

651. Найдите дефект массы ядра изотопа углерода  ${}^{12}_6\text{C}$  (в атомных единицах массы) и энергию связи этого ядра (в джоулях и электронвольтах).

*Совет.* Учтите, что масса ядра этого изотопа равна 12 а.е.м.

652. Уравнение одной из реакций деления ядер урана имеет вид



Энерговыделение такой реакции для одного атома урана можно принять равным 200 МэВ.

а) Сколько ядер урана содержится в 1 г урана-235?

б) Какая энергия (в джоулях) выделяется при делении одного атома?

в) Какая энергия выделяется при делении ядер, содержащихся в 1 г урана-235?

г) Какую массу угля надо сжечь, чтобы выделилась такая же энергия? Удельную теплоту сгорания угля примите равной 22 МДж/кг.

*Совет.* а) Учтите, что массовое число равно относительной атомной массе, и найдите, какое число молей урана-235 содержится в 1 г. б) Воспользуйтесь тем, что  $1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ Дж}$ .

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ<sup>1)</sup>

### Базовый уровень

653. Определите, какой частице соответствует X в уравнении реакции  ${}^4_2\text{He} + {}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + \text{X}$ .

654. Уравнение ядерной реакции имеет вид  ${}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^{242}_{94}\text{Pu} \rightarrow \text{X} + 4{}^1_0n$ . Укажите порядковый номер синтезированного элемента в таблице Менделеева.

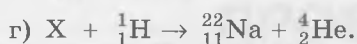
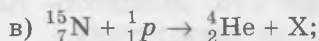
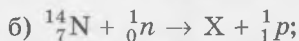
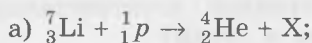
<sup>1)</sup> В заданиях к этому разделу буквой X обозначено ядро или частица, вид которых требуется определить.

655. Запишите уравнение ядерной реакции, описывающее бомбардировку ядер алюминия  ${}_{13}^{27}\text{Al}$  нейтронами, если в результате ядерной реакции образуются  $\alpha$ -частица и изотоп некоторого химического элемента.

656. При поглощении ядра дейтерия ядро бериллия  ${}_{4}^9\text{Be}$  превращается в ядро бора  ${}_{5}^{10}\text{B}$ . Запишите уравнение ядерной реакции и определите, какая частица образуется при этой реакции.

657. Определите, какая частица образуется в результате реакции  ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^4\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + \text{X}$ .

658. Допишите уравнения ядерных реакций:

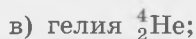


### Повышенный уровень

659. Чему равна энергия, выделившаяся при термоядерной реакции  ${}_{1}^2\text{H} + {}_{1}^3\text{H} \rightarrow {}_{2}^4\text{He} + {}_{0}^1\text{n}$ , если дефект массы в этой реакции равен 0,01851 а.е.м.?

660. Ядро урана  ${}_{92}^{235}\text{U}$  после поглощения нейтрона делится на два ядра: цезий  ${}_{55}^{140}\text{Cs}$  и рубидий  ${}_{37}^{94}\text{Rb}$ . Сколько нейтронов выделяется в такой ядерной реакции деления?

661. Используя справочные данные, определите дефект массы ядер:

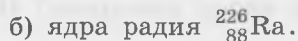


*Совет.* Для нахождения массы ядра надо вычесть из приведённого в справочных данных значения массы изотопа массу всех электронов атома.

662. Используя справочные данные, определите энергию связи ядер:



663. Используя справочные данные, определите удельную энергию связи ядер:



*Совет.* Удельной энергией связи ядра называют энергию связи, приходящуюся на *один* нуклон в этом ядре.

664. Чему равна энергия, выделившаяся при синтезе одного ядра гелия  ${}_{2}^4\text{He}$  из дейтерия и трития?

665. 100 м<sup>3</sup> воды доводят до кипения, используя энергию, выделившуюся в результате термоядерного синтеза гелия из дейтерия и трития. Примите, что КПД преобразования энергии равен 10%, а начальная температура воды равна 0 °С. Чему равна масса образовавшегося в этом процессе гелия? Какой объём займёт этот газ при нормальных условиях?

*Совет.* Найдите энергетический выход реакции при синтезе одного ядра гелия. Нормальным условиям соответствуют температура 273 К и давление  $10^5$  Па.

**666.** При бомбардировке ядер изотопа бора  $^{11}_5\text{B}$   $\alpha$ -частицами вылетают нейтроны. Напишите уравнение ядерной реакции. Чему равен энергетический выход этой реакции?

**667.** При бомбардировке ядер изотопа бора  $^{10}_5\text{B}$  нейтронами образуются  $\alpha$ -частицы. Напишите уравнение ядерной реакции. Чему равен энергетический выход этой реакции?

### Высокий уровень

**668.** Ядерный реактор атомной электростанции работает на уране-235, при распаде каждого ядра которого выделяется энергия 200 МэВ. Мощность атомной электростанции 1 ГВт, КПД электростанции 20 %. Какая масса урана расходуется в сутки?

*Совет.* Найдите число распавшихся за сутки ядер урана.

**669.** Ядерный реактор атомной электростанции работает на уране-235. Мощность АЭС равна 1 ГВт. Насколько уменьшается масса содержимого реактора за одни сутки?

*Совет.* Воспользуйтесь данными из условия предыдущей задачи.

**670.** В реакции  $^2_1\text{H} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^3_1\text{H} + ^1_1\text{p}$  выделяется энергия, равная 4,03 МэВ. Найдите, чему равна кинетическая энергия ядра трития, если кинетической энергией ядер водорода и дейтерия можно пренебречь по сравнению с кинетической энергией продуктов реакции.

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения импульса и законом сохранения энергии.

**671.** При  $\alpha$ -распаде неподвижного ядра франция образуется ядро астата, кинетическая энергия которого равна 0,1184 МэВ. Чему равен энергетический выход этой реакции? Массы ядра астата и  $\alpha$ -частицы примите равными 210 а.е.м. и 4 а.е.м.

## Элементарные частицы

### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

#### Повышенный уровень

**672.** Чему равна энергия, выделяющаяся при превращении электрона и позитрона (античастицы электрона) в два фотона? Примите, что кинетической энергией электрона и позитрона можно пренебречь.

*Совет.* При столкновении электрона и позитрона происходит их взаимное уничтожение, при этом выделяется энергия  $E = 2E_0$ .

**673.** Чему равна энергия, выделяющаяся при превращении нейтрона и антинейтрона (античастицы нейтрона) в два фотона? Примите, что кинетической энергией нейтрона и антинейтрона можно пренебречь.

*Совет.* При столкновении нейтрона и антинейтрона происходит их взаимное уничтожение, при этом выделяется энергия  $E = 2E_0$ .

**674.** Элементарная частица пи-нуль-мезон ( $\pi^0$ -мезон) распадается на два  $\gamma$ -кванта. Чему равна частота  $\gamma$ -излучения, если масса  $\pi^0$ -мезона в 264 раза больше массы электрона? Начальной кинетической энергией  $\pi^0$ -мезона можно пренебречь.

*Совет.* Найдите энергию  $\pi^0$ -мезона и воспользуйтесь зависимостью энергии кванта от частоты излучения.

#### Высокий уровень

**675.** Чему должна быть равна частота излучения, способного при взаимодействии с веществом вызвать рождение пары «электрон — позитрон»?

*Совет.* В процессе взаимодействия излучение передаёт импульс и энергию веществу. При этом энергия кванта должна быть больше суммарной энергии покоя электрон-позитронной пары.

**676.**  $\pi^0$ -мезон распадается на два  $\gamma$ -кванта. Чему равен модуль импульса одного из  $\gamma$ -квантов? Необходимые данные возьмите из условия одной из предыдущих задач. Кинетической энергией мезона можно пренебречь.

**МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ  
ПРИ ПОДГОТОВКЕ  
К ВСЕРОССИЙСКИМ  
ПРОВЕРОЧНЫМ РАБОТАМ  
И ЕДИНОМУ  
ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭКЗАМЕНУ**

## КИНЕМАТИКА

### Система отсчёта, траектория, путь и перемещение

Тело можно рассматривать как материальную точку, если:

- а) размеры тела малы по сравнению с расстоянием, пройденным телом.
- б) тело движется поступательно, то есть все его точки движутся одинаково.

1. Поступательно ли движутся педали велосипеда, едущего по прямой дороге?

*Совет.* Тело движется поступательно, если все его точки движутся одинаково.

2. Автомобиль проехал дважды по всему кольцевому шоссе длиной 100 км. Чему равен пройденный автомобилем путь?

*Совет.* Если тело проходит какой-то участок траектории  $n$  раз, то пройденный путь равен длине этого участка, умноженной на  $n$ .

3. Только один из графиков, изображённых на рисунке 1, может быть графиком зависимости пути от времени. Какой?

*Совет.* Путь не может быть отрицательным и не может уменьшаться со временем.

4. Какова траектория тела, если:

- а) модуль перемещения тела равен пройденному пути;
- б) перемещение тела равно нулю, но путь не равен нулю?

5. Длина минутной стрелки часов равна 10 см.

- а) Чему равен путь, пройденный концом стрелки за 1 ч?
- б) Чему равен модуль перемещения конца стрелки за 1 ч?
- в) Чему равен путь, пройденный концом стрелки за полчаса?
- г) Чему равен модуль перемещения конца стрелки за полчаса?

6. Автомобиль проехал от пункта  $A$  до пункта  $B$  по прямой дороге и на обратном пути остановился в пункте  $C$ , находящемся между  $A$  и  $B$ . Известно, что  $AB = 10$  км,  $AC = 4$  км.

- а) Сделайте чертёж по описанию данной ситуации.
- б) Выразите пройденный автомобилем путь  $l$  через  $AB$  и  $AC$ .
- в) Выразите модуль перемещения автомобиля  $s$  через  $AC$ .
- г) Во сколько раз пройденный автомобилем путь больше модуля его перемещения?

*Совет.* г) Выразите отношение  $\frac{l}{s}$  через  $AB$  и  $AC$ .

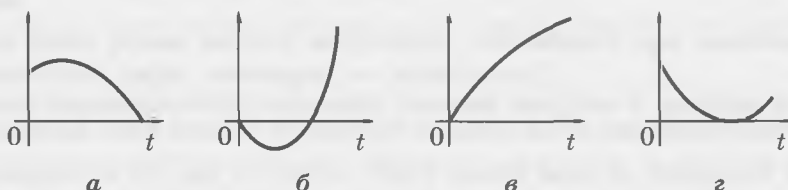
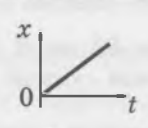


Рис. 1

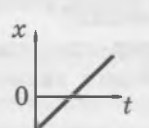
7. Падающий с начальной высоты мяч после удара о землю поднялся на некоторую высоту. Какую долю начальной высоты она составляет, если пройденный мячом к этому моменту путь оказался в 4 раза больше модуля его перемещения?

## Прямолинейное равномерное движение. Сложение скоростей



$$\bar{v} = \frac{\bar{s}}{t} \quad v_x = \frac{x}{t}$$

$$x = v_x t$$

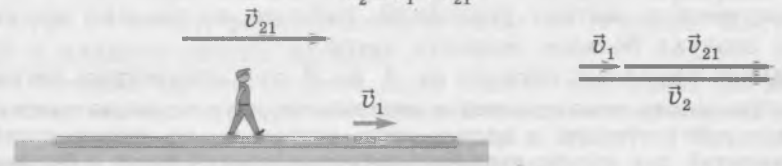


$$x = x_0 + v_x t$$

Средняя скорость на двух участках

$$v_{\text{ср}} = \frac{l_1 + l_2}{t_1 + t_2}$$

### Сложение скоростей

$$\bar{v}_2 = \bar{v}_1 + \bar{v}_{21}$$


8. На рисунке 2 изображены графики зависимости  $x(t)$  для пешехода и велосипедиста, движущихся вдоль оси  $x$ .

- Какой цифрой отмечен график зависимости  $x(t)$  для велосипедиста?
- Для какого графика проекция скорости на ось  $x$  отрицательна?

*Совет.* а) Найдите скорости движения, соответствующие каждому графику, и оцените, с какой скоростью может двигаться *пешеход* (не бегун).

### Средняя скорость

9. Автобус проезжает расстояние 40 км между двумя посёлками за 1 час. На сколько уменьшилась его средняя скорость, когда в расписании автобуса появились три остановки по 5 мин каждая?

*Совет.* Найдите время движения автобуса после добавления остановок.

10. Женя некоторое время ехал на велосипеде со скоростью 15 км/ч, а потом велосипед сломался, и Женя ещё *столько же времени* шёл, ведя велосипед со скоростью 5 км/ч. Чему равна средняя скорость Жени на всём пути?

11. Женя некоторое расстояние проехал на велосипеде со скоростью 15 км/ч, а потом ещё *такое же расстояние* прошёл, ведя велосипед со скоростью 5 км/ч. Чему равна средняя скорость Жени на всём пути?

### Сложение скоростей

12. По реке плывёт плот со скоростью  $\bar{v}_1$ , причём  $v_1 = 0,3$  м/с, а по плоту идёт человек со скоростью  $\bar{v}_{21}$  относительно *плота*, причём  $v_{21} = 1$  м/с.

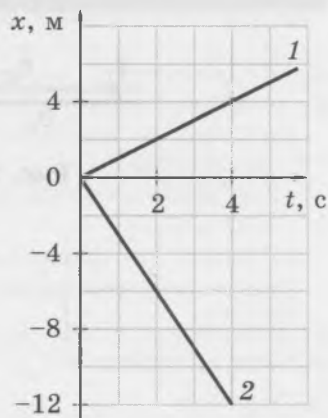


Рис. 2

- а) Чему равна и как направлена скорость  $\vec{v}_2$  человека относительно берега, если он идёт по плоту *в направлении* течения реки (рис. 3)?
- б) Чему равна и как направлена скорость  $\vec{v}_2$  человека относительно берега, если он идёт по плоту *противоположно* течению реки (рис. 4)?

13. От пристани  $A$  к пристани  $B$  отплыли одновременно плот и катер. Скорость катера относительно воды в 3 раза больше, чем скорость течения. Плот приплыл к пристани  $B$  через 1 час после отправления.

- а) Во сколько раз скорость катера относительно берега больше скорости течения, когда он плывёт по течению? против течения?
- б) За какой промежуток времени катер проплыл от  $A$  до  $B$ ? от  $B$  до  $A$ ?

*Совет.* а) Скорость катера относительно берега является векторной суммой скорости катера относительно воды и скорости течения.

14. Вертолёт пролетел при попутном ветре от  $A$  до  $B$  за 1,5 часа. Во время обратного перелёта направление и скорость ветра оставались прежними, а перелёт длился 1 ч 50 мин. Скорость вертолёта относительно воздуха всё время оставалась постоянной.

- а) Обозначьте модуль скорости вертолёта относительно воздуха  $v_{\text{вер}}$ , модуль скорости ветра  $v_{\text{вет}}$ , а расстояние между  $A$  и  $B$  обозначьте  $d$ . Времена перелёта при попутном и при встречном ветре обозначьте  $t_{\text{по}}$  и  $t_{\text{прот}}$ . Запишите систему уравнений, описывающих движение вертолёта при попутном и встречном ветре.
- б) Используя полученную систему уравнений, найдите, во сколько раз скорость вертолёта относительно воздуха больше скорости ветра.
- в) Сколько времени занял бы перелёт от  $A$  до  $B$  при отсутствии ветра?

*Совет.* б) Можно разделить одно уравнение системы на другое: левую часть первого уравнения разделить на левую часть второго, а правую часть первого — на правую часть второго. в) Запишите систему уравнений для времён движения по ветру, против ветра и без ветра. «Переверните» потом каждое из этих уравнений и составьте одно уравнение, в которое входят только указанные три промежутка времени. После сокращений вы получите одно уравнение с одним неизвестным.

15. Рыбак на моторной лодке переправляется через реку. При этом скорость лодки *относительно воды* перпендикулярна скорости течения и равна 2 м/с. Ширина реки 60 м, скорость течения 1 м/с. На рисунке 5 схематически показаны некоторые положения лодки во время переправы.

- а) Чему равен модуль скорости лодки относительно берега?



Рис. 3



Рис. 4

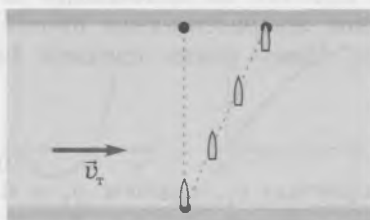


Рис. 5

- б) За какое время рыбак переправится через реку?  
 в) На какое расстояние вдоль берега снесёт лодку за время переправы?  
 г) Чему равен угол между направлением скорости лодки относительно берега и перпендикуляром к берегу?  
 д) Чему равен модуль перемещения лодки относительно берега за время переправы?

*Совет.* а) Согласно правилу сложения скоростей  $\vec{v}_{лб} = \vec{v}_{лв} + \vec{v}_т$ , где  $\vec{v}_{лб}$  — скорость лодки относительно берега,  $\vec{v}_{лв}$  — скорость лодки относительно воды,  $\vec{v}_т$  — скорость течения (рис. 6). Воспользуйтесь теоремой Пифагора. б) Удобно перейти в систему отсчёта, связанную с плотом, плывущим по течению: в этой системе отсчёта скорость лодки направлена перпендикулярно берегу, откуда следует, что время переправы  $t = \frac{d}{v_{лв}}$ , где  $v_{лв}$  — скорость лодки относительно воды,  $d$  — ширина реки. в) Поскольку скорость лодки относительно воды направлена перпендикулярно берегу, расстояние  $b$ , на которое снесёт лодку, выражается формулой  $b = v_т t$ , где  $v_т$  — скорость течения. г) Воспользуйтесь тем, что  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_т}{v_{лв}}$ .

**16.** Лодочнику надо переправиться на моторной лодке через реку шириной 60 м в точку Б, расположенную *точно напротив* начальной точки А (рис. 7). Скорость лодки относительно воды 2 м/с, а скорость течения 1 м/с. На рисунке показаны промежуточные положения лодки, чтобы обратить внимание на то, что для переправы в точку Б лодка должна держать курс на точку, расположенную *выше* по течению. Поставьте три вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них.

*Совет.* Найдите с помощью чертежа скорость лодки относительно берега как векторную сумму скорости лодки относительно воды и скорости течения. Возможные вопросы: а) Какой угол составляет скорость лодки *относительно воды* с перпендикуляром к берегу? б) Чему равна скорость лодки относительно берега? в) Сколько времени займёт переправа?



Рис. 6

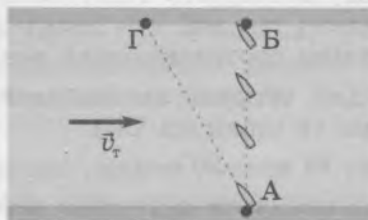
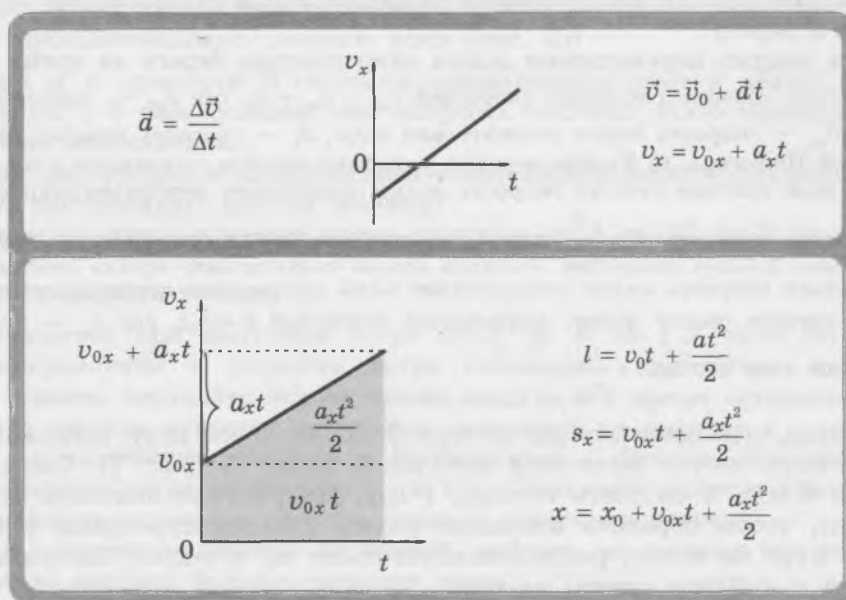


Рис. 7

# Прямолинейное равноускоренное движение



## Ускорение

17. Как изменяется модуль скорости тела, если:

- ускорение направлено так же, как начальная скорость;
- ускорение направлено противоположно начальной скорости?

18. Зависимость  $v_x(t)$  для четырёх автомобилей, движущихся вдоль оси  $x$ , выражается следующими формулами (в единицах СИ):

- $v_x = 8 + 2t$ ;
- $v_x = 20 - 4t$ ;
- $v_x = -10 + t$ ;
- $v_x = -15 - 3t$ .

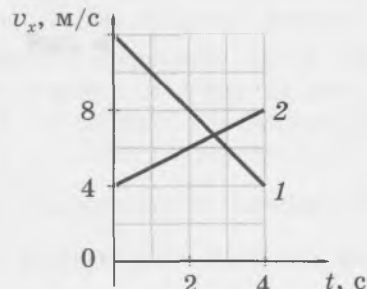
Какие автомобили разгоняются в течение первых трёх секунд наблюдения, а какие — тормозят?

*Совет.* Модуль скорости тела увеличивается, если начальная скорость и ускорение направлены одинаково, то есть если проекции начальной скорости и ускорения имеют *одинаковый знак*.

## График зависимости скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении

19. На рисунке 8 изображены графики зависимости проекции скорости от времени для двух автомобилей, движущихся вдоль оси  $x$ .

- Какой из автомобилей тормозит? Чему равен модуль его ускорения?
- У какого автомобиля модуль ускорения меньше? Чему он равен?
- Запишите формулы, выражающие зависимость  $v_x(t)$  для каждого автомобиля в единицах СИ.



20. Зависимость проекций скорости на ось  $x$  от времени для двух тел выражается в единицах СИ формулами  $v_{1x} = 6 - 3t$ ,  $v_{2x} = 2 + t$ .

- Постройте графики  $v_{1x}(t)$  и  $v_{2x}(t)$  на одном чертеже.
- В какой момент времени скорости тел равны?

Рис. 8

- в) В какие моменты времени скорости тел равны *по модулю*?  
 Совет. б) Векторные величины равны, если они равны по модулю и *одинаково направлены*.

## Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении

21. Тело движется из состояния покоя с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ . Чему равны пути, пройденные телом: за 1 с; 2 с; 3 с; 4 с? Заметили ли вы простую закономерность?

22. Автомобиль трогается с места и движется с постоянным ускорением. За первые 4 с он проехал 20 м. Определите *устно*, какое расстояние проедет автомобиль: а) за 8 с; б) за 16 с?

Совет. Воспользуйтесь тем, что пройденный путь пропорционален *квадрату* времени движения: например, при увеличении времени движения в 2 раза пройденный путь увеличивается в 4 раза.

23. Зависимость координаты тела от времени выражается в единицах СИ формулой  $x = 6 - 5t + t^2$ .

- а) Чему равна начальная координата тела?  
 б) Чему равна проекция начальной скорости?  
 в) Чему равна проекция ускорения?

24. Автомобиль тронулся с места и, двигаясь с постоянным ускорением, достиг скорости 10 м/с, проехав 40 м. Определите *устно*, какой путь проехал автомобиль к моменту, когда его скорость равна: а) 20 м/с; б) 40 м/с?

Совет. При равноускоренном движении без начальной скорости пройденный путь пропорционален *квадрату* конечной скорости.

25. Проехав 200 м, автомобиль разогнался от скорости 10 м/с до 30 м/с.

- а) С каким ускорением двигался автомобиль?  
 б) За какое время автомобиль проехал указанный путь?  
 в) Чему равна средняя скорость автомобиля?

26. Путь, пройденный тормозящим автомобилем до остановки, называют тормозным путём. При экстренном торможении ускорение автомобиля равно по модулю  $5 \text{ м/с}^2$ . Чему равен тормозной путь автомобиля при начальной скорости 60 км/ч (максимальная разрешённая скорость в городе)?

27. Автомобиль въехал на некоторый участок прямой дороги со скоростью  $v_1 = 40 \text{ км/ч}$ , а съехал с него со скоростью  $v_2 = 80 \text{ км/ч}$ . Весь участок автомобиль проехал с постоянным ускорением за время  $t = 2 \text{ мин}$ .

- а) Выведите формулу, выражающую длину участка  $d$  через  $v_1$ ,  $v_2$  и  $t$ .  
 б) Чему равна длина участка?

Совет. а) Воспользуйтесь тем, что путь численно равен площади фигуры, заключённой под графиком зависимости скорости от времени, а также тем, что площадь трапеции равна произведению полусуммы её оснований на высоту.

28. Автобус отошёл от остановки и за 12 с разогнался до скорости 72 км/ч, двигаясь с постоянным ускорением. Какова средняя скорость автобуса во время разгона? Есть ли в условии лишние данные?

29. Докажите, что пути, проходимые за равные последовательные промежутки времени при прямолинейном равноускоренном движении без начальной скорости, относятся как последовательные нечётные числа, начиная с единицы:

$$l_1 : l_2 : l_3 \dots = 1 : 3 : 5 \dots$$

Совет. См. рисунок 9.

30. Автомобиль разгоняется с места, двигаясь равноускоренно. За первую секунду он проехал 2 м. Какое расстояние он проехал за *третью* секунду? Попробуйте решить задачу *устно*.

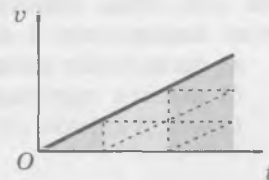


Рис. 9

# Движение с ускорением свободного падения

## Свободное падение тела без начальной скорости

31. Выразите конечную скорость  $v$  свободно падающего без начальной скорости тела через время падения  $t$  и ускорение свободного падения  $g$ .
32. Свободно падающее без начальной скорости тело упало на землю со скоростью 40 м/с. Сколько времени падало тело?
33. Выразите начальную высоту  $h$ , с которой свободно падает тело без начальной скорости, через время падения  $t$  и ускорение свободного падения.
34. Найдите пути, проходимые свободно падающим телом за первую, вторую, третью и четвёртую секунды падения. Заметили ли вы простую закономерность?
35. Найдите выражение для конечной скорости  $v$  тела, свободно падающего без начальной скорости с высоты  $h$ .
36. Чему была бы равна скорость дождевых капель, падающих с высоты 2 км, если бы они падали свободно?

## Движение тела, брошенного вертикально вверх<sup>1)</sup>

37. Зависимость скорости от времени для тела, движущегося с ускорением свободного падения, выражается формулой  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$ . Запишите это уравнение в проекциях на вертикально направленную ось  $y$ . Постройте график зависимости проекции скорости от времени.
38. Тело брошено вертикально вверх. Выразите время подъёма тела  $t_{\text{под}}$  до верхней точки траектории через  $v_0$  и  $g$ .  
*Совет.* Время подъёма  $t_{\text{под}}$  удовлетворяет уравнению  $v_0 - gt_{\text{под}} = 0$ .
39. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 30 м/с. Сколько времени тело будет двигаться *вверх*?
40. Выведите формулу, выражающую зависимость  $y(t)$  для тела, брошенного вертикально вверх со скоростью  $v_0$ . Ось  $y$  направлена вертикально вверх.
41. Тело брошено вверх со скоростью 30 м/с. На какой высоте будет находиться тело через 2 с после броска? через 4 с? Как объяснить полученные ответы?
42. Выведите формулу, выражающую высоту  $h$  верхней точки траектории брошенного вертикально вверх тела, через  $v_0$  и  $g$ .
43. Выразите время полёта брошенного вертикально вверх тела  $t_{\text{пол}}$  до его падения на землю через модуль начальной скорости  $v_0$  и  $g$ .
44. Два тела одновременно бросили вверх. Второе тело упало на землю на 4 с позже, чем первое. Насколько начальная скорость второго тела больше, чем начальная скорость первого тела?
45. Два тела одновременно бросили вверх. Когда первое тело упало на землю, второе тело находилось в верхней точке траектории. Во сколько раз:
  - а) начальная скорость второго тела больше, чем начальная скорость первого тела;
  - б) высота подъёма второго тела больше, чем высота подъёма первого?*Совет.* В данном случае время подъёма второго тела в 2 раза больше времени подъёма первого тела.

<sup>1)</sup> Далее в этом разделе мы предполагаем, что сопротивлением воздуха можно пренебречь. Если начальная высота тела не указана, предполагается, что тело брошено с поверхности земли.

## Движение тела, брошенного горизонтально

При решении задач о движении тела, брошенного *горизонтально* со скоростью  $\vec{v}_0$  с высоты  $h$  над поверхностью земли, удобно выбрать систему координат так, как показано на рисунке 10.

46. Тело брошено горизонтально с начальной скоростью  $v_0$ . Запишите выражения для проекций  $\vec{v}_0$  и  $\vec{g}$  на оси координат. Ось  $x$  направьте горизонтально по направлению начальной скорости тела, а ось  $y$  — вертикально вверх.

47. Запишите выражения для проекций  $\vec{v}_0$  и  $\vec{g}$  на оси координат и, используя их, запишите уравнение  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$  в проекциях на оси координат в виде системы двух уравнений.

48. Выведите формулы, выражающие зависимость координат  $x$  и  $y$  тела от времени.

49. Тело брошено горизонтально с начальной скоростью 20 м/с с высоты 10 м. На какой высоте будет находиться тело через 1 с после броска? Есть ли в условии лишние данные?

50. Как записать условие падения тела на землю?

51. Выведите формулу для времени  $t_{\text{пол}}$  полёта тела до его падения на землю.

*Совет.* Время полёта  $t_{\text{пол}}$  удовлетворяет уравнению  $h - \frac{gt_{\text{пол}}^2}{2} = 0$ .

52. Выразите дальность  $l$  полёта тела до его падения на землю через  $v_0$ ,  $h$  и  $g$ .

*Совет.* Дальность полёта  $l$  удовлетворяет уравнению  $l = v_0 t_{\text{пол}}$ . Воспользуйтесь найденным выражением для времени полёта  $t_{\text{пол}}$ .

53. Как изменится дальность полёта горизонтально брошенного тела, если увеличить в 4 раза: а) начальную скорость тела; б) начальную высоту тела?

54. С отвесной скалы высотой 5 м горизонтально бросают камешки с начальными скоростями 5 м/с, 10 м/с и 20 м/с. На каком расстоянии от основания скалы упадут камешки? Задачу можно решить *устно*.

*Совет.* Найдите время движения каждого камешка.

## Движение тела, брошенного под углом к горизонту

55. Тело брошено с начальной скоростью  $\vec{v}_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту (рис. 11). Запишите выражения для проекций начальной скорости  $\vec{v}_0$  на оси координат, показанные на рисунке.

56. Запишите уравнение  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$  в проекциях на оси координат (см. рис. 11) в виде системы двух уравнений.

57. Выведите формулы, выражающие зависимость координат  $x$  и  $y$  тела от времени.

58. Тело брошено под углом  $30^\circ$  к горизонту с начальной скоростью 20 м/с.

а) На каком расстоянии от точки бросания (по горизонтали) будет находиться тело через 1 с после броска? через 2 с после броска?

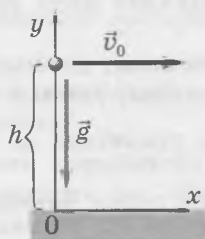


Рис. 10

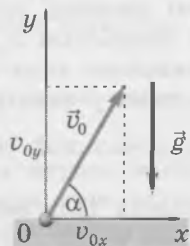


Рис. 11

б) На какой высоте будет находиться тело через 1 с после броска? Через какой промежуток времени после броска координата  $y$  тела станет снова равной нулю?

*Совет.* а) Воспользуйтесь формулой, выражающей зависимость  $x(t)$ . б) Воспользуйтесь формулой, выражающей зависимость  $y(t)$ .

59. Выразите время полёта тела (до падения на землю) через  $v_0$  и  $\alpha$ . Докажите, что время всего полёта в 2 раза больше времени подъёма тела до верхней точки траектории.

*Совет.* Воспользуйтесь формулой  $y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$  и учтите, что в момент падения тела его координата  $y = 0$ . Время подъёма тела можно определить из условия  $v_y = 0$ .

60. Выразите дальность  $l$  полёта тела через  $v_0$  и  $\alpha$ .

*Совет.* Воспользуйтесь формулой  $x = v_0 \cos \alpha \cdot t$  и формулой  $t_{\text{пол}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$  для времени полёта тела, полученной при решении предыдущей задачи.

61. Футболист ударил по мячу, придав ему начальную скорость 20 м/с. Мяч упал на землю на расстоянии 34,6 м от начального положения.

а) Под каким углом к горизонту могла быть направлена начальная скорость мяча?

б) Какой вывод следует из того, что в этой задаче есть два ответа?

62. При каком угле бросания *дальность* полёта тела, брошенного под углом к горизонту с одной и той же по модулю начальной скоростью, *максимальна*?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой для дальности полёта  $l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ . Максимальное значение синуса угла равно 1.

63. Выразите высоту  $h$  подъёма тела в общем случае через  $v_0$  и  $\alpha$ .

64. При каком угле бросания *высота* подъёма тела, брошенного под углом к горизонту с той же по модулю начальной скоростью, *максимальна*?

*Совет.* Вспомните, при каком угле значение синуса угла максимально.

65. Посылая ударами ноги лежащий на земле мяч в полёт с одной и той же по модулю начальной скоростью, но под разными углами к горизонту, футболист обнаружил, что мяч падает на землю не далее 40 м от его начального положения. На какую максимальную высоту мог подниматься мяч при ударах?

*Совет.* Найдите начальную скорость мяча, исходя из того, что максимальная дальность полёта равна 40 м. Вспомните, при каком угле бросания высота подъёма максимальна.

### Последний этап падения тела

66. Тело, свободно падающее с некоторой высоты без начальной скорости, пролетело последний участок пути длиной  $l$  за промежуток времени  $\tau$ .

а) Что *ещё* известно о движении тела на последнем этапе?

б) Запишите систему уравнений, справедливую для последнего этапа падения. Обозначьте  $v_k$  конечную скорость тела (непосредственно перед касанием земли), а  $v_1$  — скорость тела в момент, когда ему осталось пролететь до земли расстояние  $l$ .

в) Используя записанную систему уравнений, получите одно уравнение с *одним* неизвестным — конечной скоростью  $v_k$ .

г) Выразите конечную скорость тела  $v_k$  через величины, данные в описании ситуации.

д) Выразите начальную высоту тела  $h$  через величины, данные в описании ситуации.

67. Свободно падающее без начальной скорости тело пролетело за последнюю секунду падения 30 м.

а) Чему была равна скорость тела непосредственно перед падением?

б) Сколько времени падало тело?

в) С какой высоты падало тело?

68. Свободно падающее без начальной скорости тело пролетело за последнюю секунду падения в 2 раза большее расстояние, чем за предпоследнюю секунду.

- Сколько времени падало тело?
- Чему была равна скорость тела непосредственно перед падением на землю?
- С какой высоты падало тело?

*Совет.* Запишите выражения для путей, пройденных телом за одну и две последние секунды. Воспользуйтесь приведённым в условии соотношением между этими путями, и вы получите одно уравнение с одним неизвестным — конечной скоростью тела.

### Одинаковая дальность полёта при двух разных углах бросания

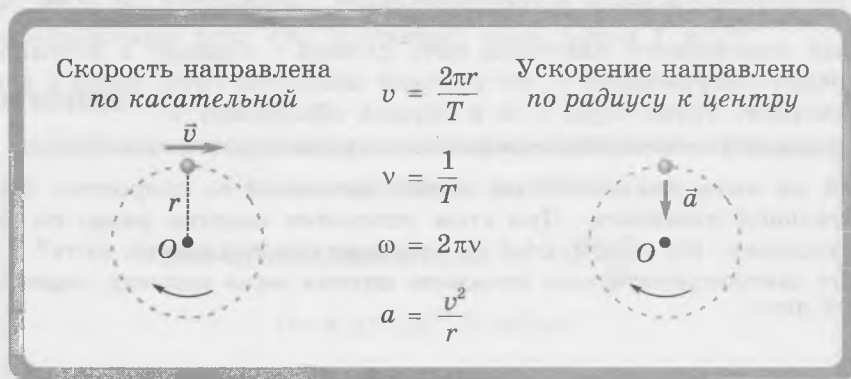
69. Как связаны углы бросания  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , для которых дальность полёта тела *одинакова* при одинаковой по модулю начальной скорости?

70. Дальность  $l$  полёта двух тел, брошенных под *различными* углами к горизонту с *одинаковой* по модулю начальной скоростью, одинакова и равна 60 м. Один угол больше другого на  $48^\circ$ .

- Чему равны углы бросания?
- Чему равна начальная скорость тел?
- На какое максимальное расстояние можно бросить тело с той же по модулю начальной скоростью?
- На какую максимальную высоту можно бросить тело с той же по модулю начальной скоростью?

*Совет.* а) Воспользуйтесь тем, что сумма углов, для которых дальность полёта одинакова при той же начальной скорости, равна  $90^\circ$ . б) Воспользуйтесь выражением для дальности полёта тела, брошенного под углом к горизонту.

### Равномерное движение по окружности



71. Тело равномерно движется по окружности и совершает один полный оборот за 4 с. В начальный момент тело находится в точке A (рис. 12). Перенесите рисунок в тетрадь и изобразите на нём скорость тела в точках A, B, C, D. На какой угол поворачивается скорость тела за *каждую* секунду? За *каждую* 0,1 с?

*Совет.* Угол поворота скорости пропорционален времени движения.

72. Чему равны:

- периоды обращения секундной и минутной стрелок часов;
- частоты их обращения?

73. Радиус вращающегося горизонтального колеса аттракциона 8 м. Чему равны период и частота его обращения, когда пассажиры движутся с ускорением, равным по модулю ускорению свободного падения?

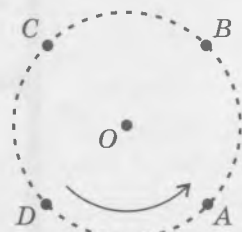


Рис. 12

74. Чему равны угловые скорости секундной и минутной стрелок часов?

В задачах о движении транспорта (например, автомобиля или велосипеда) указывается часто, что колёса катятся *без проскальзывания*. Это означает, что скорость нижней точки колеса, которая в *данный момент* соприкасается с дорогой, равна нулю в системе отсчёта, связанной с дорогой. На это может указывать, например, чёткий отпечаток шин.

Чтобы найти скорость и ускорение любой точки колеса (например, автомобиля) в системе отсчёта, связанной с дорогой, удобно перейти сначала в систему отсчёта, связанную с данным автомобилем, а затем снова вернуться в систему отсчёта, связанную с дорогой.

75. Автомобиль едет с постоянной скоростью  $v$  по прямой дороге.

а) Изобразите схематически колесо автомобиля, катящееся без проскальзывания, и обозначьте на рисунке ось колеса  $O$  и точку  $A$  обода колеса, скорость которой равна нулю в системе отсчёта, связанной с дорогой. Изобразите скорость точки  $O$  в системе отсчёта, связанной с дорогой.

б) Сделайте другой рисунок, на котором изобразите скорость точек  $O$  и  $A$  в системе отсчёта, связанной с автомобилем.

в) Изобразите на том же рисунке скорость верхней точки колеса  $B$  в системе отсчёта, связанной с автомобилем.

г) Сделайте третий рисунок, на котором изобразите скорости точек  $O$ ,  $A$  и  $B$  в системе отсчёта, связанной с дорогой.

*Совет.* б) При переходе в систему отсчёта, связанную с автомобилем, надо из скорости каждой точки векторно вычесть скорость автомобиля  $\vec{v}$  (чтобы скорость самого автомобиля в связанной с ним системе отсчёта была равна нулю). в) Скорости *всех* точек обода колеса в системе отсчёта, связанной с автомобилем, равны по модулю. г) Согласно правилу сложения скоростей при переходе в систему отсчёта, связанную с дорогой, надо к скорости каждой точки прибавить скорость автомобиля  $\vec{v}$ .

*Конический маятник* представляет собой подвешенный на нити груз, который равномерно движется по окружности в горизонтальной плоскости (рис. 13).

76. При движении конического маятника нить длиной  $l$  образует с вертикалью угол  $\alpha$ .

а) Выразите радиус окружности  $r$ , по которой движется груз, через  $l$  и  $\alpha$ .

б) Выразите скорость груза через  $l$ ,  $\alpha$  и период обращения  $T$ .

в) Выразите центростремительное ускорение  $a$  груза через  $l$ ,  $\alpha$  и  $T$ .

77. Подвешенный на нити длиной 80 см шарик движется со скоростью 2 м/с по окружности в горизонтальной плоскости. При этом ускорение шарика равно по модулю ускорению свободного падения. На какой угол от горизонтали отклонена нить?

*Совет.* Выразите центростремительное ускорение шарика через скорость шарика, длину нити и угол отклонения нити.

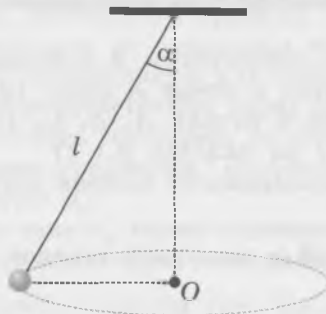


Рис. 13

# ДИНАМИКА

## Три закона Ньютона

<p>Первый закон Ньютона Инерциальная система отсчёта:</p> $\vec{v} = \text{const}$ 	<p>Второй закон Ньютона</p> $\vec{F} = m\vec{a}$ 	<p>Третий закон Ньютона</p> $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ 
--	--	---

78. Тело равномерно движется по окружности. Как направлена равнодействующая приложенных к телу сил?

*Совет.* Вспомните, как направлено ускорение тела, равномерно движущегося по окружности.

79. Может ли тело двигаться в направлении, *противоположном* направлению равнодействующей всех сил, приложенных к телу? Приведите пример, подтверждающий ваш ответ.

*Совет.* Рассмотрите движение тела, брошенного вертикально вверх.

80. К покоящемуся шару массой 2 кг приложены две силы, модуль каждой из которых равен 1,2 Н. За 2 с шар переместился на 1,2 м.

- С каким ускорением двигался шар?
- Чему равна равнодействующая приложенных к шару сил?
- Изобразите на чертеже приложенные к телу силы и их равнодействующую.
- Чему равен угол между приложенными к шару силами?

81. К шару массой 5 кг приложены силы, равные по модулю 4 Н и 3 Н. При каком угле между направлениями этих сил ускорение шара равно 1 м/с<sup>2</sup>?

## Силы тяготения

**Закон всемирного тяготения**

Для материальных точек  $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$$

Условия применимости


$$g = G \frac{M_{\text{зем}}}{R_{\text{зем}}^2}$$

Первая космическая скорость

$$v_1 = \sqrt{R_{\text{зем}} g} \approx 8 \text{ км/с}$$


82. Обозначим  $F$  модуль сил, с которыми две материальные точки массой  $m$  каждая притягивают друг друга. Чему равны модули сил, с которыми притягиваются материальные точки массой  $2m$  и  $3m$ , находящиеся на таком же расстоянии?

83. Обозначим  $M_C$  массу Солнца,  $m$  — массу планеты,  $R$  — радиус её орбиты,  $v$  — модуль скорости планеты.

а) Выразите ускорение  $a$  планеты через заданные величины.

б) Выразите модуль  $F$  силы притяжения планеты Солнцем через заданные величины и гравитационную постоянную.

в) Выразите скорость планеты через гравитационную постоянную, массу Солнца и радиус орбиты планеты.

*Совет.* а) вспомните формулу для центростремительного ускорения. в) воспользуйтесь найденными выражениями для силы и ускорения и вторым законом Ньютона.

84. Выразите скорость движения Земли по орбите через массу Солнца, расстояние от Земли до Солнца и гравитационную постоянную. Найдите численное значение этой скорости.

*Совет.* воспользуйтесь справочными данными.

85. Выразите период  $T$  обращения планеты через гравитационную постоянную, массу Солнца и радиус орбиты планеты.

*Совет.* вспомните или выведите формулу, которая связывает период обращения, скорость и радиус окружности при равномерном движении тела по окружности.

86. Выразите ускорение свободного падения  $g$  через гравитационную постоянную, массу Земли и её радиус.

*Совет.* приравняйте выражение для силы тяжести, полученное с использованием закона всемирного тяготения, выражению  $F_T = mg$ .

87. Выразите ускорение свободного падения на высоте  $h$  над поверхностью Земли через  $h$ , гравитационную постоянную, массу Земли и её радиус.

*Совет.* тело, находящееся на высоте  $h$  над поверхностью Земли, находится на расстоянии  $R_{\text{Зем}} + h$  от центра Земли.

88. Тело находится над поверхностью Земли на расстоянии, равном радиусу Земли. Во сколько раз ускорение свободного падения для этого тела меньше, чем ускорение свободного падения на поверхности Земли?

89. Выразите первую космическую скорость через радиус Земли и ускорение свободного падения на поверхности Земли.

*Совет.* воспользуйтесь тем, что центростремительное ускорение спутнику сообщает сила тяжести.

90. Выразите первую космическую скорость через гравитационную постоянную, массу Земли и её радиус.

91. Используя закон всемирного тяготения, докажите, что для всех планет Солнечной системы отношение куба радиуса орбиты к квадрату периода обращения одинаково (третий закон Кеплера).

92. Выразите ускорение свободного падения  $g$  на поверхности планеты через её радиус  $R$  и среднюю плотность  $\rho$ .

*Совет.* сначала выразите массу планеты через  $R$  и  $\rho$ . Затем приравняйте два выражения для силы тяжести, действующей на тело, находящееся на поверхности этой планеты: первое — через ускорение свободного падения, второе — с использованием формулы закона всемирного тяготения.

93. Выразите первую космическую скорость для планеты через радиус планеты  $R$  и её среднюю плотность  $\rho$ .

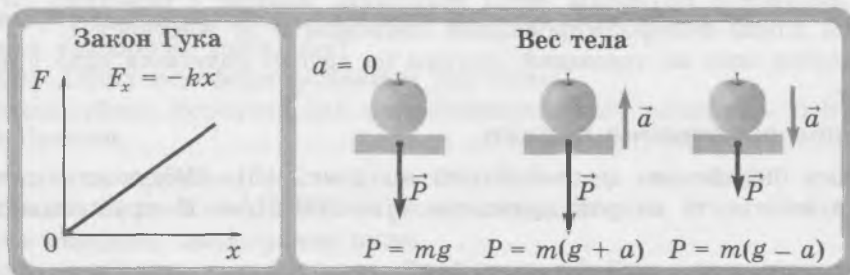
94. Найдите выражение для периода обращения искусственного спутника, движущегося вокруг планеты радиусом  $R$  и средней плотностью  $\rho$  на низкой орбите.

95. Астронавт высадился на неизвестную планету радиусом  $R = 3000$  км. Поверхность

планеты оказалась усеянной небольшими камешками, и астронавт стал бросать их под разными углами к горизонту с начальной скоростью  $v_0 = 15$  м/с. Оказалось, что все камешки упали на расстоянии от астронавта, не превышающем  $l = 45$  м. Чему равна средняя плотность этой планеты? Атмосфера на планете отсутствует.

*Совет.* Наибольшая дальность полёта достигается при угле бросания  $45^\circ$ .

## Силы упругости



### Закон Гука

96. Когда к недеформированной пружине подвешивают груз массой 1 кг, длина пружины увеличивается на 5 см. Чему равна жёсткость пружины?

97. На рисунке 14 приведены графики зависимости модуля силы упругости от модуля деформации для трёх пружин.

- У какой пружины наибольшая жёсткость?
- Во сколько раз жёсткость первой пружины больше, чем жёсткость третьей?
- Чему равна жёсткость второй пружины?

### Вес тела, движущегося с ускорением

98. В каких из приведённых случаев вес человека больше действующей на него силы тяжести, а в каких — меньше?

- Лифт разгоняется при подъёме.
- Лифт разгоняется при спуске.
- Лифт тормозит при подъёме.
- Лифт тормозит при спуске.

*Совет.* Ускорение человека направлено вверх, когда лифт разгоняется при подъёме или тормозит при спуске, и направлено вниз, когда лифт разгоняется при спуске или тормозит при подъёме.

99. На весах в движущемся лифте лежит килограммовая гиря. В некоторый момент времени весы показывают 800 г.

- Как направлено при этом ускорение лифта?
- Чему оно равно?
- Как направлена скорость лифта?

100. Шарик брошен вертикально вверх. В какие моменты полёта он находится в состоянии невесомости? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

*Совет.* Если можно пренебречь сопротивлением воздуха, то на тело во время всего полёта действует только сила тяжести.

### Удлинение и длина пружины

101. К пружине длиной 10 см и жёсткостью 300 Н/м подвешивают груз массой 600 г. Чему будет равна длина пружины, когда груз будет находиться в равновесии?

*Совет.* Надо определить не удлинение, а длину пружины.

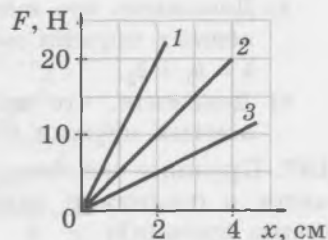


Рис. 14

102. Когда пружина растянута силой  $F_1 = 20$  Н, её длина  $l_1 = 14$  см, а когда она растянута силой  $F_2 = 40$  Н, её длина  $l_2 = 16$  см.

- Обозначьте длину недеформированной пружины  $l_0$ , а жёсткость пружины  $k$ . Запишите систему уравнений, связывающих эти величины с величинами, данными в описании ситуации.
- Выразите длину недеформированной пружины через величины, данные в описании ситуации.
- Выразите жёсткость пружины через величины, данные в описании ситуации.
- Чему равны длина недеформированной пружины и её жёсткость?

*Совет.* б) Разделите одно из уравнений системы на другое: получится одно уравнение с одним неизвестным  $l_0$ .

### Последовательное соединение пружин

103. Две пружины соединены *последовательно* (рис. 15). Жёсткость первой пружины  $k_1 = 100$  Н/м, а жёсткость второй пружины  $k_2 = 200$  Н/м. К пружинам подвешен груз массой 200 г.

- Чему равно удлинение каждой пружины?
- Чему равно удлинение  $x$  системы двух последовательно соединённых пружин?
- Чему равна жёсткость системы данных последовательно соединённых пружин?
- Докажите, что жёсткость  $k$  системы двух последовательно соединённых пружин

жёсткостью  $k_1$  и  $k_2$  можно найти по формуле  $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$ .

- Докажите, что жёсткость системы двух *последовательно* соединённых пружин *меньше* жёсткости любой из этих пружин.

104. К двум последовательно соединённым пружинам подвешен груз массой 3 кг. Удлинение системы пружин равно 6 см. Жёсткость первой пружины в 3 раза больше, чем второй.

- Чему равна жёсткость системы пружин?
- Чему равна жёсткость каждой пружины?
- Чему равно удлинение каждой пружины?

105. Пружину жёсткостью 100 Н/м разрезали пополам. Чему равна жёсткость каждой из получившихся пружин?

*Совет.* Исходную пружину можно рассматривать как последовательно соединённые одинаковые половинки пружины.

### Параллельное соединение пружин

106. Две одинаковые пружины жёсткостью 100 Н/м каждая соединены *параллельно* (рис. 16). К пружинам подвешен груз массой 200 г. При этом удлинения пружин одинаковы.

- Чему равна сила упругости каждой пружины?
- Чему равно удлинение каждой пружины?
- Чему равно удлинение  $x$  системы этих пружин?
- Чему равна жёсткость системы этих пружин?
- Докажите, что жёсткость  $k$  системы двух параллельно соединённых пружин жёсткостью  $k_1$  и  $k_2$  можно найти по формуле  $k = k_1 + k_2$ .
- Докажите, что жёсткость системы двух *параллельно* соединённых пружин *больше* жёсткости любой из этих пружин.

107. Пружину жёсткостью  $k = 50$  Н/м разрезали на три равные части и соединили параллельно. Чему равна жёсткость этой системы пружин?

*Совет.* Учтите, что жёсткость каждой из получившихся пружин в 3 раза больше жёсткости исходной пружины.



Рис. 15

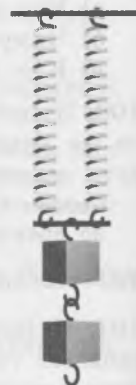


Рис. 16

## Применение закона Гука к движению тела с ускорением

108. В гладкий стол вмонтирован вертикальный стержень, к которому прикреплена горизонтальная пружина жёсткостью  $k = 100 \text{ Н/м}$ . К другому концу пружины прикреплен шарик массой  $m = 100 \text{ г}$  (на рисунке 17 показан вид сверху). Шарик равномерно движется по окружности радиусом  $R = 20 \text{ см}$  со скоростью  $v = 2 \text{ м/с}$ .

- С каким ускорением движется шарик?
- Какая сила сообщает шарiku ускорение?
- Чему равна сила упругости?
- Чему равно удлинение пружины?
- Чему равна длина недеформированной пружины?

*Совет.* а) Воспользуйтесь формулой для центростремительного ускорения. в) Воспользуйтесь вторым законом Ньютона.

109. Подвешенный на пружине жёсткостью  $200 \text{ Н/м}$  шар массой  $400 \text{ г}$  совершает вертикальные колебания. В начальный момент шар находится на  $3 \text{ см}$  ниже положения равновесия, причём скорость шара равна нулю.

- Чему равно ускорение шара в начальный момент? Как оно направлено?
- Чему равен вес шара в начальный момент?

*Совет.* Найдите деформацию пружины в начальном состоянии. Затем найдите силу упругости и равнодействующую сил, приложенных к шару в начальный момент.

## Силы трения

$$F_{\text{тр. ск}} = \mu N$$

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N$$

### Сила трения скольжения

110. На рисунке 18 приведены графики зависимости силы трения скольжения от силы нормальной реакции для двух брусков, скользящих по столу.

- Для какого бруска коэффициент трения больше?
- Чему равны коэффициенты трения для каждого из брусков?

111. По столу после толчка скользит брусок массой  $200 \text{ г}$ . Начальная скорость бруска  $1 \text{ м/с}$ . Коэффициент трения между бруском и столом равен  $0,2$ .

- Изобразите на чертеже все действующие на брусок силы. Какие из них уравновешивают друг друга?
- Чему равна действующая на брусок сила нормальной реакции?
- Чему равна действующая на брусок сила трения?
- Чему равна равнодействующая всех приложенных к бруску сил?
- Чему равно ускорение бруска и как оно направлено?
- Какой путь проедет брусок до остановки?
- Как изменились бы ответы на предыдущие вопросы, если бы начальная скорость бруска была равна  $2 \text{ м/с}$ ?

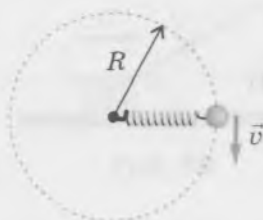


Рис. 17

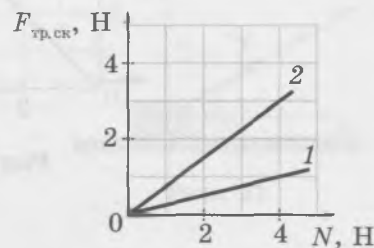


Рис. 18

## Сила трения покоя

Модуль силы трения покоя  $F_{\text{тр. пок}}$  не превышает некоторого предельного значения, которое называют *максимальной силой трения покоя*. При решении школьных задач по физике её принимают равной силе трения скольжения<sup>1)</sup>.

Отсюда следует, что сила трения покоя удовлетворяет *двум* соотношениям:

- а) она равна по модулю силе  $F_{\text{сдв}}$ , направленной вдоль соприкасающихся поверхностей и стремящейся сдвинуть тело:

$$F_{\text{тр. пок}} = F_{\text{сдв}};$$

- б) она не превышает максимальную силу трения покоя, которую при решении школьных задач принимают равной силе трения скольжения:

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N.$$

Из этих двух соотношений следует, что *тело сдвинется с места*, если выполняется неравенство

$$F_{\text{сдв}} > \mu N.$$

112. На столе лежит брусок массой 300 г. Коэффициент трения между бруском и столом равен 0,5.

- а) Чему равна максимальная сила трения покоя между бруском и столом?  
б) Какая или какие из приведённых горизонтально направленных сил сдвинут брусок с места: 1 Н; 2 Н; 3 Н?

*Совет.* Брусок сдвинется с места, если приложенная к нему сила превышает максимальную силу трения покоя.

113. К лежащему на столе бруску массой 1 кг прикладывают горизонтальную силу, равную по модулю  $F$ . Коэффициент трения между бруском и столом равен 0,3. Чему равна действующая на брусок со стороны стола сила трения, если: а)  $F = 2$  Н; б)  $F = 5$  Н?

114. На столе находится брусок массой 1 кг. На рисунке 19 изображён график зависимости действующей на брусок силы трения от приложенной к нему горизонтально направленной силы  $F$ .

- а) Перенесите график в тетрадь и надпишите, какая часть графика соответствует силе трения скольжения, а какая — силе трения покоя.  
б) Чему равен коэффициент трения между бруском и столом?

*Совет.* б) Сила трения покоя равна по модулю сдвигающей силе, а сила трения скольжения зависит только от силы нормальной реакции и коэффициента трения. Найдите силу нормальной реакции, действующую на брусок.

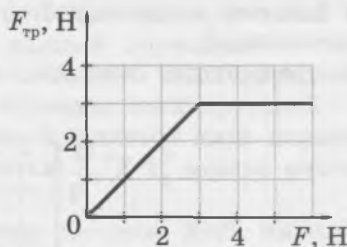


Рис. 19

1) В действительности максимальная сила трения покоя несколько превышает силу трения скольжения, но при решении задач в школьном курсе физики это обычно не учитывают.

Сила трения покоя действует на *ведущие* колёса автомобиля при разгоне автомобиля. Ведущие колёса приводятся во вращение двигателем и толкают дорогу *назад*. А дорога согласно третьему закону Ньютона толкает автомобиль *вперёд*.

В условиях задач о максимально возможном ускорении автомобиля при заданном коэффициенте трения между колёсами и дорогой обычно оговаривают, что все колёса автомобиля — ведущие. В таком случае максимальная сила трения покоя между колёсами и дорогой, сообщающая автомобилю ускорение, равна произведению силы нормальной реакции на коэффициент трения.

**115.** Чему равно максимально возможное ускорение автомобиля со всеми ведущими колёсами, если коэффициент трения между колёсами и дорогой равен 0,5?

### Движение под действием силы, направленной под углом к горизонту

**116.** Брусок массой  $m = 200$  г *равномерно* перемещают по столу, прикладывая силу  $\vec{T}$ , направленную под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту (рис. 20). Коэффициент трения между бруском и столом  $\mu = 0,4$ .

- Введите оси координат, как показано на рисунке 21. Перенесите чертёж в тетрадь и изобразите на нём все силы, действующие на брусок.
- Запишите выражения для проекций всех приложенных к бруску сил.
- Чему равна равнодействующая приложенных к бруску сил?
- Запишите второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси  $x$ ,  $y$ .
- Какое ещё соотношение справедливо для данной ситуации?
- Используя полученную систему трёх уравнений, выразите  $T$ ,  $N$ ,  $F_{\text{тр}}$  через  $m$ ,  $\alpha$ ,  $\mu$ ,  $g$ .
- Чему равны  $T$ ,  $N$ ,  $F_{\text{тр}}$ ?

*Совет.* а) На брусок действуют сила тяжести, сила нормальной реакции, сила трения *скольжения* (по условию брусок *движется*) и сила  $\vec{T}$ . в) По условию брусок движется *равномерно*. д) Вспомните, как выражается сила трения скольжения через силу нормальной реакции и коэффициент трения. е) Удобно сначала подставить выражение для силы трения в первое из двух уравнений, выражающих второй закон Ньютона в проекциях. Вы получите систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными —  $T$  и  $N$ .

**117.** По столу движется брусок массой 500 г под действием силы, равной по модулю 2 Н и направленной вверх под углом  $30^\circ$  к горизонту. Коэффициент трения между бруском и столом 0,3. Чему равно ускорение бруска?

*Совет.* Выберите оси координат как в рассмотренной выше ситуации, запишите второй закон Ньютона в проекциях на эти оси, а также соотношение между силой трения скольжения и силой нормальной реакции.

**118.** Движущийся вертикально вверх брусок прижимают к стене силой, равной по модулю 10 Н и направленной вверх под углом  $30^\circ$  к вертикали. Масса бруска 1 кг, коэффициент трения между бруском и стеной 0,25. Чему равно и как направлено ускорение бруска?

*Совет.* Обратите внимание на то, что в начальный момент брусок движется вертикально вверх. Это позволяет определить направление действующей на него силы трения скольжения.

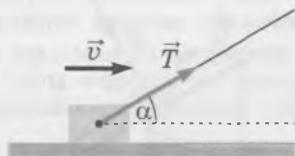


Рис. 20

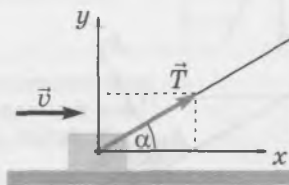


Рис. 21

## Тело на наклонной плоскости

### Тело на гладкой наклонной плоскости

119. На рисунке 22 изображены силы, действующие на брусок массой  $m$ , находящийся на *гладкой* наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha$ .

- Назовите действующие на брусок силы.
- Запишите второй закон Ньютона для бруска в векторной форме.
- Запишите выражения для проекций сил, действующих на брусок, и ускорения бруска на показанные на рисунке 22 оси координат.
- Запишите второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат в виде системы уравнений.
- Найдите выражение для модуля ускорения бруска.
- Почему ускорение бруска не зависит от его массы?
- При каком угле наклона плоскости модуль ускорения бруска в 2 раза меньше модуля ускорения свободного падения?
- Найдите выражение для модуля действующей на брусок силы нормальной реакции. Оно понадобится далее, когда надо будет учитывать силу трения.
- При каком угле наклона плоскости модуль действующей на брусок силы нормальной реакции в 2 раза меньше силы тяжести?

120. Брусок соскальзывает с верхней точки гладкой наклонной плоскости с углом наклона  $30^\circ$  до её нижней точки. Начальная скорость бруска равна нулю, а длина наклонной плоскости равна 2 м.

- С каким ускорением движется брусок?
- Сколько времени будет скользить брусок вдоль всей наклонной плоскости?
- Чему равна скорость бруска в конце спуска?

121. Брусок скользит после толчка вверх по гладкой наклонной плоскости и возвращается в начальную точку. Начальная скорость бруска  $v_0$ , угол наклона плоскости  $\alpha$ .

- Запишите выражение для времени  $t_1$  движения бруска по наклонной плоскости *вверх*.
- Запишите выражение для времени  $t_2$  движения бруска по наклонной плоскости *вниз*.
- Запишите выражение для пути  $l$ , пройденного бруском до возвращения в начальную точку.

*Совет.* в) Пройденный бруском путь в 2 раза больше, чем расстояние, которое пройдёт брусок вверх вдоль наклонной плоскости после толчка.

### Тело на шероховатой наклонной плоскости

122. Может ли тело покоиться на *гладкой* наклонной плоскости? Обоснуйте свой ответ.

*Совет.* Чтобы тело находилось в покое, равнодействующая приложенных к нему сил должна быть равна нулю.

123. На рисунке 23 изображены силы, действующие на брусок массой  $m$ , *покоющийся* на шероховатой наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha$ .

- Назовите действующие на брусок силы.

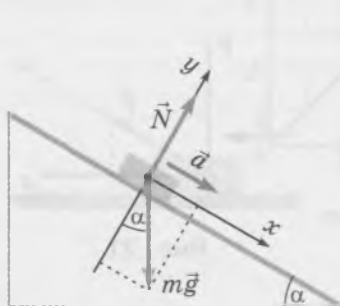


Рис. 22

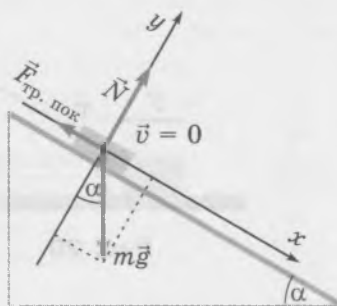


Рис. 23

- б) Почему сила трения покоя направлена вдоль наклонной плоскости *вверх*?
- в) Запишите второй закон Ньютона для покоящегося бруска в векторной форме.
- г) Запишите выражения для проекций сил, действующих на брусок, на показанные на рисунке 23 оси координат.
- д) Запишите второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат в виде системы уравнений.
- е) Получите из этой системы уравнений выражения для силы трения покоя и силы нормальной реакции.
- ж) Запишите неравенство, справедливое для силы трения покоя.
- з) Подставив в написанное неравенство полученные выражения для силы трения покоя и силы нормальной реакции, получите неравенство, которое связывает угол наклона плоскости  $\alpha$  с коэффициентом трения  $\mu$ .

Итак, тело может находиться *в покое* на наклонной плоскости, если выполняется неравенство

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \mu.$$

Это неравенство можно использовать для *измерения коэффициента трения* на опыте.

**124.** Брусок начал соскальзывать с доски длиной 1 м, когда один из её концов подняли на 40 см. Чему равен коэффициент трения между доской и бруском?

*Совет.* Синус угла наклона, при котором брусок начал скользить, равен 0,4. Найдите значение этого угла, а затем — значение его тангенса. Искомый коэффициент трения равен тангенсу этого угла.

**125.** На рисунке 24 изображены силы, действующие на брусок массой  $m$ , скользящий *вниз* по шероховатой наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha$ .

- а) Назовите действующие на брусок силы.
- б) Почему сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости *вверх*?
- в) Запишите второй закон Ньютона для скользящего бруска в векторной форме.
- г) Запишите второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат в виде системы уравнений.
- д) Выразите силу трения скольжения через коэффициент трения и силу нормальной реакции.
- е) Подставьте выражение для силы трения скольжения в систему уравнений, выражающих второй закон Ньютона. Вы получите систему двух уравнений. Считая в них неизвестными ускорение бруска  $a$  и силу нормальной реакции  $N$ , выразите ускорение бруска через угол наклона плоскости и коэффициент трения.

**126.** На наклонную плоскость с углом наклона  $\alpha = 30^\circ$  кладут брусок. Коэффициент трения между бруском и плоскостью равен 0,4. Начнёт ли брусок соскальзывать с наклонной плоскости, и если да, то чему будет равно его ускорение?

**127.** Брусок движется по наклонной плоскости вниз с начальной скоростью 2 м/с. Угол наклона плоскости  $30^\circ$ . Коэффициент трения между бруском и плоскостью 0,7.

- а) Будет скорость бруска увеличиваться или уменьшаться?
- б) Чему равен модуль ускорения бруска?
- в) Какой путь пройдёт брусок до остановки?

*Совет.* а) Сравните значения силы трения скольжения со значением равнодействующей силы тяжести и силы нормальной реакции (напомним, что она выражается в данном случае формулой  $mg \sin \alpha$ ).

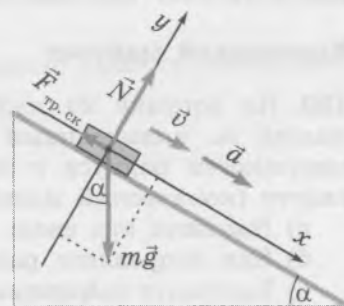


Рис. 24

# Равномерное движение по окружности под действием нескольких сил

## Поворот транспорта на горизонтальной дороге

Центростремительное ускорение автомобиля при повороте на горизонтальной дороге обусловлено силой трения покоя  $\vec{F}_{\text{тр. пок}}$  между шинами и дорогой (рис. 25).

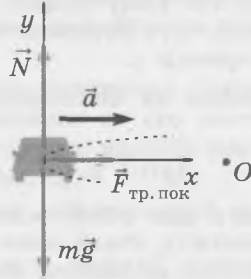


Рис. 25

128. Автомобиль, движущийся со скоростью  $v$ , совершает поворот на горизонтальной дороге по дуге окружности радиусом  $r$ . Коэффициент трения между колёсами автомобиля и дорогой равен  $\mu$ .

- Используя рисунок 25, запишите второй закон Ньютона для автомобиля в проекциях на показанные на рисунке оси координат в виде системы двух уравнений.
- Запишите неравенство, которому удовлетворяет сила трения покоя.
- Выведите неравенство, которому должна удовлетворять скорость автомобиля  $v$  при заданных значениях  $r$  и  $\mu$ .
- Выведите неравенство, которому должен удовлетворять радиус поворота  $r$  при заданных значениях  $v$  и  $\mu$ .
- Выведите неравенство, которому должен удовлетворять коэффициент трения  $\mu$  при заданных значениях  $v$  и  $r$ .

129. Каков наименьший радиус окружности, по которой автомобиль может равномерно двигаться со скоростью 60 км/ч, если коэффициент трения между колёсами и дорогой равен 0,5?

## Конический маятник

130. На рисунке 26 изображены силы, действующие на груз массой  $m$ , подвешенный на нити длиной  $l$  и движущийся по окружности радиуса  $r$  со скоростью  $v$  в горизонтальной плоскости (конический маятник).

- Назовите эти силы.
- Как направлена равнодействующая этих сил?
- Запишите выражения для проекций сил, действующих на груз, а также для проекций ускорения груза на эти оси.
- Запишите второй закон Ньютона для груза в проекциях на показанные на рисунке оси координат.
- Выразите  $F_{\text{нат}}$  и  $v$  через  $m$ ,  $l$  и  $\alpha$ .
- Выразите период обращения груза  $T$  через  $l$  и  $\alpha$ .

Совет. а) Вспомните, как направлена равнодействующая сил, приложенных к телу, которое равномерно движется по окружности.  
г) Вспомните выражение для центростремительного ускорения.

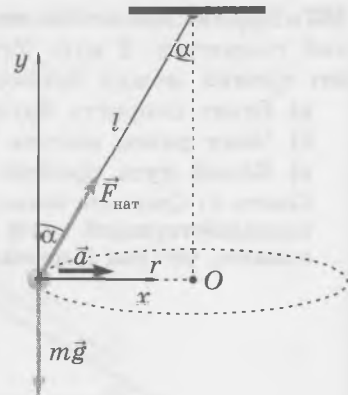


Рис. 26

Выразите радиус окружности  $r$ , по которой движется груз, через  $l$  и  $\alpha$ . е) Воспользуйтесь соотношениями  $T = \frac{2\pi r}{v}$ ,  $r = l \sin \alpha$  и уже полученным выражением для  $v$ .

**131.** Подвешенный на нити длиной 50 см груз массой 100 г движется по окружности в горизонтальной плоскости. Сила натяжения нити равна 2 Н.

- На какой угол отклонена нить от вертикали?
- Чему равен радиус окружности?
- Чему равна скорость груза?
- Чему равен период обращения груза?

### Движение по окружности в полусфере и в конусе

**132.** Небольшая шайба массой  $m = 50$  г равномерно движется со скоростью 2 м/с по горизонтальной окружности радиусом  $r = 20$  см внутри *гладкой* полусферы (рис. 27).

- Изобразите на чертеже все силы, действующие на шайбу. Какая из этих сил «играет роль» силы натяжения нити для конического маятника?
- Чему равно ускорение шайбы?
- Чему равен угол между действующей на шайбу силой нормальной реакции и вертикалью?
- Чему равна действующая на шайбу сила нормальной реакции?
- Чему равен радиус *полусферы*?
- Чему равна частота обращения шайбы?

*Совет.* В этой задаче главное — «узнать» конический маятник, хотя в условии речь идёт о полусфере.

**133.** Небольшая шайба движется по горизонтальной окружности радиусом  $r = 30$  см по *гладкой* внутренней поверхности *конуса* (рис. 28). Угол между образующей конуса и вертикалью  $\alpha = 60^\circ$ . Чему равен период обращения шайбы  $T$ ?

*Совет.* Сделайте чертёж (см. рис. 29).

### Движение системы тел

При рассмотрении движения системы тел надо:

- изобразить на чертеже все силы, действующие на *каждое* тело системы;
- записать уравнения второго закона Ньютона для *каждого* тела в проекциях на выбранные оси координат; учесть при этом третий закон Ньютона;
- учесть уточняющие слова в условии: например, что связывающая тела нить является лёгкой и нерастяжимой.

В результате получится *система уравнений*. С её помощью можно вывести *соотношения между заданными и искомыми величинами*.



Рис. 27



Рис. 28

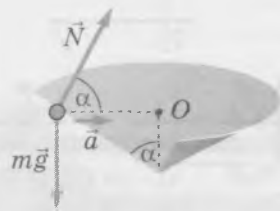


Рис. 29

### Тела движутся в одном направлении

134. На гладком столе находятся два бруска массами  $m_1$  и  $m_2$ , связанные лёгкой нерастяжимой нитью (рис. 30). К первому бруску приложена горизонтально направленная сила  $\vec{F}$ .

- Используя рисунок, назовите силы, действующие на каждый брусок.
- Какие силы уравнивают друг друга?
- Почему силы  $\vec{T}_1$  и  $\vec{T}_2$  равны по модулю?
- Равны ли ускорения брусков? Обоснуйте свой ответ.
- Запишите уравнение второго закона Ньютона для первого бруска в проекциях на показанные оси координат. Модуль силы натяжения нити обозначьте  $T$ , а ускорения брусков обозначьте  $a$ .
- Запишите уравнение второго закона Ньютона для второго бруска в проекциях на показанные оси координат.
- Используя полученные системы уравнений, найдите выражения для модуля ускорения брусков  $a$  и модуля силы натяжения нити  $T$ .

Совет. г) Учтите, что по условию нить *нерастяжимая*. ж) Достаточно использовать первые уравнения каждой системы.

135. Два бруска, связанные лёгкой нерастяжимой нитью, скользят с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$  по гладкому столу под действием горизонтальной силы  $4 \text{ Н}$ , приложенной к первому бруску. Сила натяжения нити  $1 \text{ Н}$ . Чему равны массы брусков?

### Тела движутся в разных направлениях

136. Брусок массой  $m_6$  находится на гладком столе (рис. 31). Он связан лёгкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок, с грузом массой  $m_r$ . Трением в блоке и массой блока можно пренебречь.

- Изобразите на чертеже силы, действующие на брусок и на груз. Назовите эти силы.
- Равны ли по модулю ускорения тел? Равны ли по модулю силы натяжения нити, действующие на брусок и на груз? Обоснуйте свои ответы.
- Запишите второй закон Ньютона для бруска и груза в проекциях на показанные на рисунке оси координат (обозначьте  $a$  модуль ускорения тел,  $T$  — модуль силы натяжения нити).
- Используя полученные уравнения, выразите модуль ускорения тел и силу натяжения нити через  $m_6$  и  $m_r$ .

137. Два груза массами  $m$  и  $M$  подвешены на концах лёгкой нерастяжимой нити, переброшенной через блок (рис. 32), причём  $M > m$ . Трением в блоке и его массой можно пренебречь.

- Перенесите рисунок в тетрадь и изобразите на нём силы, действующие на каждый груз. Назовите эти силы.
- Как направлены ускорения грузов? Изобразите их на чертеже.
- Равны ли по модулю ускорения грузов? Равны ли по модулю силы натяжения нити, действующие на грузы? Обоснуйте свои ответы.

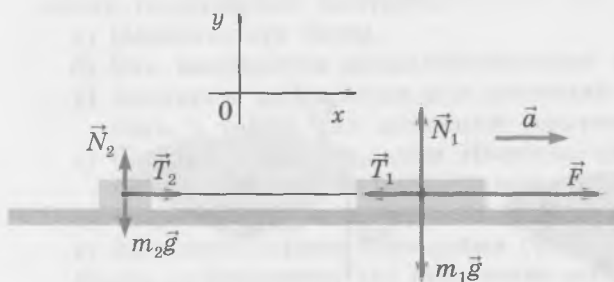


Рис. 30

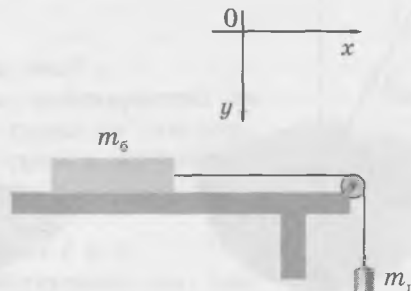


Рис. 31

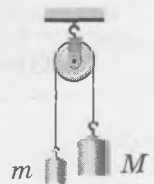


Рис. 32

- г) Запишите второй закон Ньютона для грузов в проекциях на ось  $x$ , направленную вертикально вниз (обозначьте  $a$  модуль ускорения грузов,  $T$  — модуль силы натяжения нити).
- д) Используя полученные уравнения, выразите модуль ускорения грузов и силу натяжения нити через  $M$  и  $m$ .
- е) Одинаков ли вес грузов? Обоснуйте свой ответ.

138. Два груза, массами  $M = 450$  г каждый, подвешены на концах лёгкой нерастяжимой нити, переброшенной через блок. Когда на один из грузов положили перегрузок массой  $m$ , грузы стали двигаться с ускорением, модуль которого  $a = 1$  м/с<sup>2</sup>. Трением в блоке и его массой можно пренебречь.

- а) Чему равна масса перегрузка  $m$ ?
- б) Чему равен вес перегрузка  $P$  во время его движения?

139. Цилиндры массами  $m_1 = 100$  г и  $m_2 = 150$  г подвешены с помощью одного подвижного и одного неподвижного блоков (рис. 33). Нить лёгкая и нерастяжимая, трением в блоках и их массой можно пренебречь.

- а) Запишите соотношение между проекциями ускорений цилиндров.
- б) Запишите второй закон Ньютона для цилиндров в проекциях на ось  $x$  в виде системы уравнений. Обозначьте модуль силы натяжения нити  $T$ .
- в) Используя полученные уравнения, найдите выражения для проекций ускорений цилиндров через их массы.
- г) Как направлены ускорения первого и второго цилиндров?
- д) Выразите силу натяжения нити через массы цилиндров.
- е) Чему равен вес каждого цилиндра?

140. Брусok массой  $m_1 = 400$  г находится на гладкой наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha = 30^\circ$  (рис. 34). Брусok связан лёгкой нерастяжимой нитью с цилиндром массой  $m_2 = 100$  г.

- а) Запишите соотношение между проекциями ускорений бруска и цилиндра на соответствующие оси координат.
- б) Запишите второй закон Ньютона для бруска и цилиндра в проекциях на оси координат, показанные на рисунке.
- в) Выразите проекцию ускорения бруска на ось  $x_1$  через массы бруска и цилиндра и угол наклона плоскости.
- г) Как направлены ускорения бруска и цилиндра при заданных значениях массы тел и угла наклона плоскости?
- д) Чему равны ускорения бруска и цилиндра?

Совет. г) Найдите знак проекции ускорения бруска на ось  $x_1$ .

141. На гладком столе один на другом лежат два бруска (рис. 35). Масса верхнего бруска  $m_{\text{в}} = 1$  кг, масса нижнего бруска  $m_{\text{н}} = 200$  г. Коэффициент трения между брусками  $\mu = 0,4$ . К верхнему бруску прикладывают горизонтально направленную силу  $\vec{F}$ , равную по модулю 20 Н.

- а) Какие силы действуют на верхний брусок?
- б) Какие силы действуют на нижний брусок?

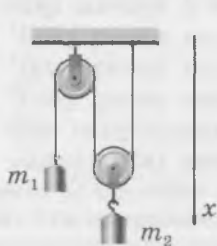


Рис. 33

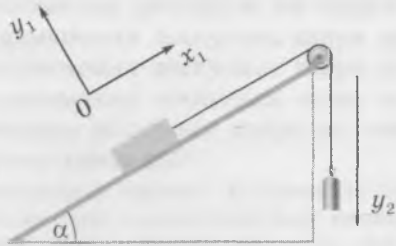


Рис. 34



Рис. 35

- в) Запишите второй закон Ньютона в проекциях на ось  $x$  для каждого бруска, предположив, что между ними действуют силы трения *скольжения*. Подставьте в эти уравнения выражения для сил трения скольжения.
- г) Найдите ускорения брусков при заданных в условии значениях величин.
- д) Могут ли полученные значения ускорений брусков быть правильными? Обоснуйте ваш ответ.

Итак, предположение, что между брусками действуют силы трения *скольжения*, привело к противоречию. Значит, между брусками действуют силы трения *покоя*.

- е) Запишите второй закон Ньютона в проекциях на ось  $x$  для каждого бруска, предположив, что между ними действуют силы трения *покоя*.
- ж) Найдите ускорение брусков при заданных в условии значениях величин.
- з) Чему равен модуль сил трения покоя, действующих между брусками?
- и) Сила трения покоя не может превышать силу трения скольжения. Выполняется ли это неравенство для силы трения покоя в данном случае?
- к) С каким максимально возможным ускорением может двигаться нижний брусок?
- л) Какую горизонтальную силу надо приложить к верхнему бруску, чтобы «сорвать» его с нижнего бруска?

*Совет.* д) Учтите, что нижний брусок не может двигаться с большим ускорением, чем верхний. е) В этом случае оба бруска движутся с одинаковым ускорением, модуль которого можно обозначить  $a$ . ж) Сложите уравнения. и) Найдите значение силы трения скольжения. к) Найдите максимальную силу трения, которая может действовать на нижний брусок. л) Чтобы приложенная к верхнему бруску сила сдвинула его относительно нижнего бруска, верхний брусок должен двигаться с ускорением, которое превышает максимально возможное ускорение нижнего бруска. Модуль равнодействующей приложенных к верхнему бруску сил равен  $F - \mu m_b g$ .

**142.** На рисунке 36 изображена система тел. Стол гладкий, нить лёгкая и нерастяжимая, массы брусков  $m_n = 0,5$  кг,  $m_b = 0,3$  кг, масса груза  $m_r = 0,2$  кг. В начальный момент груз придерживают, все тела покоятся. Трением в блоке и массой блока можно пренебречь. В некоторый момент груз отпускают без толчка.

- а) При каком коэффициенте трения между брусками они будут двигаться как единое целое?
- б) Чему будут равны ускорения брусков, если коэффициент трения между ними равен 0,5?
- в) Чему будут равны ускорения брусков, если коэффициент трения между ними равен 0,1?

*Совет.* Обратите внимание: в данном случае с большим ускорением может двигаться только *нижний* брусок.

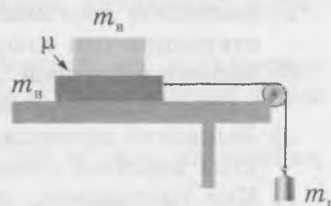


Рис. 36

# ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

## Импульс. Закон сохранения импульса

Импульс тела

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

Импульс силы

$$\vec{F}\Delta t$$

Соотношение между изменением импульса тела и импульсом равнодействующей

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

Закон сохранения импульса

Для замкнутой системы тел

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots = \text{const}$$

### Импульс

143. Грузовик массой 3 т движется по шоссе на север со скоростью 40 км/ч. По тому же шоссе едет легковой автомобиль массой 1 т. Как направлена и чему равна его скорость, если *векторная* сумма импульсов грузовика и легкового автомобиля равна нулю?

*Совет.* Векторная сумма двух векторов равна нулю, если эти векторы равны по модулю и направлены противоположно.

144. Бильярдный шар массой 300 г, движущийся со скоростью 2 м/с, ударяется о борт. В результате удара направление скорости шара изменяется на противоположное, а модуль скорости не изменяется. Обозначим  $\vec{p}_1$  начальный импульс шара, а  $\vec{p}_2$  — конечный.

а) Чему равен модуль импульса шара до удара и после удара?

б) Запишите соотношение между  $\vec{p}_1$  и  $\vec{p}_2$ .

в) Найдите *изменение* импульса  $\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$  графически с помощью правила вычитания векторов. Выразите  $\Delta\vec{p}$  через начальный импульс  $\vec{p}_1$ . Как направлен вектор  $\Delta\vec{p}$ ?

г) Чему равно  $\frac{\Delta p}{p_1}$ ?

### Импульс силы и изменение импульса тела

145. Мяч после удара о стену отскочил от неё. Непосредственно перед ударом и сразу после удара скорость мяча направлена горизонтально и равна по модулю 5 м/с. Чему равна средняя сила давления мяча на стену во время удара, если масса мяча 400 г, а продолжительность удара 0,04 с?

*Совет.* Найдите, чему равен модуль изменения импульса мяча при ударе.

146. Шар массой 1 кг равномерно движется по окружности со скоростью 1 м/с.

а) Чему равен модуль изменения импульса шара за один полный период обращения?

б) Чему равен модуль изменения импульса шара за половину периода обращения?

в) Чему равен модуль изменения импульса шара за четверть периода обращения?

г) Как направлено изменение импульса шара за очень малый (по сравнению с периодом обращения) промежуток времени?

*Совет.* б) Сделайте пояснительный чертёж. в) Сделайте пояснительный чертёж. г) Воспользуйтесь тем, что изменение импульса тела равно импульсу равнодействующей приложенных к телу сил. Вспомните, как направлена равнодействующая сил, приложенных к телу, которое равномерно движется по окружности.

147. Камень массой 100 г брошен под углом  $30^\circ$  к горизонту со скоростью 20 м/с. Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- Через какой промежуток времени после броска импульс камня будет направлен горизонтально?
- Чему равен модуль изменения импульса камня за промежуток времени, о котором говорится в предыдущем вопросе?

*Совет.* а) Импульс камня направлен горизонтально в верхней точке траектории. б) Воспользуйтесь формулой  $\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t$  и найденным значением времени полёта до верхней точки траектории.

148. Лежащему на столе бруску массой  $m = 400$  г сообщили толчком начальную скорость 4 м/с. Коэффициент трения между бруском и столом равен 0,2.

- Чему равен модуль равнодействующей сил, действующих на брусок при его скольжении по столу?
- Чему равен модуль изменения импульса бруска за первую секунду после толчка?
- Чему равен модуль изменения импульса бруска за вторую секунду после толчка?
- Чему равен модуль изменения импульса бруска за третью секунду после толчка?

*Совет.* г) Найдите время движения бруска до остановки.

149. С лежащим на столе бруском массой 300 г сталкивается шайба массой 100 г и отскакивает от него. В результате удара направление скорости шайбы изменяется на противоположное. Скорость шайбы непосредственно перед ударом 2 м/с, а сразу после удара — 1 м/с. После столкновения брусок скользит по столу и останавливается, пройдя путь, равный 25 см.

- Чему равен модуль изменения импульса шайбы?
- Чему равен модуль импульса бруска сразу после столкновения?
- Чему равна скорость бруска сразу после столкновения?
- С каким по модулю ускорением двигался брусок после столкновения до остановки?
- Чему равен коэффициент трения между бруском и столом?

*Совет.* а) Учтите, что в результате удара направление скорости шайбы изменилось на противоположное. б) Воспользуйтесь законом сохранения импульса. г) Выведите формулу, связывающую начальную скорость с тормозным путём. д) Запишите уравнение второго закона Ньютона для скользящего бруска.

## Применение закона сохранения импульса

### Условия применения закона сохранения импульса

Внешние силы уравновешивают друг друга или ими можно пренебречь.



Проекция внешних сил на некоторую ось координат равна нулю.



Тела действуют друг на друга с силами, которые намного превышают внешние силы.



150. В движущуюся по рельсам тележку с песком падает груз (рис. 37, а). Обозначим  $m_T$  и  $m_t$  массы груза и тележки,  $\vec{v}_H$  — начальную скорость тележки, а  $\vec{v}_K$  — конечную скорость тележки с грузом (рис. 37, б). Трением между колёсами тележки и рельсами можно пренебречь.

- а) Какие *внешние* силы действуют на *систему* тел «тележка + груз»?  
 б) Как направлены внешние силы, действующие на *систему* тел «тележка + груз»?  
 в) Могут ли внешние силы изменить проекции импульсов тележки и груза на *горизонтально* направленную ось  $x$ ?  
 г) Чему равна проекция суммарного начального импульса груза и тележки на ось  $x$ ?  
 д) Чему равна проекция суммарного конечного импульса груза и тележки на ось  $x$ ?  
 е) Выразите  $v_k$  через  $v_n$ ,  $m_r$  и  $m_t$ .  
 ж) Сохраняется ли в данном случае суммарный импульс груза и тележки?

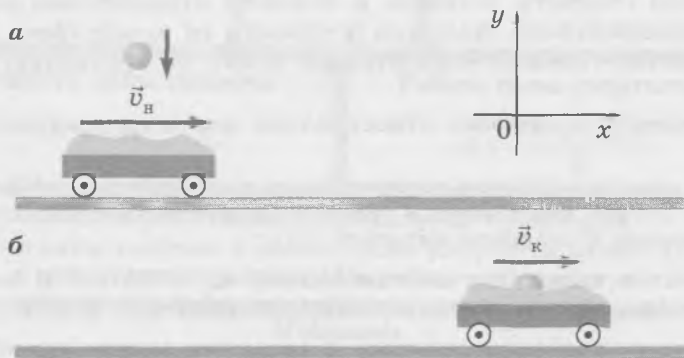


Рис. 37

*Совет.* е) Воспользуйтесь тем, что проекция суммарного импульса груза и тележки на ось  $x$  остаётся неизменной. ж) Рассмотрите проекцию суммарного импульса груза и тележки на ось  $y$ .

**151.** Из пушки при выстреле вылетает ядро со скоростью  $v_{я} = 300$  м/с в горизонтальном направлении. Масса пушки 400 кг, а масса ядра 2 кг. Чему равен модуль скорости пушки  $v_{п}$  при отдаче?

*Абсолютно неупругим столкновением* (ударом) называют такое столкновение тел, в результате которого тела движутся как единое целое.

**152.** Пластилиновые шары массами  $m_1$  и  $m_2$  движутся вдоль одной прямой со скоростями  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$ . В результате столкновения шары слипаются и движутся как одно тело. Обозначим  $\vec{v}$  скорость этого тела.

- а) Направьте ось  $x$  вдоль скорости любого из шаров и запишите уравнение, выражающее закон сохранения импульса, в векторной форме и в проекциях на ось  $x$ .  
 б) Выразите проекцию скорости образовавшегося тела  $v_x$  через проекции скоростей шаров и массы шаров.

**153.** Пусть массы шаров в предыдущей задаче  $m_1 = 300$  г и  $m_2 = 200$  г, а шары движутся вдоль одной прямой навстречу друг другу со скоростями  $v_1 = 1$  м/с и  $v_2 = 2$  м/с. Направьте ось  $x$  по скорости первого шара.

- а) Запишите, чему равны проекции скоростей шаров на ось  $x$ .  
 б) Найдите проекцию скорости образовавшегося тела на ось  $x$ .  
 в) Направлена ли скорость образовавшегося тела так же, как скорость первого шара до столкновения, или противоположно ей?

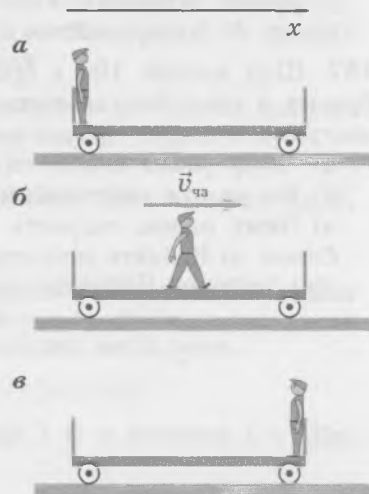


Рис. 38

**154.** На левом конце покоящейся тележки длиной 12 м и массой  $m_t = 120$  кг стоит человек массой  $m_ч = 60$  кг (рис. 38, а). В некоторый момент человек начинает идти по

тележке вправо со скоростью  $v_{\text{чз}} = 0,8$  м/с относительно земли (рис. 38, б). Трением между колёсами тележки и рельсами можно пренебречь.

- Обозначьте  $v_{\text{тз}}$  модуль скорости тележки относительно земли во время движения человека по тележке. Запишите уравнение, выражающее закон сохранения импульса в проекциях на ось  $x$ .
- Найдите, чему равен модуль скорости тележки относительно земли.
- Чему равна скорость человека относительно тележки?
- За какой промежуток времени человек пройдёт вдоль всей тележки?
- Чему будут равны скорости человека и тележки относительно земли, когда человек остановится относительно тележки у правого её конца (рис. 38, в)?
- Насколько сдвинется тележка относительно земли по сравнению с её начальным положением?
- Насколько переместится человек относительно земли по сравнению с его начальным положением?

*Совет.* а) Учтите, что проекция скорости тележки на ось  $x$  отрицательна. в) Воспользуйтесь правилом сложения скоростей. Учтите, что человек и тележка движутся в противоположных направлениях. д) Воспользуйтесь законом сохранения импульса.

155. На рельсах покоится тележка с песком массой  $m_{\text{т}} = 20$  кг. В неё влетает шар массой  $m_{\text{ш}} = 10$  кг со скоростью  $v_{\text{ш}} = 6$  м/с, направленной под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту (рис. 39). Трением между колёсами тележки и рельсами можно пренебречь.

- Сохраняется ли суммарный импульс тележки и шара в результате их столкновения?
- Сохраняется ли проекция суммарного импульса тележки и шара на какую-либо ось координат?
- Запишите уравнение, выражающее сохранение проекции суммарного импульса. Конечную скорость тележки с шаром обозначьте  $v$ .
- Выразите конечную скорость тележки с шаром через величины, данные в описании ситуации. Найдите её численное значение.

156. В деревянный брусок массой  $M = 1$  кг, лежащий на длинном столе, попадает пуля массой  $m = 10$  г и застревает в бруске. Скорость пули  $v_{\text{п}} = 500$  м/с, причём она направлена вдоль стола. Коэффициент трения между бруском и столом  $\mu = 0,5$ .

- Запишите уравнение, выражающее сохранение проекции суммарного импульса. Начальную скорость бруска с пулей обозначьте  $v$ .
- Выразите модуль ускорения бруска  $a$  при его движении по столу через заданные в описании условия величины.
- Выразите путь  $l$ , пройденный бруском до остановки, через заданные в описании условия величины и найдите его численное значение.

*Совет.* б) Воспользуйтесь вторым законом Ньютона и выражением для силы трения скольжения.

157. Шар массой 190 г бросили вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Через 2 с после броска в шар попала пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 600 м/с, и застряла в шаре. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- Чему равна скорость шара с пулей сразу после попадания пули в шар?
- На каком расстоянии от точки бросания шара упал шар с пулей?
- Чему равна скорость шара с пулей непосредственно перед падением?

*Совет.* а) Найдите скорость шара непосредственно перед попаданием в него пули. в) Воспользуйтесь теоремой Пифагора.

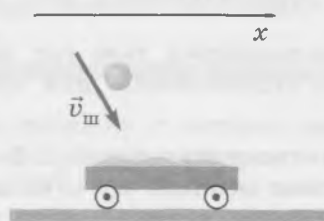
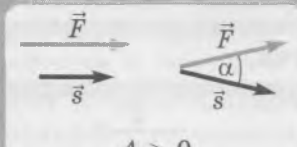
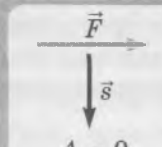
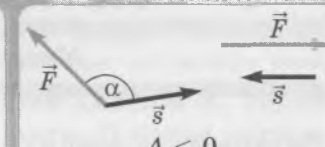


Рис. 39

# Механическая работа. Мощность

Механическая работа $A = Fscos\alpha$		
		
Работа силы тяжести $A_T = mg(h_n - h_k)$		Работа силы упругости $A = \frac{k(x_n^2 - x_k^2)}{2}$
При перемещении по замкнутой траектории работа силы тяжести и работа силы упругости равны нулю, а работа силы трения скольжения не равна нулю.		
Мощность $P = \frac{A}{t}$ $P = Fv$		

## Механическая работа

158. На нити длиной  $l = 50$  см висит шар массой  $m = 200$  г. Шар отводят в сторону, поднимая на высоту подвеса нити, сохраняя нить натянутой, и отпускают.

- Сделайте чертёж, на котором изображён шар в положении равновесия и когда он отведён в сторону.
- Какую работу совершает сила тяжести при отведении шара от положения равновесия?
- Чему равна работа силы тяжести при возвращении шара в положение равновесия?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой для работы силы тяжести.

159. Пружину жёсткостью  $200$  Н/м растягивают так, что удлинение пружины изменяется от  $0$  до  $2$  см. Чему равна работа силы упругости пружины?

*Совет.* Учтите знак работы силы упругости пружины при увеличении деформации.

160. Находящийся на столе брусок массой  $1$  кг переместили по сторонам квадрата. Суммарная работа силы трения оказалась равной при этом  $-6$  Дж. Коэффициент трения между бруском и столом равен  $0,3$ . Чему равна сторона квадрата?

161. Цепь длиной  $l = 10$  м и массой  $m = 10$  кг равномерно поднимают на крышу здания высотой  $10$  м. В начальный момент нижний конец цепи касается земли.

- Какую силу надо прикладывать для подъёма цепи вначале?
- Изобразите график зависимости силы, которую надо прикладывать для подъёма цепи, от длины свисающей части цепи.
- Чему равна работа по подъёму всей цепи?

*Совет.* б) Сила, которую надо прикладывать для подъёма цепи, пропорциональна длине свисающей части цепи. в) Работа численно равна площади фигуры, заключённой под графиком зависимости силы, которую надо прикладывать для подъёма цепи, от длины свисающей части цепи.

## Мощность

162. Человек равномерно поднимает гирию массой  $16$  кг на высоту  $1$  м в течение  $1$  с. Какую он при этом развивает мощность?

163. Чему равна сила тяги, действующая на автобус, движущийся со скоростью  $72$  км/ч, если развиваемая двигателем мощность равна  $20$  кВт?

164. С какой скоростью подъёмный кран равномерно поднимает бетонный блок массой 1 т, если двигатель крана развивает при этом мощность 4 кВт?

## Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия

**Механическая энергия**

Кинетическая энергия	$E_k = \frac{mv^2}{2}$	
Потенциальная энергия поднятого груза 	Потенциальная энергия упругой деформации Пружина не деформирована 	
$E_p = mgh$	$E_p = \frac{kx^2}{2}$	

165. При растяжении пружины совершили работу, равную 3 Дж.

- а) Какую работу совершила при этом сила упругости пружины?
- б) Как изменилась при этом энергия пружины?

166. В начальном состоянии пружина жёсткостью 200 Н/м сжата на 1 см, а в конечном — растянута на 1 см. Чему равно *изменение* потенциальной энергии пружины?

*Совет.* Потенциальная энергия пружины зависит только от *модуля* деформации.

167. В начальном состоянии пружина жёсткостью 200 Н/м сжата на 1 см, а в конечном — растянута на 2 см. Чему равно изменение потенциальной энергии пружины?

*Совет.* Потенциальная энергия пружины зависит только от *модуля* деформации.

168. По шоссе едут грузовик массой 4 т и легковой автомобиль массой 1 т. Их кинетические энергии равны.

- а) Чему равно отношение их скоростей?
- б) Чему равно отношение модулей их импульсов?

## Закон сохранения энергии в механике

$$E_p + E_k = \text{const}$$

Изменение механической энергии при наличии трения скольжения

$$\Delta E_{\text{мех}} = A_{\text{тр}}$$

169. Подвешенный на нити небольшой груз отклонили в сторону, держа нить натянутой, и отпустили без толчка. В начальном положении угол отклонения нити от вертикали  $60^\circ$ . Какова длина нити, если при прохождении равновесия скорость груза равна 2 м/с?

*Совет.* Выразите начальную высоту груза  $h$  через длину нити и угол её отклонения от вертикали.

170. Первоначально растянутая горизонтальная пружина с укрепленным на ней шаром возвращается в недеформированное состояние. В начальном положении скорость шара равна нулю. Если начальная деформация пружины равна 6 см, то шар проходит положение равновесия со скоростью 2 м/с. При какой начальной деформации пружины шар будет проходить положение равновесия со скоростью 3 м/с?

*Совет.* Используя закон сохранения энергии в механике, найдите соотношение между начальной деформацией пружины и скоростью, с которой шар проходит положение равновесия.

171. Шайба массой  $m$  соскальзывает с гладкой горки высотой  $h$ , прикрепленной к столу и плавно переходящей в горизонтальную поверхность. В конце спуска шайба абсолютно неупруго сталкивается с покоящимся на столе бруском массой  $M$ .

- Чему равна скорость шайбы  $v_1$  в конце спуска?
- Чему равна скорость шайбы с бруском  $v_2$  сразу после столкновения?

172. Санки массой 10 кг соскользнули без начальной скорости с горки высотой 5 м, причём их скорость в конце спуска оказалась равной 9 м/с.

- Сохранялась ли механическая энергия при соскальзывании санок?
- Чему равна работа силы трения скольжения при соскальзывании санок?

*Совет.* б) Работа силы трения скольжения равна изменению механической энергии санок.

173. Покоящемуся на столе деревянному бруску толчком сообщили скорость 2 м/с. На сколько нагреется брусок при движении до остановки? Примите, что на нагревание бруска пошло 50 % изменения внутренней энергии бруска и стола вследствие трения. Удельная теплоёмкость дерева 2,5 кДж/(кг · °С).

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что сумма механической и внутренней энергий сохраняется. Масса бруска при вычислении сократится.

174. Небольшой шар массой  $m$  висит на лёгком стержне длиной  $l$  (рис. 40, а). Стержень может вращаться без трения вокруг точки подвеса  $O$ . Шару сообщают начальную горизонтальную скорость  $\vec{v}_0$ , в результате чего стержень с шаром начинает вращаться вокруг точки  $O$  (рис. 40, б).

- Какие слова в описании ситуации позволяют считать, что полная механическая энергия шара сохраняется?
- Обозначим скорость шара в верхней точке  $v_1$ . Запишите уравнение, которое выражает сохранение механической энергии шара.
- Выразите скорость шара в верхней точке через  $v_0$  и  $l$ .
- Какую скорость надо сообщить шару в нижней точке, чтобы он совершил полный оборот вокруг точки  $O$ ?

*Совет.* г) При минимальной возможной скорости шара в нижней точке его скорость в верхней точке обращается в нуль. Чтобы шар прошёл это неустойчивое положение равновесия, надо, чтобы его скорость в верхней точке была больше нуля.

175. На концах лёгкого стержня длиной  $2l$  укреплены небольшие шары массой  $m$  и  $M$ , причём  $M > m$  (рис. 41). Стержень может вращаться без трения вокруг горизонтальной оси, проходящей через его середину. В начальном положении стержень удерживают в горизонтальном положении (рис. 41, а). Когда его отпускают, он приходит в движение и через некоторое время проходит положение равновесия (рис. 41, б).

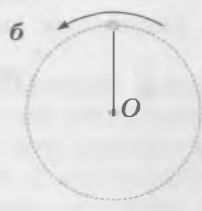
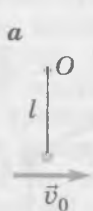


Рис. 40

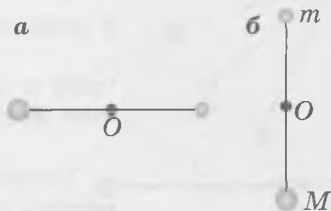


Рис. 41

- а) Какое соотношение выражает сохранение механической энергии шаров при переходе из начального положения в положение равновесия?  
 б) Чему равны скорости шаров в момент, когда стержень с шарами проходит положение равновесия (рис. 41, б)?

*Совет.* Поскольку шары укреплены на одном стержне и находятся на одинаковых расстояниях от центра вращения  $O$ , их скорости в любой момент равны по модулю.

## Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости

176. Подвешенный на нити в точке  $O$  шарик отклонили в сторону так, что нить стала горизонтальной (рис. 42), и отпустили без толчка. Длина нити  $l$ , масса шарика  $m$ . Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- а) Запишите уравнение, выражающее закон сохранения энергии в механике для шарика в положении, показанном на рисунке 43.  
 б) На рисунке 44 изображены силы, действующие на шарик в этом положении: сила тяжести  $m\vec{g}$  и сила натяжения нити  $\vec{T}$ . Запишите уравнение второго закона Ньютона в проекции на ось  $x$  для шарика в положении, показанном на рисунке.  
 в) Представьте записанные уравнения в виде системы двух уравнений.  
 г) Используя полученную систему уравнений, выразите модуль силы натяжения нити  $T$  через массу шарика  $m$  и угол отклонения нити от горизонтали  $\alpha$ .  
 д) Используя полученное выражение, определите: в каких пределах изменяется сила натяжения нити, когда шарик движется из начального положения к положению равновесия?  
 е) Найдите выражение для модуля тангенциального ускорения шарика в положении, показанном на рисунке 44.  
 ж) Найдите выражение для модуля нормального ускорения шарика в положении, показанном на рисунке 44.  
 з) Найдите выражение для модуля ускорения шарика в положении, показанном на рисунке 44.  
 и) В каких пределах изменяется модуль ускорения шарика, когда он движется из начального положения к положению равновесия?

*Совет.* б) В данном случае шарик движется по дуге окружности радиусом  $l$ , поэтому проекция равнодействующей приложенных к шару сил на радиус равна произведению массы шарика на его нормальное ускорение. г) Удобно воспользоваться тем, что в каждое уравнение входит выражение  $mv^2$ . е) Тангенциальное ускорение шару сообщает проекция силы тяжести на направление скорости шарика. ж) Найдите проекцию равнодействующей приложенных к шару сил на ось  $x$ . з) Воспользуйтесь теоремой Пифагора и тем, что  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ .

177. На нити подвешен шарик. На какой угол от вертикали надо отклонить нить, держа её натянутой, чтобы при прохождении шариком положения равновесия сила натяжения нити была в 2 раза больше силы тяжести? Шарик отпускают без толчка, сопротивлением воздуха можно пренебречь.

*Совет.* Составьте систему уравнений, выражающих закон сохранения энергии в механике и второй закон Ньютона при прохождении шариком положения равновесия.

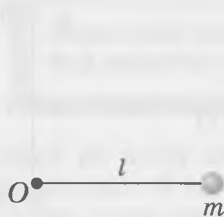


Рис. 42

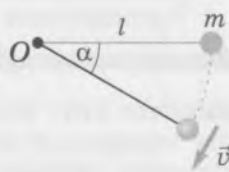


Рис. 43

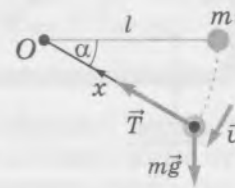


Рис. 44

178. Висящему на нити длиной  $l$  шариком массой  $m$  сообщают толчком такую скорость, что он начинает двигаться по окружности в вертикальной плоскости. На рисунке 45 показаны последовательные положения шарика через равные промежутки времени. Обозначим  $v_n$  модуль скорости шарика в нижней точке траектории, а  $v_v$  — модуль его скорости в верхней точке траектории. Спротивлением воздуха можно пренебречь.

- Может ли скорость шарика в верхней точке траектории быть равной нулю?
- Почему в верхней части рисунка последовательные положения шарика расположены на меньших расстояниях друг от друга, чем на нижней?
- Изобразите на чертеже силы, действующие на шарик в верхней и нижней точках траектории. Силы натяжения нити в этих точках обозначьте соответственно  $\vec{T}_v$  и  $\vec{T}_n$ .
- Запишите в проекциях на ось  $x$  уравнение второго закона Ньютона для шарика, находящегося в *верхней* точке траектории. Ось  $x$  направьте из положения шарика к центру окружности.
- Найдите выражение для минимально возможной скорости шарика в верхней точке траектории.
- С каким ускорением движется шарик в верхней точке траектории, когда его скорость равна минимально возможной?
- Запишите в проекциях на ось  $x$  уравнение второго закона Ньютона для шарика, находящегося в *нижней* точке траектории. Ось  $x$  направьте из положения шарика к центру окружности.
- Запишите уравнение, выражающее закон сохранения энергии в механике при движении шарика от нижней точки траектории до верхней.
- Найдите выражение для минимально возможной скорости шарика в нижней точке траектории.
- Найдите выражение для минимально возможной силы натяжения нити в нижней части траектории.
- С каким по модулю ускорением движется шарик в нижней точке траектории при минимально возможной скорости? Как направлено это ускорение?

*Совет.* а) Рассмотрите, как двигался бы шарик из верхней точки, если бы его скорость в этой точке была равна нулю. б) Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике. д) При минимально возможной скорости в верхней точке траектории сила натяжения нити обращается в нуль, когда шарик проходит эту точку траектории. е) В таком случае сила натяжения нити в верхней точке траектории равна нулю. и) Минимально возможной скорости в нижней точке траектории соответствует минимально возможная скорость и в верхней точке траектории. Чтобы связать скорость шарика в верхней и нижней точках траектории, воспользуйтесь уравнением, выражающим закон сохранения энергии в механике. к) Сила натяжения нити при прохождении шариком нижней точки траектории минимальна, когда его скорость при этом равна минимально возможной. л) Воспользуйтесь полученными выше соотношениями

$$\frac{mv_n^2}{l} = T_n - mg \quad \text{и} \quad T_{n \min} = 6mg.$$

179. Висящему на лёгком стержне длиной  $l$  шариком массой  $m$  сообщают толчком такую скорость, что он начинает двигаться по окружности в вертикальной плоскости.

- Чему равна минимально возможная скорость шарика в верхней точке траектории?
- Чему равна минимально возможная скорость шарика в нижней точке?
- С каким по модулю ускорением движется шарик в нижней точке траектории при минимально возможной скорости? Как направлено это ускорение?
- Чему равен вес шарика в нижней точке траектории?

*Совет.* а) Учтите, что со стороны стержня на шарик может действовать сила, направленная и *от центра*. Стержень не даёт шариком сойти с окружности.

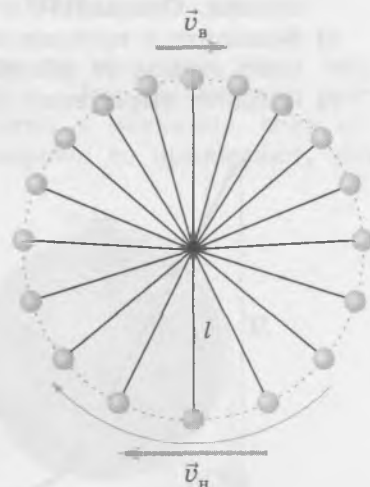


Рис. 45

Сравнивая движение шарика, подвешенного на нити, с движением шарика, подвешенного на лёгком стержне, мы видим, что во втором случае ему надо сообщить *меньшую* скорость в нижней точке, чтобы он мог двигаться по окружности.

**180.** Небольшая шайба массой  $m$  скользит по жёлобу, переходящему в *окружность* радиусом  $r$ , и совершает полный оборот (рис. 46). Обозначим  $H$  начальную высоту шайбы,  $v_n$  — модуль скорости шайбы в нижней точке жёлоба, а  $v_v$  — модуль её скорости в его верхней точке. Сопротивлением воздуха и трением можно пренебречь.

- Изобразите на чертеже силы, действующие на шайбу в верхней и нижней точках кругового жёлоба. Силу нормальной реакции, действующую на шайбу в этих точках, обозначьте соответственно  $\vec{N}_v$  и  $\vec{N}_n$ .
- Запишите в проекциях на ось  $x$  уравнение второго закона Ньютона для шайбы, находящейся в верхней точке кругового жёлоба. Ось  $x$  направьте из положения шайбы к центру окружности.
- Запишите выражение для минимально возможной скорости шайбы в верхней точке кругового жёлоба.
- Запишите уравнение, выражающее закон сохранения энергии в механике при переходе шайбы из начального положения в верхнюю точку кругового жёлоба.
- Запишите выражение для минимально возможной начальной высоты  $H$ , при которой шайба совершит полный оборот.

*Совет.* д) Минимально возможной высоте соответствует минимально возможная скорость шайбы в верхней точке жёлоба.

Если начальная высота шайбы меньше найденной при решении последней задачи, то шайба не сможет совершить *полный оборот* по окружности: в некоторой точке она оторвётся от жёлоба и будет двигаться затем по параболе — как тело, брошенное под углом к горизонту (рис. 47).

Чтобы найти положение точки, в которой шайба оторвётся от жёлоба, надо учесть, что в этой точке сила нормальной реакции, действующая на шайбу со стороны жёлоба, обращается в нуль.

**181.** Небольшая шайба массой  $m$  скользит по жёлобу, переходящему в окружность радиусом  $r$ . Начальная высота шайбы  $H = 2r$ . Сопротивлением воздуха и трением можно пренебречь. Обозначим  $h$  высоту, на которой шайба оторвётся от жёлоба.

- Изобразите на чертеже силы, действующие на шайбу в момент отрыва от жёлоба.
- Запишите уравнение, выражающее закон сохранения энергии в механике при переходе шайбы из начального положения в точку, где происходит отрыв шайбы от жёлоба. Обозначьте  $v$  скорость шайбы в этот момент.
- Запишите в проекциях на ось  $x$  уравнение второго закона Ньютона для шайбы в момент отрыва от жёлоба. Ось  $x$  направьте из положения шайбы к центру окружности.
- Найдите выражение для высоты  $h$ , на которой шайба оторвётся от жёлоба.

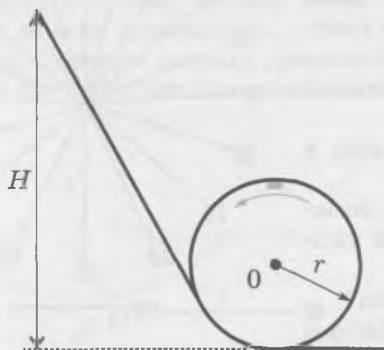


Рис. 46

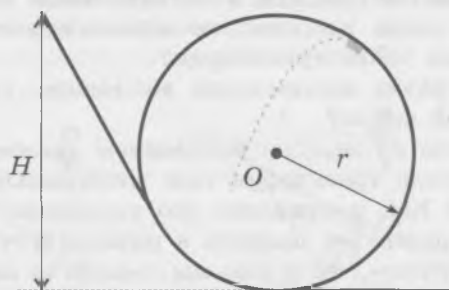


Рис. 47

*Совет.* в) В этот момент на шайбу действует только сила тяжести. Выразите косинус угла между вертикалью и радиусом, проведённым в точку отрыва шайбы, через  $r$  и  $h$ .

**182.** В нижней точке горизонтально расположенного закреплённого цилиндра радиусом 30 см лежит небольшая шайба (рис. 48). Трением можно пренебречь.

- Чему равна минимальная начальная горизонтальная скорость  $v_0$ , которую надо сообщить шайбе, чтобы она совершила полный оборот по окружности?
- Чему равна начальная скорость шайбы, если она оторвалась от цилиндра на высоте 40 см?

**183.** На вершине гладкой закреплённой полусферы радиусом  $r$  лежит небольшая шайба, которая начинает соскальзывать от очень слабого толчка (рис. 49).

- Запишите уравнение, выражающее сохранение механической энергии шайбы для момента, когда она ещё скользит по полусфере. Обозначьте  $v$  скорость шайбы в этот момент,  $h$  — высоту, на которой находится шайба.
- Запишите в проекциях на ось  $x$  уравнение второго закона Ньютона для шайбы в тот же момент. Обозначьте  $N$  модуль силы нормальной реакции, действующей на шайбу со стороны полусферы, ось  $x$  направьте из положения шайбы к центру окружности.
- Найдите выражение для высоты, на которой шайба оторвётся от полусферы.

*Совет.* в) В момент отрыва сила нормальной реакции обращается в нуль.

**184.** Небольшая шайба массой 100 г удерживается на вершине гладкой сферы (рис. 50). Шайба соединена нитью с грузом массой  $M$ . Шайбу отпускают без толчка. Шайба отрывается от сферы в момент, когда радиус, проведённый из центра сферы к шайбе, составляет угол  $\alpha = \frac{\pi}{6}$  с вертикалью.

а) Запишите уравнение, выражающее закон сохранения энергии в механике для движения шайбы до момента отрыва от сферы. Угол  $\alpha$  удобно использовать в радианной мере.

- Запишите в проекциях на ось  $x$  уравнение второго закона Ньютона для шайбы в тот же момент.
- Чему равна масса груза  $M$ ?

*Совет.* а) Воспользуйтесь тем, что груз опустился на расстояние, равное длине дуги, пройденной шайбой по сфере. б) Учтите, что в момент отрыва сила нормальной реакции обращается в нуль. в) Решите полученную систему уравнений относительно  $M$ .

## Применение законов сохранения в механике к движению нескольких тел или системы тел

Согласно закону сохранения импульса, импульс снаряда перед его разрывом равен векторной сумме импульсов осколков снаряда сразу после разрыва. При дальнейшем движении осколков можно использовать закон сохранения энергии в механике, если сопротивлением воздуха можно пренебречь. Если иное не оговорено, то принимают, что масса снаряда равна сумме масс его осколков.

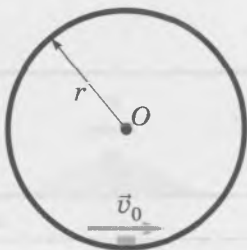


Рис. 48



Рис. 49

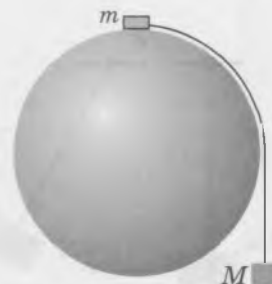


Рис. 50

185. Снаряд вылетел из пушки вертикально вверх и разорвался на два осколка в верхней точке траектории. Скорости осколков сразу после разрыва направлены горизонтально. Первый осколок массой  $0,6$  кг упал на землю на расстоянии  $500$  м от пушки, а второй — на расстоянии  $1$  км  $500$  м. Чему равна масса второго осколка? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

*Совет.* Воспользуйтесь законом сохранения импульса и формулами для полёта тела, брошенного горизонтально.

186. Из пушки вылетел снаряд со скоростью  $v_0 = 400$  м/с под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту. В верхней точке траектории снаряд разорвался на два осколка равной массы, скорости которых сразу после разрыва направлены горизонтально. Первый осколок упал рядом с пушкой, из которой был произведён выстрел. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

а) Сделайте пояснительный чертёж, на котором укажите скорость снаряда непосредственно перед разрывом и скорости осколков сразу после разрыва.

б) Чему равны скорости осколков сразу после разрыва?

в) На каком расстоянии  $d$  от пушки упал второй осколок?

*Совет.* в) До разрыва снаряд летел как тело, брошенное под углом к горизонту, с известной начальной скоростью. После разрыва второй осколок летел как тело, брошенное горизонтально с известной начальной скоростью. Чтобы найти дальность полёта этого осколка, достаточно найти его начальную высоту.

187. В брусок массой  $M = 1$  кг, подвешенный на лёгкой нити длиной  $l = 1$  м, попадает горизонтально летящая пуля массой  $m = 10$  г и застревает в нём (рис. 51). Скорость пули перед попаданием в брусок  $v_{\text{п}} = 400$  м/с. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

а) Выразите скорость бруска с пулей  $v_6$  сразу после попадания пули в брусок через величины, заданные в описании ситуации.

б) Сохраняется ли механическая энергия в процессе столкновения пули с бруском? Если нет, то какую долю начальной кинетической энергии пули составляет кинетическая энергия бруска с пулей?

Обратите внимание: на первом этапе (когда пуля движется внутри бруска) *суммарная механическая энергия пули и бруска не сохраняется*. Но поскольку взаимодействие происходит в течение очень короткого промежутка времени, можно считать, что *суммарный импульс бруска и пули сохраняется*.

в) Сохраняется ли механическая энергия бруска с застрявшей в нём пулей при его движении по дуге окружности?

г) На какую высоту поднялся брусок с пулей?

д) На какой максимальный угол отклонилась нить от вертикали?

*Совет.* а) Воспользуйтесь законом сохранения импульса.

188. На покоящуюся на гладком столе гладкую горку налетает шайба (рис. 52, а). Масса горки  $M = 200$  г, её высота  $H = 20$  см, масса шайбы  $m = 20$  г. Когда шайба скользит по горке, она не отрывается от горки. В конечном состоянии горка и шайба движутся как единое целое (рис. 52, б).

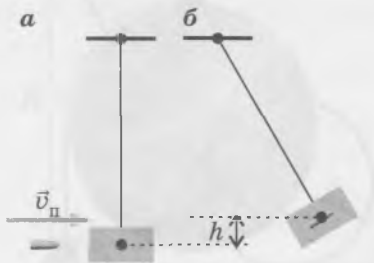


Рис. 51

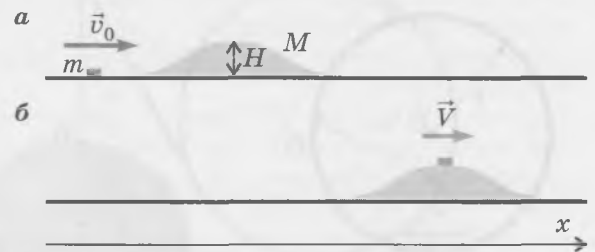


Рис. 52

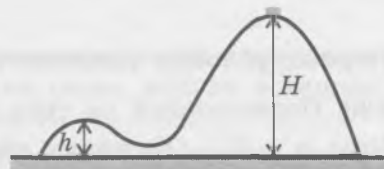
- а) Сохраняется ли суммарный импульс горки и шайбы при их взаимодействии?
- б) Сохраняется ли проекция суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось  $x$ ?
- в) Запишите уравнение, выражающее сохранение суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось  $x$ . Обозначьте общую скорость шайбы и горки  $V$ .
- г) Сохраняется ли суммарная механическая энергия горки и шайбы?
- д) Запишите уравнение, выражающее сохранение суммарной механической энергии горки и шайбы.
- е) С помощью полученной системы уравнений выведите выражения для скорости горки с шайбой  $V$  и начальной скорости шайбы  $v_0$ .

*Совет.* а) Рассмотрите, например, движение шайбы при подъёме на горку: при этом суммарный импульс горки и шайбы направлен не горизонтально.

**189.** На гладком столе покоится гладкая горка массой 100 г с *двумя* вершинами высотой 8 см и 2 см (рис. 53). С более высокой вершины начинает соскальзывать влево шайба массой 20 г. Шайба не отрывается от горки.

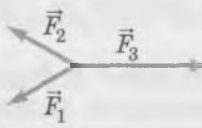
- а) Как будут направлены скорости горки и шайбы относительно стола в момент, когда шайба будет находиться на менее высокой вершине?
- б) Чему будут равны скорости горки и шайбы относительно стола в этот момент?

*Совет.* б) Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике и тем, что горизонтальная проекция суммарного импульса горки и шайбы сохраняется.



**Рис. 53**

## Условия равновесия тела

<p><b>Первое условие равновесия</b></p> $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = 0$ 	<p><b>Момент силы</b></p> $M = Fl$ <p><b>Второе условие равновесия</b></p> $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$
---	--

### Первое условие равновесия

190. Подвешенный на трёх лёгких тросах груз массой  $m = 10$  кг покоится (рис. 54, а). Угол  $\alpha = 30^\circ$ . Обозначим силы натяжения тросов  $\vec{T}_1$ ,  $\vec{T}_2$  и  $\vec{T}_3$ .

- Запишите первое условие равновесия для узла А в проекциях на оси координат, показанные на рисунке 54, б.
- Получите выражения для сил натяжения тросов 1 и 2 и найдите эти силы.
- При каком значении угла  $\alpha$  силы натяжения всех трёх тросов будут равны?

191. Фонарь массой 4 кг подвешен на тросах, как показано на рисунке 55. Трос 1 расположен горизонтально,  $\alpha = 30^\circ$ .

- Запишите первое условие равновесия для узла А в проекциях на оси координат, которые использовались при рассмотрении предыдущей ситуации.
- Найдите силы натяжения тросов.

### Условие равновесия тела, закреплённого на оси

192. Для какой из двух сил (рис. 56) плечо силы равно расстоянию от оси О до точки приложения силы? Обоснуйте ваш ответ.

*Совет.* Плечо силы равно длине перпендикуляра, проведённого из оси вращения к линии действия силы.

Момент силы считают положительным, если сила стремится вращать тело против часовой стрелки, и отрицательным — если по часовой стрелке.

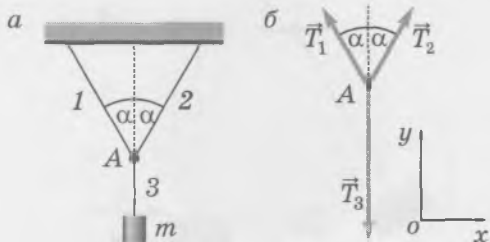


Рис. 54

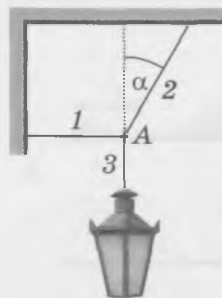


Рис. 55

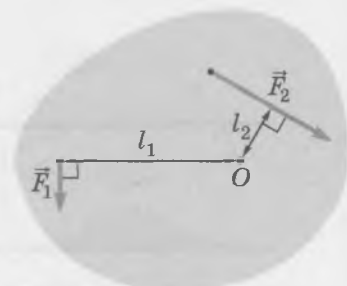


Рис. 56

193. Чему равны моменты изображённых на рисунке 57 сил относительно точки  $O$ ? Одной клетке соответствует расстояние 1 м или сила 1 Н.

*Совет.* Учтите знаки моментов.

194. На лёгком стержне, закреплённом на оси  $O$ , подвешены гирлянды брусков (рис. 58). Масса каждого бруска 100 г.

- В каких точках стержня и какие грузы можно подвесить, чтобы стержень оказался в равновесии? Предложите как можно больше вариантов.
- В какой точке стержня надо приложить направленную вертикально *вверх* силу 3 Н, чтобы стержень оказался в равновесии?

### Второе условие равновесия

195. На рисунке 59 изображены две приложенные к стержню силы. Какую силу надо приложить к стержню в точке  $A$ , чтобы он находился в равновесии? Массой стержня можно пренебречь.

*Совет.* Воспользуйтесь вторым условием равновесия и выберите ось, проходящую через точку приложения любой из заданных в условии сил.

При использовании второго условия равновесия ось, относительно которой записывают правило моментов, удобно проводить через точку приложения силы, модуль и направление которой неизвестны: тогда момент этой силы равен *нулю*.

Если в описании ситуации говорится о *лёгком* стержне, то это означает, что его массой можно пренебречь.

196. Нижний конец лёгкого стержня закреплён в шарнире и может вращаться без трения вокруг точки  $O$  (рис. 60). Верхний конец стержня соединён тросом со стеной. Трос расположен горизонтально. К середине стержня подвешен груз массой  $m$ . В равновесии угол между стержнем и вертикалью равен  $\alpha$ .

- Относительно какой оси удобно в данном случае записать правило моментов для стержня?
- Изобразите на чертеже силы, действующие на стержень и не приложенные в точке  $O$ . Силу натяжения троса обозначьте  $T$ .
- Запишите правило моментов относительно точки  $O$ . Длину стержня обозначьте  $L$ .
- Выразите  $T$  через  $m$  и  $\alpha$ .
- Чему равна по модулю сила, действующая со стороны шарнира на стержень?

*Совет.* в) Плечо силы тяжести равно  $\frac{L \sin \alpha}{2}$ , а плечо силы натяжения троса равно  $L \cos \alpha$ . Алгебраическая

сумма моментов сил  $m\vec{g}$  и  $\vec{T}$  относительно оси, проходящей через точку  $O$ , равна нулю.

д) Воспользуйтесь первым условием равновесия и теоремой Пифагора (силы  $m\vec{g}$  и  $\vec{T}$  перпендикулярны друг другу).

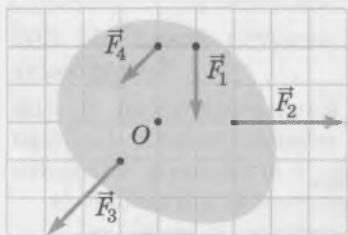


Рис. 57

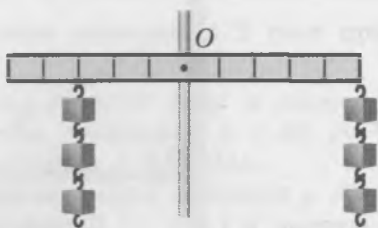


Рис. 58

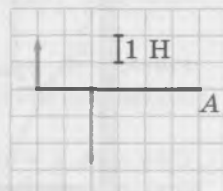


Рис. 59



Рис. 60

## Центр тяжести

197. Однородный стержень массой 9 кг и длиной 1 м подвешен в горизонтальном положении на двух вертикально расположенных тросах. Точка крепления первого троса находится на расстоянии 10 см от левого конца стержня, а точка крепления второго — на расстоянии 30 см от правого конца.

- Изобразите на чертеже силы, действующие на стержень, и плечи этих сил относительно центра тяжести стержня.
- Чему равны плечи этих сил?
- Чему равны силы натяжения тросов?

*Совет.* Воспользуйтесь первым условием равновесия и правилом моментов относительно центра тяжести стержня, который находится в середине стержня.

Потенциальная энергия тела, обусловленная его притяжением к Земле, определяется высотой центра тяжести тела. Изменение потенциальной энергии при изменении положения тела выражается формулой

$$\Delta E_p = mg\Delta h,$$

где  $m$  — масса тела,  $\Delta h$  — изменение высоты центра тяжести.

Отсюда следует, что минимальная работа, которую надо совершить, чтобы поднять на  $\Delta h$  центр тяжести тела массой  $m$ , выражается формулой

$$A = mg\Delta h.$$

198. На земле лежит труба длиной 2 м и массой 10 кг. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы поставить трубу вертикально?

*Совет.* Найдите, насколько увеличивается высота центра тяжести трубы при указанном изменении её положения.

199. К гладкой стене прислонена доска длиной  $l$  и массой  $m$  (рис. 61). Угол между доской и стеной равен  $\alpha$ , коэффициент трения между доской и полом равен  $\mu$ .

- Изобразите на чертеже силы, действующие на доску. Обозначьте силы нормальной реакции, действующие со стороны стены и пола,  $\vec{N}_c$  и  $\vec{N}_n$ , а силу трения  $\vec{F}_{тр}$ .
- Запишите первое условие равновесия для доски в проекциях на показанные на рисунке оси координат.
- Запишите соотношение для силы трения, действующей на доску со стороны пола.
- Относительно какой оси удобнее использовать в данной ситуации правило моментов?
- Запишите второе условие равновесия для доски относительно выбранной оси.
- Выведите из полученных соотношений условие равновесия для доски в виде неравенства для угла  $\alpha$  и коэффициента трения  $\mu$ .

*Совет.* а) Учтите, что центр тяжести доски находится в её середине. в) Учтите, что на доску со стороны пола действует сила трения покоя. е) Докажите сначала, что из соотношений, полученных при выполнении предыдущих заданий, следует неравенство  $N_c \leq \mu mg$ .

200. Один конец горизонтального однородного стержня массой  $m = 10$  кг закреплён в шарнире и может вращаться без трения вокруг точки  $O$  (рис. 62). Другой конец стержня соединён тросом со стеной. Трос образует угол  $\alpha = 30^\circ$  с горизонтом.

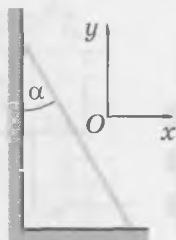


Рис. 61

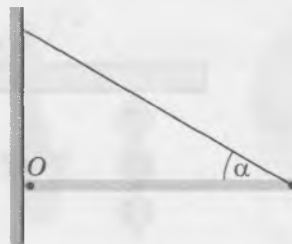


Рис. 62

- а) Относительно какой оси удобно использовать в данной ситуации правило моментов?  
 б) Изобразите на чертеже в тетради действующие на стержень силу тяжести  $m\vec{g}$  и силу натяжения троса  $\vec{T}$ .  
 в) Запишите выражения для моментов этих сил относительно выбранной оси. Каковы знаки этих моментов? Обозначьте длину стержня  $l$ .  
 г) Чему равна по модулю сила  $\vec{T}$  натяжения троса?  
 д) Чему равна по модулю сила, действующая со стороны шарнира на стержень?

*Совет.* в) Учтите, что центр тяжести стержня находится в его середине. г) Воспользуйтесь правилом моментов относительно оси шарнира. д) Воспользуйтесь первым условием равновесия. Сила, действующая со стороны шарнира на стержень, равна по модулю равнодействующей силы тяжести и силы натяжения троса и направлена противоположно ей. Обратите внимание, что сила, действующая на стержень со стороны шарнира, не перпендикулярна стене.

**201.** Гладкая тонкая палочка длиной  $l$  и массой  $m$  покоится в гладком цилиндрическом стакане, опираясь на его край (рис. 63).

- а) Изобразите на чертеже в тетради силы, действующие на палочку.  
 б) Относительно какой оси удобно использовать в данной ситуации правило моментов?  
 в) Запишите второе условие равновесия для палочки относительно выбранной оси.  
 г) Найдите силу, с которой палочка длиной 15 см давит на край стакана, если масса палочки равна 100 г, высота стакана 8 см, а его диаметр 6 см.

*Совет.* а) Учтите, что по условию стакан и палочка гладкие, то есть силой трения можно пренебречь. В таком случае на палочку могут действовать со стороны стакана только силы, перпендикулярные поверхности их соприкосновения. г) Воспользуйтесь третьим законом Ньютона (требуется найти силу, с которой палочка давит на край стакана).

## Равновесие жидкости и газа

Гидростатическое давление	$p = \rho gh$
Закон Архимеда	$F_A = \rho g V_{\text{погр}}$
Условие плавания тел	$F_A = F_T$

### Зависимость давления жидкости от глубины

**202.** В цилиндрический сосуд налита жидкость до высоты  $h$ . Плотность жидкости  $\rho$ , площадь основания сосуда  $S$ .

- а) Чему равна сила  $F$  давления жидкости на дно сосуда?  
 б) Чему равно давление  $p$  жидкости на дно сосуда?

*Совет.* а) Сила давления жидкости на дно сосуда — это вес жидкости. Выразите массу жидкости через её плотность и объём.

На поверхность жидкости может оказывать внешнее давление атмосфера или поршень. В таком случае давление жидкости на глубине  $h$  является суммой внешнего и гидростатического давления.

**203.** На какой глубине в озере давление в 2 раза превышает давление атмосферы?

**204.** В цилиндрический сосуд налили воду и керосин (они не смешиваются). Общая высота столба жидкостей  $h = 30$  см. Гидростатическое давление жидкости у дна сосуда  $p = 2,8$  кПа.

- а) Запишите формулу, выражающую давление  $p$  жидкости у дна сосуда через плотности жидкостей ( $\rho_B$  и  $\rho_K$ ) и высоты столбов жидкости  $h_B$  и  $h_K$ .

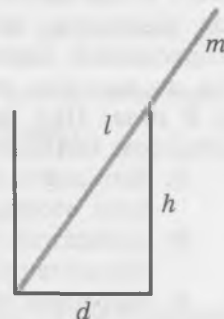


Рис. 63

б) Чему равна высота столба каждой жидкости?

*Совет.* б) Составьте систему уравнений с двумя неизвестными  $h_v$  и  $h_k$ .

**205.** В U-образную трубку налита вода (рис. 64). В левое колено трубки доливают некоторую массу керосина. При этом вода в правом колене поднялась на 4 см по сравнению с начальным уровнем.

а) Нарисуйте в тетради U-образную трубку, в которую налиты вода и керосин в соответствии с условием. Отметьте пунктиром на чертеже нижний уровень керосина.

б) Чему равно отношение высот столбов жидкости в коленах над отмеченным вами уровнем?

в) Какова высота столба воды над отмеченным вами уровнем?

г) Какова высота столба керосина над отмеченным вами уровнем?

*Совет.* б) Оба столба жидкости оказывают одинаковое давление на отмеченном уровне. в) Поскольку объём воды не изменился, уровень воды в колене с керосином опустился по сравнению с начальным настолько же, насколько он поднялся в другом колене.

## Закон Архимеда

**206.** На концах лёгкого стержня, подвешенного в середине, уравновешены стальной и медный шары.

а) Объём какого шара больше?

б) Нарушится ли равновесие, если шары опустить в воду? Почему?

в) Какой шар перевесит?

г) В сторону какого шара надо сдвинуть точку подвеса, чтобы восстановить равновесие?

*Совет.* б) Равновесие стержня нарушится, потому что действующие на шары силы Архимеда не равны.

**207.** На дне аквариума лежит шар плотностью  $2000 \text{ кг/м}^3$ . На сколько процентов уменьшилась сила давления шара на дно аквариума, когда в аквариум налили воду так, что половина шара оказалась в воде?

## Плавание тел

**208.** Плавающий деревянный брусок вынимают из воды и опускают в сосуд с керосином, где брусок также плавает.

а) Изменилась ли действующая на брусок сила тяжести?

б) Изменилась ли действующая на брусок сила Архимеда?

в) Что изменилось при переносе бруска из воды в керосин?

*Совет.* б) Воспользуйтесь условием плавания тел.

**209.** Однородный брусок плавает на границе раздела воды и керосина. При этом брусок полностью погружён в жидкость и погружён в воду на 2 см. Чему равна плотность бруска, если высота бруска равна 5 см?

## Воздухоплавание

**210.** Воздушный шар объёмом  $V_1 = 400 \text{ м}^3$  находится в равновесии, когда плотность окружающего воздуха  $\rho_1 = 1,28 \text{ кг/м}^3$ . Из корзины шара сбрасывают балласт (мешки с песком), вследствие чего шар поднимается до высоты, на которой плотность окружающего воздуха уменьшается в 2 раза. При подъёме объём шара увеличился в 1,5 раза. Примите, что объёмом балласта можно пренебречь по сравнению с объёмом шара.

а) Запишите условие равновесия шара вблизи поверхности земли. Введите обозначения всех необходимых для этого физических величин.

б) Запишите условие равновесия шара после сброса балласта. Введите обозначения всех необходимых для этого физических величин.

в) Выразите массу балласта  $m$  через заданные в условии величины.

г) Чему равна масса балласта?

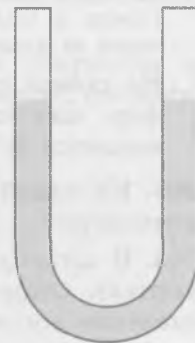


Рис. 64

211. Груз какой массы сможет поднять наполненный гелием воздушный шар-зонд на высоту, на которой плотность воздуха равна  $1 \text{ кг/м}^3$ ? Плотность гелия в 7,25 раза меньше плотности воздуха при той же температуре и давлении. Объём шара на искомой высоте равен  $10 \text{ м}^3$ , масса оболочки шара  $2 \text{ кг}$ , объёмом оболочки и груза можно пренебречь.

*Совет.* Вес груза вместе с весом гелия в объёме шара равен весу воздуха в объёме, равном объёму шара.

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

### МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

#### Строение вещества

$1 \text{ а. е. м.} = \frac{\text{масса атома углерода}}{12}$	Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$
В одном моле любого вещества $6 \cdot 10^{23}$ молекул. Молярная масса — масса одного моля.	
$N = \nu N_A$ $m = \nu M$	

#### Основные положения молекулярно-кинетической теории

212. Какое положение (или положения) молекулярно-кинетической теории подтверждает броуновское движение?

213. Какое положение (или положения) молекулярно-кинетической теории подтверждает диффузия?

214. опыты показывают, что диффузия происходит в газах, жидкостях и даже твёрдых телах. Как вы думаете: где она происходит быстрее всего, а где — медленнее всего? Обоснуйте свой ответ.

215. Какие наблюдения указывают на то, что молекулы притягиваются; отталкиваются?

#### Количество вещества

216. Сравните число молекул в трёх молях водорода и в одном моле кислорода.

217. Сколько молей водорода и кислорода нужно взять для того, чтобы в результате реакции между ними получить два моля воды?

*Совет.* Вспомните химическую формулу воды и учтите, что водород и кислород — двухатомные газы.

218. Выразите массы атома и молекулы кислорода в атомных единицах массы.

219. Чему равно число молекул, содержащихся:

а) в трёх молях воды;

б) в 0,1 моля углекислого газа?

Чему равно число атомов в приведённых выше примерах?

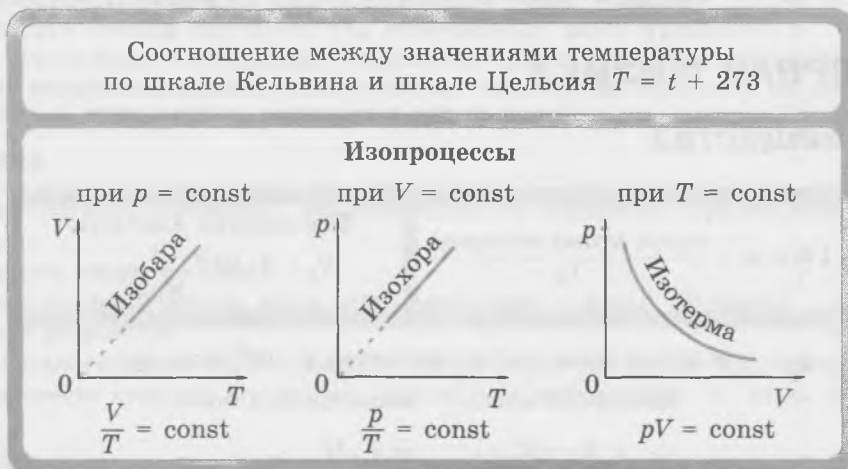
220. Имеется несколько образцов вещества, число молекул в которых равно соответственно  $6 \cdot 10^{24}$ ;  $3 \cdot 10^{22}$ ;  $3,3 \cdot 10^{24}$  и  $6 \cdot 10^{20}$ . Чему равно количество вещества в каждом образце?

221. Цилиндрический стакан высотой 10 см и диаметром 6 см наполнили водой. Вода полностью испарилась за 20 дней.

- Какой объём воды испарялся за день?
- Какой объём воды испарялся каждую секунду?
- Какая масса воды испарялась каждую секунду?
- Сколько молекул воды испарялось каждую секунду?

Совет. г) Найдите, какому количеству вещества соответствует найденная масса воды.

## Изопроцессы и другие газовые процессы



222. Температура тела увеличилась на  $10^\circ\text{C}$ . Какому изменению температуры по шкале Кельвина это соответствует?

223. Данная масса газа расширяется изобарно. Начальная и конечная температура газа  $27^\circ\text{C}$  и  $327^\circ\text{C}$ . Изобразите в тетради графики зависимости  $V(T)$ ,  $p(V)$  и  $p(T)$  для данного процесса.

- Во сколько раз увеличилось значение *абсолютной* температуры газа?
- Во сколько раз увеличился объём газа?

224. Начальная и конечная температура данной массы газа в изохорном процессе равны соответственно  $327^\circ\text{C}$  и  $27^\circ\text{C}$ . Изобразите графики зависимости  $p(T)$ ,  $V(T)$  и  $p(V)$  для данного процесса.

- Во сколько раз уменьшилась *абсолютная* температура газа?
- Во сколько раз уменьшилось давление газа?

225. При изотермическом расширении объём данной массы газа увеличился в 2 раза. Начальное давление газа равно *нормальному атмосферному давлению* ( $10^5$  Па).

- Изобразите графики зависимости  $p(V)$ ,  $p(T)$  и  $V(T)$  для данного процесса.
- Во сколько раз уменьшилось давление газа?
- Насколько уменьшилось давление газа?

226. На рисунке 65 изображён график процесса, происходящего с данной массой газа при переходе из состояния 1 в состояние 2.

- Является ли данный процесс каким-либо изопроцессом?
- Перенесите рисунок 65 в тетрадь и проведите изобары  $a$  и  $b$ , проходящие соответственно через состояния 1 и 2.
- Как изменяется давление газа в изотермическом процессе при переходе из состояния 1 в некоторое состояние, лежащее на изобаре  $b$ ?
- Как изменяется давление газа в изохорном процессе при переходе из состояния 1 в некоторое состояние, лежащее на изобаре  $b$ ?

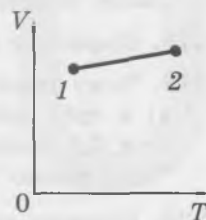


Рис. 65

д) Как изменяется давление газа при переходе из состояния 1 в состояние 2?

*Совет.* а) По графику видно, что ни объём, ни температура газа не остаются постоянными. А чтобы выяснить, остаётся ли постоянным давление газа, определите, лежат ли все точки графика на одной изобаре.

227. На рисунке 66 изображён график процесса, происходящего с данной массой газа при переходе из состояния 1 в состояние 2.

- Как изменилась температура газа при данном переходе?
- как изменилось давление газа при данном переходе?
- как изменился объём газа при данном переходе?

228. На рисунке 67 изображён график процесса, происходящего с данной массой газа при переходе из состояния 1 в состояние 2.

- Как изменился объём газа при данном переходе?
- Как изменилось давление газа при данном переходе?
- Как изменилась температура газа при данном переходе?

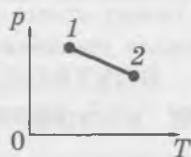


Рис. 66

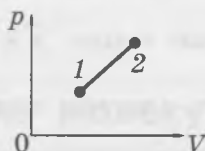


Рис. 67

## Уравнение состояния идеального газа

Уравнение Клапейрона

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

Уравнение состояния идеального газа  
(уравнение Менделеева — Клапейрона)

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

$$pV = \nu RT$$

Закон Дальтона

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

## Уравнение Клапейрона

229. При переходе данной массы газа из состояния 1 в состояние 2 давление газа увеличилось в 3 раза, а абсолютная температура увеличилась в 2 раза. Как изменился объём газа?

230. В цилиндрическом сосуде под лёгким поршнем площадью  $S = 10 \text{ см}^2$  находится газ при нормальном атмосферном давлении. Цилиндр помещён в смесь воды со льдом. Затем цилиндр перемещают в кипяток, а на поршень начинают давить с силой 100 Н и ждут, когда поршень снова окажется в положении равновесия. Трением между поршнем и стенкой сосуда можно пренебречь.

- Каковы начальная и конечная температура газа по шкале Кельвина?
- Как изменилось давление газа?
- Чему равно отношение конечного объёма газа к начальному?

*Совет.* б) Согласно условию поршень лёгкий — это означает, что его массой можно пренебречь. Чтобы в конечном состоянии поршень находился в равновесии, давление газа в сосуде должно

увеличиться так, чтобы сила давления газа на поршень стала равной возросшей силе внешнего давления. в) Воспользуйтесь уравнением Клапейрона и известными отношениями давления и температуры газа в двух рассматриваемых состояниях.

**231.** В некотором газовом процессе давление данной массы газа прямо пропорционально объёму газа.

- а) Может ли данный процесс быть каким-либо изопроцессом?
- б) Запишите систему двух уравнений, одно из которых справедливо только для *данного* процесса, а другое представляет собой уравнение Клапейрона.
- в) Используя полученную систему уравнений, напишите соотношение, в которое входят только  $p$  и  $T$ , и соотношение, в которое входят только  $V$  и  $T$ .
- г) Как изменяется в данном процессе давление, когда абсолютная температура газа увеличивается в 4 раза?
- д) Как изменяется в данном процессе температура, когда объём газа увеличивается в 2 раза?

*Совет.* б) Введите обозначения для величин, которые остаются постоянными. в) Чтобы получить соотношение, в которое входят только  $p$  и  $T$ , умножьте уравнение  $\frac{p}{V} = a$  на уравнение  $\frac{pV}{T} = c$ .  
Чтобы получить соотношение, в которое входят только  $V$  и  $T$ , разделите уравнение  $\frac{p}{V} = a$  на уравнение  $\frac{pV}{T} = c$ .

**232.** В некотором процессе давление данной массы газа обратно пропорционально абсолютной температуре. Как изменяется давление газа, когда его объём увеличивается в 4 раза?

*Совет.* Введите обозначение для постоянной величины — произведения давления на абсолютную температуру.

**233.** В некотором процессе температура и объём данной массы газа связаны соотношением  $TV^2 = \text{const}$ .

- а) Какое соотношение между  $p$  и  $V$  справедливо для данного процесса;
- б) какое соотношение между  $p$  и  $T$  справедливо для данного процесса;
- в) как изменится давление газа, если его объём увеличится в 2 раза;
- г) как изменится давление газа, если его абсолютную температуру уменьшить в 2 раза?

### Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева — Клапейрона)

Напомним, что *нормальными условиями* называют давление, равное нормальному атмосферному давлению ( $10^5$  Па), и температуру, равную  $0^\circ\text{C}$ .

Воздух представляет собой смесь газов (в основном азота и кислорода). В расчётах воздух обычно считают газом с молярной массой  $29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ .

**234.** В сосуде объёмом 20 л содержится газ при нормальных условиях. Чему равна масса этого газа, если это:

- а) водород;
- б) кислород;
- в) углекислый газ?

**235.** Горизонтально расположенный цилиндрический сосуд разделён подвижным металлическим поршнем на две части. В одной части находится водород, а в другой — кислород. Массы газов равны. Какую часть всего объёма сосуда занимает водород, а какую — кислород?

*Совет.* По условию поршень *подвижный* — следовательно, *давления газов равны*. Кроме того, поршень *металлический*, а металлы обладают хорошей теплопроводностью. Значит, *температуры газов тоже равны*. Запишите уравнение Менделеева — Клапейрона для водорода и кислорода и укажите, какие параметры газов одинаковы.

236. Найдите плотность воздуха при нормальных условиях. Во сколько раз она меньше плотности воды?

237. В вертикальном цилиндрическом сосуде под не очень плотно пригнанным подвижным поршнем находится газ. Сосуд погружён в кипяток. Когда сосуд перенесли в ванну, содержащую воду со льдом, объём газа уменьшился в 2 раза. Трением между поршнем и стенкой сосуда можно пренебречь.

- Какой была начальная и конечная температура газа по шкале Кельвина?
- Изменилось ли давление газа?
- Во сколько раз изменился бы объём газа, если бы не было утечки?
- Какая доля начальной массы газа осталась в сосуде?

238. В сосуде объёмом 2 л при 0 °С содержится смесь газов, состоящая из 4 г кислорода и 4 г гелия.

- чему равно парциальное давление кислорода;
- чему равно парциальное давление гелия;
- чему равно давление смеси газов?

## Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул

Связь между абсолютной температурой и средней кинетической энергией поступательного движения молекул  $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$   
Среднеквадратичная скорость молекул  $\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа

$$p = \frac{1}{3}nm_0\bar{v}^2 \quad p = \frac{2}{3}n\bar{E}$$

239. В сосуде объёмом 20 л содержится 1 моль неона при нормальном атмосферном давлении.

- Сколько молекул газа в сосуде?
- Чему равна концентрация молекул?
- Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул?
- Есть ли в условии лишние данные?

240. В сосуде содержится смесь аргона и неона. Чему равна средняя кинетическая энергия молекул<sup>1)</sup> этих газов при нормальных условиях? Есть ли в условии лишние данные?

*Среднеквадратичной скоростью* молекул  $\bar{v}$  называют корень квадратный из среднего квадрата скорости молекул:

$$\bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2}.$$

241. Чему равны среднеквадратичные скорости молекул водорода, кислорода и радона при 20 °С?

242. В сосуде находится 30 г криптона при нормальных условиях. Объём сосуда 5 л. Чему равна среднеквадратичная скорость молекул газа?

243. Как изменилось бы давление газа на стенку сосуда, если бы она стала *поглощать* все налетающие на неё молекулы?

*Совет.* Найдите, чему была бы равна в этом случае передача импульса одной молекулой.

1) Это одноатомные молекулы, поэтому их кинетическая энергия — это кинетическая энергия только поступательного движения.

# Насыщенный пар. Влажность

## Насыщенный пар

Находится в динамическом равновесии с жидкостью.

Давление насыщенного пара зависит только от температуры.

При температуре кипения давление насыщенного пара равно внешнему давлению:  $p_n = p_{\text{внеш}}$



## Относительная влажность

$$\varphi = \frac{p}{p_n} 100 \%$$

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

В таблице приведены значения давления насыщенного водяного пара при некоторых значениях температуры. Эта таблица понадобится для решения следующих задач.

$t, ^\circ\text{C}$	0	20	40	60	80	100	120
$p_n, \text{кПа}$	0,61	2,34	7,4	20	47	100	200

**244.** Пустой герметически закрытый сосуд объёмом 20 л заполнили насыщенным водяным паром при температуре 100 °С.

- Чему равно давление пара?
- Чему равна масса пара?

*Совет.* а) Воспользуйтесь приведённой таблицей значений давления насыщенного пара при различных температурах. б) Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона (не забудьте выразить температуру по шкале Кельвина). Молярная масса водяного пара равна молярной массе воды.

**245.** Чему равна относительная влажность воздуха в помещении, если сухой термометр показывает 20 °С, а влажный показывает 16 °С?

*Совет.* Воспользуйтесь психрометрической таблицей в справочных данных.

Приведённая ниже таблица понадобится для решения следующих задач.

$t, ^\circ\text{C}$	8	9	10	11	12	13	14	15	20
$p_n, \text{кПа}$	1,07	1,15	1,23	1,31	1,40	1,50	1,60	1,70	2,34

**246.** Когда Саша зашёл в дом, его очки запотели. Посмотрев на термометр и психрометр, Саша установил: температура равна 20 °С, относительная влажность 60 %. Примите, что сразу после входа в дом температура стёкол очков равна наружной температуре.

- Почему стёкла очков дома запотели?
- Чему равно парциальное давление водяного пара в комнате?
- При какой температуре содержащийся в воздухе комнаты водяной пар стал бы насыщенным?
- Какова температура воздуха на улице?

*Совет.* б) Воспользуйтесь данными из условия об относительной влажности воздуха в комнате и таблицей зависимости давления насыщенного пара от температуры. в) Воспользуйтесь таблицей зависимости давления насыщенного пара от температуры. г) Учтите, что в воздухе, прилегающем к стёклам очков, началась конденсация водяного пара. Температуру прилегающего к стёклам воздуха можно приближённо считать равной температуре стёкол.

# ТЕРМОДИНАМИКА

## Первый закон термодинамики



Какими формулами выражается количество теплоты?

247. Какое количество теплоты надо передать двум литрам воды, чтобы нагреть воду от  $0^\circ\text{C}$  до температуры кипения?

248. Какое количество теплоты выделяется при сгорании 1 кг бензина?

249. Как изменяется температура газа при адиабатном сжатии и при адиабатном расширении?

*Совет.* Адиабатный процесс происходит без теплообмена с окружающей средой. Воспользуйтесь первым законом термодинамики и учтите, что абсолютная температура газа пропорциональна его внутренней энергии.

250. Попробуйте объяснить образование облаков.

251. При адиабатном расширении данной массы газа газ совершил работу, равную 200 Дж. Чему равно изменение внутренней энергии газа?

*Совет.* Воспользуйтесь первым началом термодинамики и тем, что в адиабатном процессе  $Q = 0$ .

252. На рисунке 68 приведены графики зависимости  $p(V)$  для данной массы газа при изотермическом и адиабатном расширении. Какой график описывает адиабатное расширение?

*Совет.* При адиабатном расширении температура газа уменьшается.

### Следствия первого закона термодинамики для изопроцессов и для адиабатного процесса

#### Изотермический процесс

253. Изменяется ли внутренняя энергия данной массы газа в изотермическом процессе?

254. Запишите первый закон термодинамики для изотермического процесса.

255. Какой знак имеет работа газа при изотермическом расширении? при изотермическом сжатии?

256. Получает или отдаёт газ некоторое количество теплоты при изотермическом расширении? изотермическом сжатии?

#### Изохорный процесс

257. Совершает ли газ работу при изохорном процессе?

258. Запишите первый закон термодинамики для изохорного процесса.

259. Как изменяется внутренняя энергия данной массы газа при изохорном нагревании? при изохорном охлаждении?

260. Получает или отдаёт газ некоторое количество теплоты при изохорном нагревании? при изохорном охлаждении?

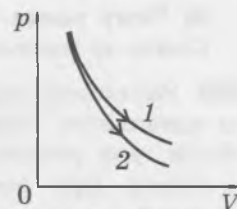


Рис. 68

## Изобарный процесс

261. Как изменяется внутренняя энергия данной массы газа при изобарном нагревании? при изобарном охлаждении?
262. Какой знак имеет работа газа при изобарном нагревании? при изобарном охлаждении?
263. Получает или отдаёт газ некоторое количество теплоты при изобарном нагревании? изобарном охлаждении?

## Адиабатный процесс

264. Получает или отдаёт газ некоторое количество теплоты в адиабатном процессе?  
*Совет.* Воспользуйтесь определением адиабатного процесса.
265. Запишите первый закон термодинамики для адиабатного процесса.
266. Какой знак имеет работа газа при адиабатном расширении? при адиабатном сжатии?
267. Как изменяется внутренняя энергия данной массы газа при адиабатном расширении? при адиабатном сжатии?

## Применение первого закона термодинамики к газовым процессам

<p>Внутренняя энергия одноатомного идеального газа</p> $U = \frac{3}{2} \nu RT \quad U = \frac{3}{2} pV$	<p>Изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа</p> $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \quad \Delta U = \frac{3}{2} \Delta(pV)$	
<p>Работа газа</p> 	<p>Полезная работа газа</p> 	<p>Адиабатный процесс</p> $Q = 0$ $\Delta U = -A_r$

268. В металлическом баллоне, погружённом в воду с тающим льдом, содержится неон. После того как баллон погрузили в кипяток, внутренняя энергия газа увеличилась на 500 Дж.

- а) Чему равно количество вещества в газе?  
б) Чему равна масса неона?

*Совет.* а) Воспользуйтесь формулой для изменения внутренней энергии одноатомного газа.

269. Запишите выражение для изменения внутренней энергии данной массы одноатомного идеального газа при изобарном расширении, если начальное давление газа равно  $p_0$ , а объём газа увеличился от  $V_0$  до  $3V_0$ .

*Совет.* При изобарном процессе давление газа не изменяется, поэтому в данном случае  $\Delta(pV) = p_0 \Delta V = p_0(3V_0 - V_0) = 2p_0V_0$ .

270. Чему равно изменение внутренней энергии 2 л аргона при изохорном охлаждении, если начальное давление газа было в 3 раза больше нормального атмосферного давления, а конечное — равно нормальному атмосферному давлению?

*Совет.* При изохорном процессе объём газа не изменяется, поэтому  $\Delta(pV) = V\Delta p$ . Учтите, что аргон — одноатомный газ.

271. В вертикальном цилиндрическом сосуде под лёгким подвижным поршнем площадью 5 см<sup>2</sup> находится криптон. Давление над поршнем равно 200 кПа. Начальный объём газа равен 5 л. Давление над поршнем увеличили на 200 кПа и нагрели газ так, что его объём стал равным 10 л.

- Чему равно начальное значение внутренней энергии газа?
- Чему равно конечное значение внутренней энергии газа?
- Чему равно изменение внутренней энергии газа при переходе из начального состояния в конечное?

*Совет.* в) Криптон — одноатомный газ. Воспользуйтесь формулой  $\Delta U = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$ .

### Работа газа

Для нахождения работы газа удобнее всего использовать график зависимости давления газа от объёма, то есть  $p(V)$ . Поэтому если в условии задачи спрашивается о работе газа и приведён график газового процесса в координатах  $(p, T)$  или  $(V, T)$ , то первым делом надо изобразить график этого же процесса в координатах  $(p, V)$ .

272. На рисунке 69 изображён график зависимости объёма от температуры для  $\nu$  молей одноатомного газа. Начальная и конечная температуры газа равны соответственно  $T_1$  и  $T_2$ .

- Выразите работу газа через величины, данные в условии.
- Выразите изменение внутренней энергии газа  $\Delta U$  через величины, данные в условии.
- Выразите полученное газом количество теплоты  $Q$  через величины, данные в условии.

*Совет.* а) По графику видно, что объём газа прямо пропорционален абсолютной температуре газа — следовательно, это *изобарный* процесс. Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона. б) Воспользуйтесь формулой  $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$ . в) Воспользуйтесь первым законом термодинамики.

273. Данную массу газа переводят из состояния 1 в состояние 2 двумя различными способами: а и б (рис. 70).

- При каком способе работа газа больше? Во сколько раз больше?
- При каком способе изменение внутренней энергии газа больше? Во сколько раз больше?

*Совет.* а) Воспользуйтесь тем, что работа газа при расширении равна площади фигуры под графиком  $p(V)$ . б) Воспользуйтесь тем, что начальное состояние газа, как и конечное, при обоих способах перехода одно и то же.

274. Данную массу газа переводят из состояния 1 в состояние 2 двумя различными способами: а и б (рис. 71). При каком из этих способов перехода переданное газу количество теплоты больше? Во сколько раз больше?

*Совет.* Воспользуйтесь первым законом термодинамики.

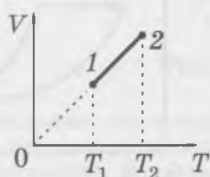


Рис. 69

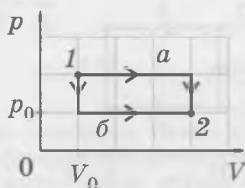


Рис. 70

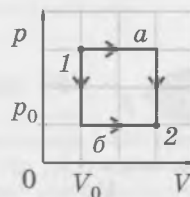


Рис. 71

## Циклические процессы

Полезная работа газа за один цикл численно равна площади фигуры, заключённой внутри цикла в координатах  $(p, V)$ . Эта фигура закрашена на рисунке 72.

275. На рисунке 73 изображён график циклического процесса, состоящий из четырёх этапов:  $a, b, c, d$ .

- На каких этапах внутренняя энергия газа увеличивалась, а на каких — уменьшалась?
- На каком этапе газ совершал положительную работу?
- На каком этапе положительную работу совершали внешние силы?
- На каких этапах газ получал некоторое количество теплоты, а на каких — отдавал?
- Выразите полезную работу газа через приведённые на рисунке значения давления и объёма.

*Совет.* Этапы цикла представляют собой изохорные и изобарные процессы. Воспользуйтесь первым законом термодинамики.

276. На рисунке 74 изображён график циклического процесса, происходящего с некоторой массой одноатомного идеального газа. Одним из этапов этого процесса является изотермический процесс, а другим — адиабатный.

- Какой из этапов процесса представляет собой изотермический процесс, а какой — адиабатный?
- На каких этапах процесса работа газа положительна, а на каких этапах работа газа отрицательна (то есть работу совершают над газом)?
- На каких этапах процесса газ получает некоторое количество теплоты, а на каких этапах — отдаёт?

*Совет.* а) Воспользуйтесь тем, что при адиабатном расширении температура газа понижается, а при адиабатном сжатии — повышается. б) Газ совершает положительную работу при *любом расширении* и отрицательную — при *любом сжатии*. в) Воспользуйтесь определением адиабатного процесса и первым законом термодинамики.

277. На рисунке 74 изображён график циклического процесса, происходящего с некоторой массой одноатомного идеального газа. Одним из этапов этого процесса является изотермический процесс, а другим — адиабатный. Обозначим  $\nu$  количество вещества в газе,  $T_1, T_2$  и  $T_3$  — значения его абсолютной температуры соответственно в состояниях 1, 2, 3.

- Есть ли среди значений  $T_1, T_2$  и  $T_3$  одинаковые?
- Выразите работу газа в изобарном процессе через величины, приведённые в условии.
- Выразите изменение внутренней энергии газа в изобарном процессе через величины, приведённые в условии.
- Выразите количество теплоты, полученное газом в изобарном процессе, через величины, приведённые в условии.
- Выразите работу газа в адиабатном процессе через величины, приведённые в условии.
- Как связаны количество теплоты, отданное газом в изотермическом процессе, с работой внешних сил над газом?

*Совет.* б) Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона. д) Учтите, что в адиабатном процессе  $Q = 0$ , воспользуйтесь первым законом термодинамики и выражением для изменения внутренней энергии газа. е) Учтите, что в изотермическом процессе внутренняя энергия газа не изменяется, и воспользуйтесь первым законом термодинамики.

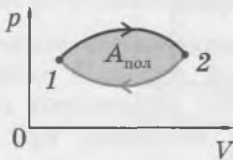


Рис. 72

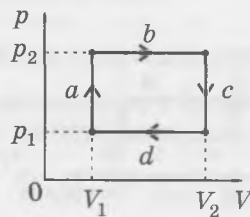


Рис. 73

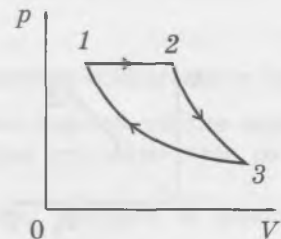
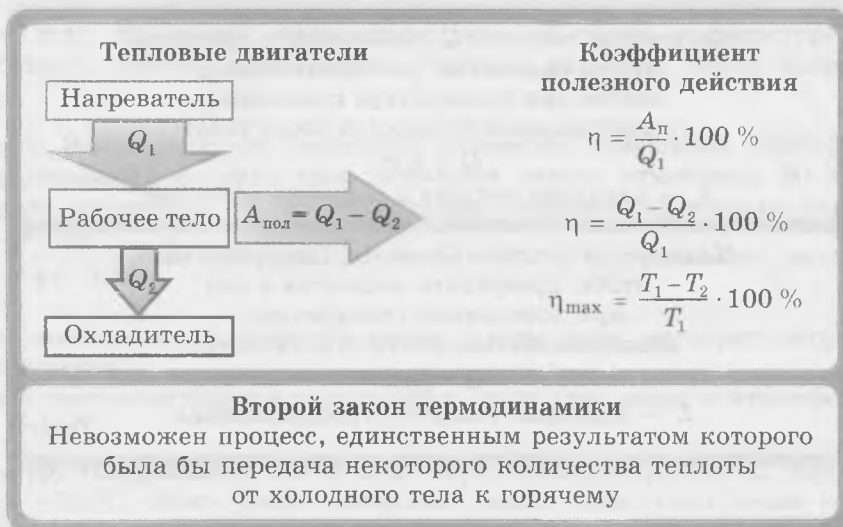


Рис. 74

# Тепловые двигатели<sup>1)</sup>. Второй закон термодинамики



## Коэффициент полезного действия (КПД) теплового двигателя

278. За некоторое время тепловой двигатель получил от нагревателя количество теплоты, равное 5 кДж. Чему равно количество теплоты, отданное за это же время охладителю, если КПД теплового двигателя равен 20 %?

279. На рисунке 75 изображён график состоящего из четырёх этапов цикла для одноатомного идеального газа.

- Назовите четыре этапа цикла.
- На каком этапе газ совершает положительную работу? Выразите её через  $p_0$  и  $V_0$ .
- Чему равно количество теплоты  $Q_1$ , полученное газом от нагревателя за один цикл?
- Чему равна полезная работа газа?
- Чему равен КПД данного цикла?

*Совет.* б) Воспользуйтесь тем, что работа газа численно равна площади фигуры под графиком зависимости  $p(V)$ . в) Воспользуйтесь первым законом термодинамики и выражением для внутренней энергии одноатомного газа через его давление и объём. г) Полезная работа газа равна площади фигуры, заключённой внутри графика цикла в координатах  $(p, V)$ .

280. На рисунке 76 изображён график циклического процесса, происходящего с некоторой массой одноатомного газа. Чему равен КПД цикла?

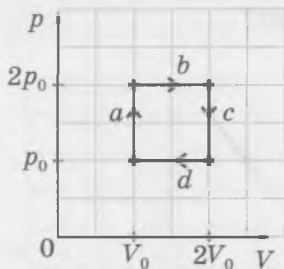


Рис. 75

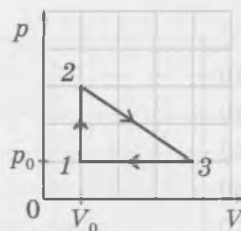


Рис. 76

<sup>1)</sup> Охладитель теплового двигателя часто называли ранее *холодильником*, что приводило к недоразумениям, потому что холодильником называют также устройство для охлаждения различных предметов (например, продуктов). В настоящее время более точное название «охладитель» для одного из основных элементов теплового двигателя получает всё большее распространение, что обусловлено также единообразием терминов *нагреватель* и *охладитель*.

## Фазовые переходы

Количество теплоты  $Q$ , необходимое для того, чтобы полностью расплавить тело, взятое при температуре плавления, пропорционально массе  $m$  этого тела:

$$Q = \lambda m,$$

$\lambda$  — удельная теплота плавления вещества

Количество теплоты  $Q$ , необходимое для того, чтобы превратить жидкость в пар при постоянной температуре, пропорционально массе  $m$  жидкости:

$$Q = Lm,$$

$L$  — удельная теплота парообразования

### Плавление и кристаллизация

281. Кусок льда, взятый при температуре  $0^\circ\text{C}$ , полностью превратили в воду при той же температуре, сообщив ему некоторое количество теплоты. До какой температуры нагреется образовавшаяся вода, если сообщить ей такое же количество теплоты?

282. На рисунке 77 приведён график зависимости температуры образца вещества массой 1 кг от переданного ему количества теплоты.

- Какова удельная теплоёмкость вещества в твёрдом состоянии?
- Чему равна температура плавления вещества?
- Чему равна удельная теплота плавления вещества?
- Какова удельная теплоёмкость вещества в жидком состоянии?
- Какое это вещество?

*Совет.* а) Воспользуйтесь тем, что для нагревания образца на 10 градусов ему надо сообщить количество теплоты, равное 21 кДж. в) Определите по графику, какое количество теплоты надо сообщить образцу, взятому при температуре плавления, для полного плавления образца. г) Определите по графику количество теплоты, которое надо сообщить данному образцу для нагревания на 50 градусов.

### Парообразование и конденсация

283. Почему при испарении жидкость охлаждается?

284. Почему обжечься паром опаснее, чем кипятком?

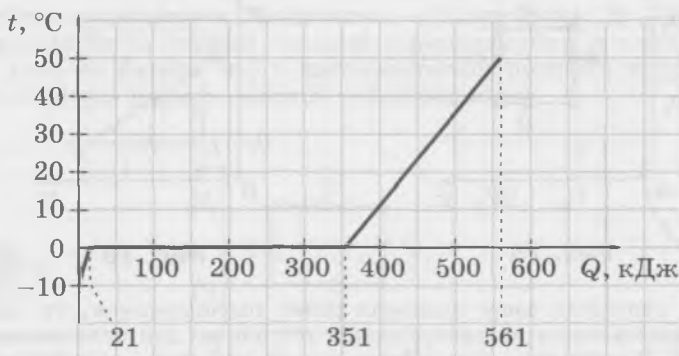


Рис. 77

## Уравнение теплового баланса при наличии фазовых переходов

При решении задач, в которых идёт речь о плавлении кристаллического тела, надо помнить, что если начальная температура тела не равна температуре плавления, то ему надо сообщить некоторое количество теплоты для того, чтобы нагреть его до этой температуры.

**285.** В атмосферу Земли влетает железный метеорит, имеющий температуру  $-260\text{ }^\circ\text{C}$ . Вследствие сопротивления воздуха при движении сквозь атмосферу 80 % кинетической энергии метеорита переходит в его внутреннюю энергию. Удельная теплоёмкость железа равна  $460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ , температура плавления  $1540\text{ }^\circ\text{C}$ , удельная теплота плавления  $270 \text{ кДж/кг}$ .

- При какой минимальной скорости входа в атмосферу метеорит нагреется до температуры плавления?
- Какая часть массы метеорита расплавится, если при входе в атмосферу его скорость равна  $1,6 \text{ км/с}$ ?

**286.** В калориметр, содержащий  $1,5 \text{ л}$  воды при температуре  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , кладут кусок льда при температуре  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ . Чему равна начальная масса льда, если после установления теплового равновесия в калориметре находится:

- только лёд;
- только вода;
- лёд и вода в тепловом равновесии?

**287.** В калориметр, в котором находится  $1 \text{ л}$  воды при температуре  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , впускают  $100 \text{ г}$  водяного пара при температуре  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Чему будет равна температура в калориметре после установления теплового равновесия?

*Совет.* Прежде всего надо выяснить: сконденсируется ли весь водяной пар, который впустили в калориметр? Учтите, что после того, как водяной пар сконденсируется, образовавшаяся из него вода должна остыть до конечной температуры, отдав некоторое количество теплоты воде, уже содержащейся в калориметре.

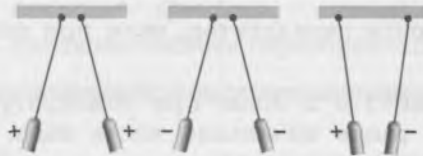
# ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ТОК

## ЭЛЕКТРОСТАТИКА

### Электрические взаимодействия

Электрические заряды бывают двух знаков — положительные и отрицательные.

Одноимённо заряженные тела отталкиваются, а разноимённо заряженные притягиваются.

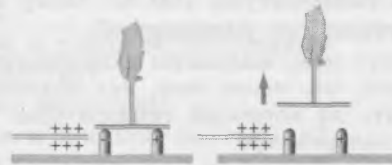


Свободные носители электрического заряда — электроны и ионы.

#### Закон Кулона

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

#### Электризация через влияние



288. При трении двух нейтральных тел некоторая часть электронов перешла с тела 1 на тело 2. Какое из этих тел оказалось заряженным *отрицательно*?

289. Каков знак заряда иона, образовавшегося в результате потери атомом электрона?

290. Объясните, почему в опыте, показанном на рисунке 78, обе гильзы оказались заряженными, хотя их не касались заряженными телами. Одинаковы ли по модулю заряды гильз?

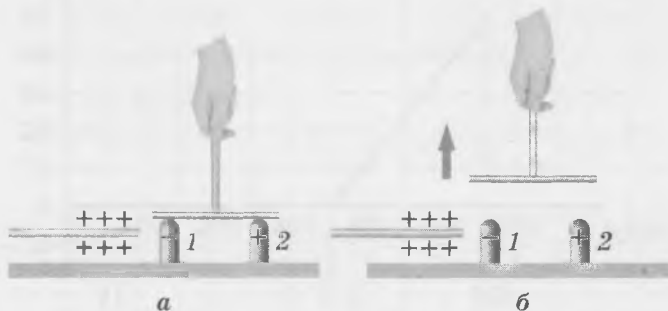


Рис. 78

291. На рисунке 79 схематически изображён опыт, в котором к незаряженной металлической гильзе подносят положительно заряженную палочку, не касаясь ею гильзы. Используя рисунок, объясните, почему незаряженная гильза притягивается к палочке.



Рис. 79

292. Два небольших заряженных шарика поместили на некотором расстоянии друг от друга. Изменятся ли, и если да, то как, силы взаимодействия шариков, если:

- знак заряда каждого шарика изменить на противоположный, сохранив модули зарядов;
- изменить знак заряда только одного из шариков, сохранив модули зарядов;
- увеличить модуль заряда каждого шарика в  $n$  раз;
- уменьшить расстояние между шариками в  $n$  раз;
- увеличить заряд одного шарика и расстояние между шариками в  $n$  раз?

293. Небольшие шарики с положительными зарядами  $q$  и  $4q$  закреплены на концах пластмассового стержня длиной 15 см. По стержню может скользить третий заряженный шарик. Трением можно пренебречь.

- Где надо поместить третий шарик, чтобы он находился в равновесии?
- Каким должен быть знак заряда третьего шарика, чтобы его положение равновесия было устойчивым?

*Совет.* а) Воспользуйтесь законом Кулона. б) Сравните силы, действующие на третий шарик со стороны первых двух при отклонении третьего шарика вдоль стержня от положения равновесия.

294. На некотором расстоянии друг от друга поместили два одинаковых разноименно заряженных металлических шарика с зарядами  $q$  и  $-5q$ . Шарики привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Как изменится модуль сил взаимодействия шариков?

*Совет.* После соприкосновения заряды шариков станут равными. Воспользуйтесь законом сохранения электрического заряда.

## Напряжённость электрического поля. Линии напряжённости

Напряжённость поля	Принцип суперпозиции полей
$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$	$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$
<p>Поле точечного заряда</p>	<p>Поле равномерно заряженной сферы</p>

295. Чему равна сила, действующая на отрицательный заряд, равный  $-20$  нКл, в точке пространства, в которой напряжённость электрического поля составляет  $100$  Н/Кл? Как направлена эта сила, если напряжённость поля  $\vec{E}$  направлена вверх?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой  $\vec{F} = q\vec{E}$ .

296. Изобразите в тетради векторы напряжённости электрического поля, созданного *отрицательным* точечным зарядом в нескольких точках пространства, находящихся на одинаковых расстояниях от данного заряда.

297. Модуль напряжённости поля, создаваемого точечным зарядом на расстоянии 10 см от заряда, равен 3,6 кН/Кл.

- Чему может быть равен данный заряд?
- Чему равен модуль напряжённости поля на расстоянии 20 см от данного заряда? 30 см? 1 м?

298. Два положительных точечных заряда 1 и 2 по 1 нКл каждый расположены на расстоянии 6 см друг от друга.

- Изобразите в тетради положение этих зарядов в масштабе 1 : 1 и отметьте на рисунке точку А, находящуюся точно посередине между ними.
- Изобразите векторы напряжённости полей  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$ , созданных каждым из зарядов в точке А. Выберите масштаб, при котором 1 см соответствует  $10^4$  Н/Кл.
- Чему равен модуль напряжённости поля, созданного *обоими* зарядами в точке А?

*Совет.* в) Воспользуйтесь принципом суперпозиции полей и учтите направления напряжённости поля, созданного каждым из зарядов в данной точке.

299. На рисунке 80 изображены положительные точечные заряды и точка А, которая находится на серединном перпендикуляре к отрезку, соединяющему заряды.

- Перенесите чертёж в тетрадь и изобразите на нём направление напряжённости поля в точке А.
- Выразите модуль напряжённости поля, создаваемого *одним* из зарядов  $q$  в точке А, через  $q$ ,  $l$  и  $h$ .
- Выразите модуль напряжённости поля, создаваемого *обоими* зарядами в точке А, через  $q$ ,  $l$  и  $h$ .

*Совет.* а) Воспользуйтесь принципом суперпозиции полей. б) Воспользуйтесь выражением для напряжённости поля точечного заряда и теоремой Пифагора. в) Воспользуйтесь подобием треугольников.

### Поле равномерно заряженной сферы

300. Электрический заряд 6 нКл равномерно распределён по поверхности металлической сферы радиусом 5 см. Чему равна по модулю напряжённость созданного этим зарядом поля:

- на расстоянии 3 см от центра сферы;
- на расстоянии 6 см от центра сферы?

*Совет.* б) Воспользуйтесь тем, что вне равномерно заряженной сферы созданное ею поле совпадает с полем точечного заряда, равного суммарному заряду сферы и расположенного в центре сферы.

301. В центре металлической равномерно заряженной сферы радиусом 10 см с *отрицательным* зарядом, равным  $-9$  нКл, помещён точечный *положительный* заряд 6 нКл. Чему равна по модулю напряжённость результирующего поля:

- на расстоянии 6 см от центра сферы;
- на расстоянии 12 см от центра сферы?

*Совет.* б) Учтите, что вне сферы векторы напряжённости поля, созданного точечным зарядом, и поля, созданного равномерно заряженной сферой, направлены противоположно.

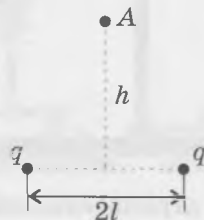


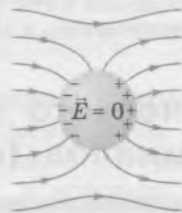
Рис. 80

# Проводники и диэлектрики в электрическом поле

## Проводники в электрическом поле

При равновесии зарядов электрическое поле внутри проводника равно нулю:

$$\vec{E} = 0$$



Сила взаимодействия двух точечных зарядов, погружённых в диэлектрик

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{\epsilon r^2}$$

**302.** На рисунке 81 схематически показано, что металлический шар вносят в однородное электрическое поле. В каком направлении начнут двигаться свободные электроны в шаре — влево или вправо?

*Совет.* Заряд электрона отрицательный, а направление напряжённости поля совпадает с направлением силы, действующей на помещённый в поле положительный заряд.

**303.** Маленький шарик с зарядом 20 нКл помещают в большой аквариум с дистиллированной водой. Чему будет равна напряжённость поля на расстоянии 25 см от центра шарика?

*Совет.* Воспользуйтесь выражением для напряжённости поля точечного заряда и используйте значение диэлектрической проницаемости воды.

**304.** Небольшие шарики с зарядом 30 нКл каждый погружены в некоторую жидкость и находятся на расстоянии 20 см друг от друга. Какая это может быть жидкость, если шарики отталкиваются с силами, равными 7,8 мкН?

*Совет.* Найдите, чему равна диэлектрическая проницаемость данной жидкости, и воспользуйтесь справочными данными.

**305.** На нитях одинаковой длины  $l$  подвешены в воздухе два шарика массой  $m$  каждый. Положительные заряды шариков равны  $q_1$  и  $q_2$  (рис. 82). Шарики находятся в равновесии.

- Почему нити отклонились от вертикали?
- На одинаковый ли угол отклоняются обе нити от вертикали?
- Сделайте чертёж и изобразите на нём все силы, действующие на каждый шарик.
- Запишите соотношение между действующими на один шарик силой тяжести, силой отталкивания со стороны другого шарика и углом  $\alpha$  между нитью и вертикалью.

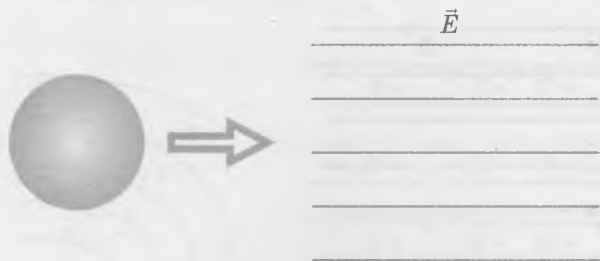


Рис. 81



Рис. 82

д) Выразите расстояние  $r$  между шариками через  $l$  и  $\alpha$ .

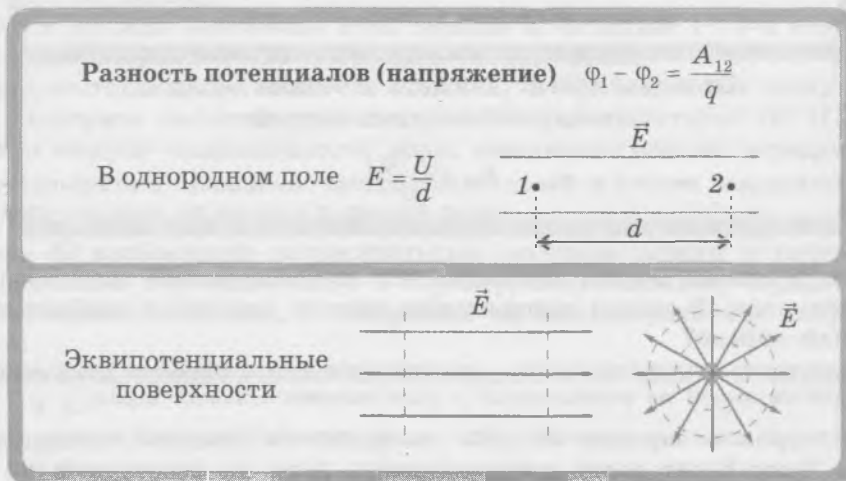
е) Запишите соотношение, которое связывает  $m$ ,  $l$ ,  $\alpha$ ,  $q_1$  и  $q_2$ .

ж) Какие задачи можно поставить, используя это соотношение?

*Совет.* б) Воспользуйтесь третьим законом Ньютона. в) На каждый шарик действуют три силы: сила тяжести, сила натяжения нити и сила отталкивания со стороны другого шарика. г) Воспользуйтесь тем, что равнодействующая приложенных к шарикам сил равна нулю, когда он находится в равновесии.

## Работа электрического поля.

### Разность потенциалов (напряжение)



**306.** Положительный заряд движется вдоль линии напряжённости электрического поля, причём направление перемещения заряда совпадает с направлением вектора напряжённости. Каков *знак* работы поля по перемещению заряда? Изменится ли знак работы, если изменить знак заряда?

**307.** Запишите выражения для работы поля по перемещению точечного заряда  $q$  по сторонам и диагоналям квадрата  $ABCD$  в однородном электростатическом поле (рис. 83). Сторона квадрата равна  $a$ , модуль напряжённости поля равен  $E$ . Сколько различных значений работы вы получили?

*Совет.* Воспользуйтесь формулой  $\vec{F} = q\vec{E}$  и выражением для работы силы.

**308.** Чему равна работа поля по перемещению заряда по *замкнутой* траектории, состоящей из четырёх сторон квадрата?

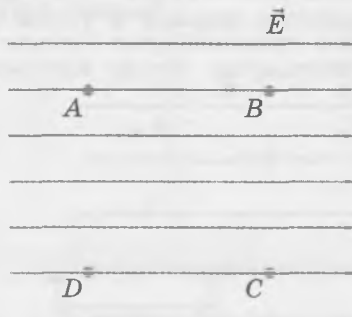


Рис. 83

309. На рисунке 84 изображены линии напряжённости некоторого электростатического поля. Одинаковую ли работу совершает поле при перемещении заряда из точки 1 в точку 2 по траекториям *a* и *б*?

310. Положительный заряд перемещается в направлении линии напряжённости электростатического поля. Какой знак имеет работа поля? Как изменяется потенциальная энергия заряда — увеличивается или уменьшается?

311. На рисунке 85 показаны линии напряжённости электростатического поля и отмечено несколько точек. В начальный момент положительный заряд находится в точке *M*. Перенесите рисунок в тетрадь и обведите красным точки, в которых потенциальная энергия заряда больше, чем в точке *M*, синим — точки, в которых потенциальная энергия заряда меньше, чем в точке *M*, зелёным — точки, в которых потенциальная энергия заряда равна потенциальной энергии заряда в точке *M*.

312. При перемещении заряда 10 нКл из точки 1 в точку 2 электростатическое поле совершило работу  $10^{-6}$  Дж. Чему равна разность потенциалов между этими точками?

313. Отрицательный заряд  $q = -50$  нКл перемещают из точки с потенциалом 300 В в точку с потенциалом 100 В.

а) Каков знак работы поля по перемещению заряда?

б) Чему равна работа поля?

314. На рисунке 86 показаны линии напряжённости однородного электростатического поля. Пунктирной линией обозначена плоскость, перпендикулярная этим линиям. Чему равна разность потенциалов между любыми двумя точками, находящимися на этой плоскости?

315. Является ли эквипотенциальной поверхность проводника, если заряды на нём находятся в равновесии? Обоснуйте ваш ответ.

*Совет.* Если заряды на проводнике находятся в равновесии, напряжённость электрического поля внутри проводника равна нулю, а перенести заряд из одной точки поверхности проводника в любую другую точку его поверхности можно по траектории, лежащей внутри проводника.

### Движение заряженной частицы в однородном электрическом поле

316. Электрон переместился в однородном электростатическом поле со скоростью, направленной вдоль линий напряжённости поля, из точки с потенциалом 700 В в точку с потенциалом 200 В.

а) Увеличилась или уменьшилась скорость электрона?

б) Изменилась ли сумма потенциальной и кинетической энергий электрона?

в) Чему равно изменение потенциальной энергии электрона?

г) Чему равно изменение кинетической энергии электрона?

д) Какова минимальная начальная скорость электрона?

*Совет.* а) Учтите знак заряда электрона.

317. Заряженная частица с зарядом  $q$  и массой  $m$  влетает в однородное электростатическое поле с начальной скоростью  $v_0$ , направленной перпендикулярно линиям напряжённости поля. Модуль напряжённости равен  $E$ .



Рис. 84

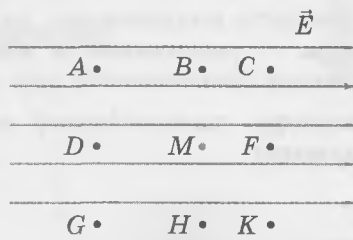


Рис. 85

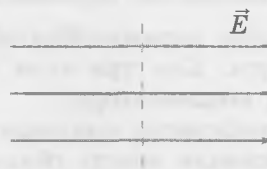



Рис. 86

- По какой траектории будет двигаться частица?
- Чему будет равен модуль  $a$  ускорения частицы?
- Чему будет равен модуль скорости частицы  $v$  через промежуток времени  $t$ ?

## Емкость. Энергия электрического поля

<p><b>Емкость</b></p> $C = \frac{q}{U}$ <p>Энергия заряженного конденсатора</p> $W_p = \frac{qU}{2} \quad W_p = \frac{q^2}{2C} \quad W_p = \frac{CU^2}{2}$	<p><b>Плоский конденсатор</b></p>  $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$
--	--

- 318.** Чему равна емкость конденсатора, если при напряжении между обкладками, равном 200 В, заряд конденсатора равен 1 мкКл?
- 319.** Изменится ли емкость конденсатора, и если да, то как, если:
- увеличить заряд конденсатора в 3 раза;
  - уменьшить напряжение между обкладками в 10 раз?
- 320.** Найдите, как изменится емкость плоского конденсатора, если:
- площадь каждой обкладки увеличить в 4 раза;
  - расстояние между обкладками увеличить в 2 раза;
  - заполнить всё пространство между обкладками диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 3$ .
- 321.** Расстояние между обкладками плоского конденсатора равно 5 мм. Чему равен заряд конденсатора, если его емкость равна 20 пФ, а напряженность поля между обкладками равна 50 кВ/м?
- 322.** Расстояние между двумя изолированными металлическими пластинами, заряды которых равны по модулю и имеют противоположные знаки, увеличили в 4 раза. При этом расстояние между пластинами осталось намного меньшим размеров пластин. Как изменились при этом:
- напряженность поля между пластинами;
  - напряжение между пластинами?
- Совет.* Данные пластины можно рассматривать как обкладки плоского конденсатора, заряд которого не изменяется. Воспользуйтесь тем, что поле между пластинами однородно, а также тем, что при неизменном заряде пластин напряженность этого поля практически не зависит от расстояния между пластинами.
- Энергия электрического поля**
- 323.** Изолированные обкладки заряженного конденсатора удаляют друг от друга. Как при этом изменяется энергия конденсатора — увеличивается или уменьшается?
- Совет.* Разноименно заряженные обкладки притягиваются друг к другу.
- 324.** Обкладки заряженного конденсатора, *отключенного от источника тока*, удаляют друг от друга. Как при этом изменяются:
- заряд конденсатора;
  - емкость конденсатора;
  - напряжение между обкладками;
  - энергия конденсатора?

325. Обкладки конденсатора, соединённые с полюсами источника постоянного напряжения, приближают друг к другу. Как при этом изменяются:

- а) напряжение между обкладками;
- б) ёмкость конденсатора;
- в) заряд конденсатора;
- г) энергия конденсатора?

д) Соответствует ли полученный вывод формуле  $W_p = \frac{CU^2}{2}$ ?

### Движение заряженной частицы в конденсаторе

326. Частица с зарядом  $q$  и массой  $m$  влетает в заряженный плоский конденсатор в точке, находящейся посередине между обкладками (рис. 87). Начальная скорость частицы равна по модулю  $v_0$  и параллельна обкладкам. Расстояние между обкладками равно  $d$ , а напряжение между ними равно  $U$ . Длина каждой обкладки равна  $l$ .

- а) Запишите выражения для проекций ускорения частицы на показанные оси координат.
- б) Запишите выражения для проекций скорости частицы на те же оси координат.
- в) Запишите выражения для зависимости координат частицы от времени.
- г) При какой начальной скорости частица пролетит сквозь конденсатор, то есть не попадёт на обкладку?

*Совет.* г) Частица не попадёт на обкладку конденсатора, если за время пролёта сквозь весь конденсатор она сместится в направлении, перпендикулярном обкладкам, на расстояние, меньшее  $d/2$ .

Время пролёта частицы сквозь весь конденсатор  $t_{\text{прол}} = \frac{l}{v_0}$ .

327. Точно посередине между вертикальными обкладками конденсатора в начальный момент удерживают в покое шарик с зарядом  $q$  и массой  $m$  (рис. 88). Напряжение между обкладками  $U$ , а расстояние между ними  $d$ . Шарик отпускают, и через некоторый промежуток времени он сталкивается с одной из обкладок.

- а) По какой траектории движется шарик между обкладками?
- б) Запишите выражение для проекции ускорения шарика на показанную на рисунке ось  $x$ .
- в) Запишите выражение для модуля ускорения шарика.
- г) Запишите выражение для времени  $t$  движения шарика до столкновения с обкладкой.

*Совет.* а) Учтите, что начальная скорость шарика равна нулю.

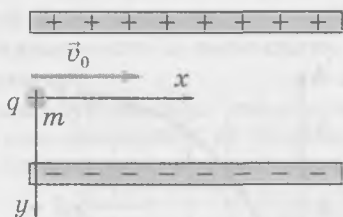


Рис. 87

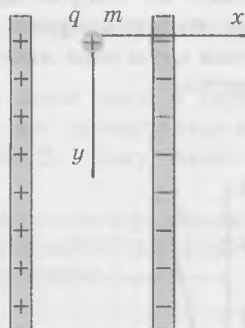
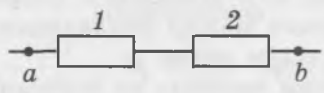
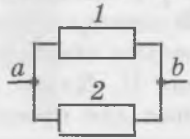


Рис. 88

# ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

## Закон Ома для участка цепи

<b>Закон Ома для участка цепи</b> $I = \frac{U}{R}$	<b>Сопротивление провода</b> $R = \rho \frac{l}{S}$
<b>Последовательное соединение</b>  $I = I_1 = I_2$ $U = U_1 + U_2$ $R = R_1 + R_2$	<b>Параллельное соединение</b>  $I = I_1 + I_2$ $U = U_1 = U_2$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

## Закон Ома для участка цепи

328. На рисунке 89 изображены графики зависимости  $I(U)$  для двух различных проводников.

- Сопротивление какого проводника больше?
- Чему равны сопротивления проводников?

*Совет.* а) Сравните силу тока в проводниках при одном и том же напряжении и воспользуйтесь законом Ома для участка цепи. б) Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи.

329. Масса медного провода длиной 10 м равна 89 г.

- Найдите площадь поперечного сечения провода.
- Найдите сопротивление провода.

330. На рисунке 90 приведены примеры графиков вольтамперной характеристики металлического провода и электролита (вольтамперной характеристикой называют зависимость силы тока в проводнике от напряжения на его концах). Какой цифрой отмечен график, который соответствует вольтамперной характеристике металлического провода?

*Совет.* При увеличении силы тока любой проводник нагревается, а при нагревании сопротивление металлов увеличивается.

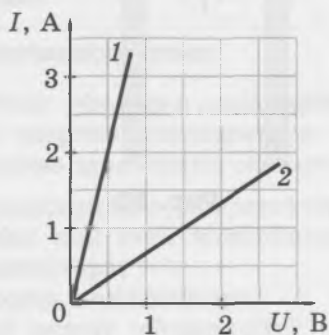


Рис. 89

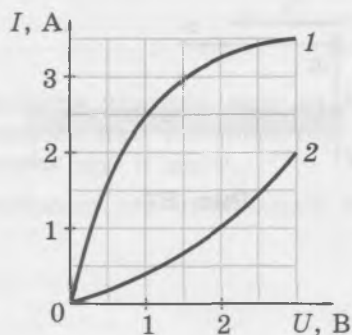


Рис. 90

## Последовательное и параллельное соединение проводников

331. Может ли сопротивление нескольких последовательно соединённых проводников быть равным 10 Ом, если сопротивление одного из них равно 12 Ом?

332. Проводники сопротивлениями  $R_1 = 1$  Ом и  $R_2 = 3$  Ом соединены последовательно. На участке цепи, состоящем из этих проводников, напряжение  $U = 40$  В.

а) Чему равно отношение напряжений на проводниках  $\frac{U_1}{U_2}$ ?

б) Чему равны напряжения на проводниках?

*Совет.* а) Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи и тем, что при последовательном соединении проводников сила тока в них одинакова.

333. Участок цепи состоит из двух последовательно соединённых проводников. Напряжение на всём участке 12 В, напряжение на первом проводнике 4 В, а сила тока во втором проводнике 2 А.

а) Каково напряжение на втором проводнике?

б) Чему равна сила тока в каждом проводнике?

в) Чему равно сопротивление каждого проводника?

*Совет.* б) Воспользуйтесь тем, что при последовательном соединении проводников сила тока в них одинакова.

334. Может ли сопротивление нескольких параллельно соединённых проводников быть равным 12 Ом, если сопротивление одного из них равно 10 Ом?

335. Проводники сопротивлением  $R_1 = 1$  Ом и  $R_2 = 3$  Ом соединены параллельно. Во всём участке цепи, состоящем из этих проводников, сила тока  $I = 4$  А.

а) Чему равно отношение сил тока в проводниках  $\frac{I_1}{I_2}$ ?

б) Чему равна сила тока в каждом проводнике?

*Совет.* а) Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи и тем, что при параллельном соединении проводников напряжение на них одинаково.

336. Сила тока в участке цепи, состоящем из двух проводников, равна 3 А. При этом сила тока в первом проводнике равна 1 А, а напряжение на втором проводнике равно 6 В.

а) Как соединены эти проводники — последовательно или параллельно?

б) Чему равна сила тока во втором проводнике?

в) Чему равно сопротивление каждого проводника?

*Совет.* а) Если бы проводники были соединены последовательно, сила тока в каждом проводнике была бы равна силе тока во всём участке цепи.

337. Когда два проводника соединили *параллельно*, сила тока в первом проводнике оказалась равной 2 А, а во втором — 6 А. Затем эти же проводники соединили *последовательно* и подключили к источнику напряжения 20 В. Чему равно напряжение на каждом проводнике?

*Совет.* Воспользуйтесь тем, что при параллельном соединении проводников отношение сил тока в них *обратно* отношению их сопротивлений, а при последовательном соединении отношение напряжений на проводниках *равно* отношению их сопротивлений.

## Работа и мощность тока

$$\text{Работа тока} \quad A = IUt$$

$$\text{Закон Джоуля — Ленца} \quad Q = I^2Rt$$

$$\text{Мощность тока} \quad P = IU$$

### Работа тока. Закон Джоуля — Ленца

**338.** Два проводника сопротивлениями  $R_1 = 1$  Ом и  $R_2 = 4$  Ом соединены *последовательно* и включены в электрическую цепь. В первом проводнике за 10 мин выделилось количество теплоты  $Q_1 = 600$  Дж.

- Какой формулой для количества теплоты удобнее пользоваться для сравнения количества теплоты, выделившегося в последовательно соединённых проводниках? Обоснуйте свой ответ.
- Какое количество теплоты выделилось за то же время во втором проводнике?
- Чему равна сила тока в каждом проводнике?

*Совет:* а) В последовательно соединённых проводниках силы тока одинаковы.

**339.** Два проводника сопротивлениями  $R_1 = 1$  Ом и  $R_2 = 4$  Ом соединены *параллельно* и включены в электрическую цепь. В первом проводнике за 10 мин выделилось количество теплоты  $Q_1 = 600$  Дж.

- Какой формулой для количества теплоты удобнее пользоваться для сравнения количества теплоты, выделившегося в параллельно соединённых проводниках? Обоснуйте свой ответ.
- Какое количество теплоты выделилось за то же время во втором проводнике?
- Чему равно напряжение на каждом проводнике?

*Совет.* а) На параллельно соединённых проводниках напряжение одинаково.

**340.** Участок цепи состоит из двух проводников и подключён к источнику тока. За некоторое время в проводниках выделилось количество теплоты  $Q_1 = 300$  Дж,  $Q_2 = 1,2$  кДж. Чему равно отношение сопротивлений проводников, если они соединены:

- параллельно;
- последовательно?

### Мощность тока

**341.** Два проводника сопротивлениями  $R_1 = 1$  Ом и  $R_2 = 4$  Ом соединены *последовательно* и включены в электрическую цепь. В первом проводнике мощность тока  $P_1 = 9$  Вт.

- Какой формулой для мощности тока удобнее пользоваться для сравнения значений мощности в последовательно соединённых проводниках? Обоснуйте свой ответ.
- Чему равна мощность тока во втором проводнике?
- Чему равна сила тока в каждом проводнике?

*Совет.* а) В последовательно соединённых проводниках силы тока одинаковы.

**342.** Два проводника сопротивлениями  $R_1 = 1$  Ом и  $R_2 = 4$  Ом соединены *параллельно* и включены в электрическую цепь. В первом проводнике мощность тока  $P_1 = 64$  Вт.

- Какой формулой для мощности тока удобнее пользоваться для сравнения значений мощности в параллельно соединённых проводниках? Обоснуйте свой ответ.
- Чему равна мощность тока во втором проводнике?
- Чему равно напряжение на каждом проводнике?

*Совет.* а) На параллельно соединённых проводниках напряжения одинаковы.

343. На электрочайнике указано, что он рассчитан на напряжение 220 В и его мощность равна 2 кВт.

- Чему равно сопротивление нагревательного элемента в рабочем режиме?
- Чему равна сила тока в нагревательном элементе в рабочем режиме?
- За какое время нагрелся бы в чайнике 1 л воды от 20 °С до кипения, если бы теплообменом с окружающим воздухом и другими предметами можно было пренебречь?

344. Два нагревательных элемента имеют сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ . Напряжение в сети равно  $U$ . Как надо их соединить, чтобы общая мощность тока была максимальной? минимальной (но не равной нулю)? Запишите выражения для этих значений мощности.

## Закон Ома для полной цепи

Источник тока		$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{стор}}}{q}$
Закон Ома для полной цепи		$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$
Напряжение на полюсах источника тока		$U = \mathcal{E} - Ir$
Сила тока при коротком замыкании		$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$

345. Если к источнику тока подключить резистор сопротивлением 2 Ом, то сила тока в цепи будет равна 1,5 А, а если последовательно соединить с этим резистором второй такой же, то сила тока в цепи станет равной 1 А.

- Чему равно внутреннее сопротивление источника?
- Чему равна ЭДС источника?

346. Запишите соотношение между напряжением на разомкнутых полюсах источника тока и ЭДС этого источника.

*Совет.* Докажите, что  $U = \mathcal{E} - Ir$ .

347. На рисунке 91 изображён полученный из опыта график зависимости напряжения  $U$  на полюсах источника от силы тока  $I$  в цепи.

- Чему равна ЭДС данного источника тока?
- Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

*Совет.* а) ЭДС источника тока равна напряжению на его полюсах, когда они разомкнуты. При этом сила тока в цепи равна нулю. б) Из формулы закона Ома для полной цепи следует, что наибольшая сила тока достигается при сопротивлении внешней цепи, равном нулю.

348. При силе тока в цепи 2 А напряжение на полюсах источника равно 8 В, а при силе тока 4 А напряжение на полюсах равно 4 В.

- Нанесите по полученным данным точки в координатах  $(I, U)$ .
- Используя эти точки, постройте график зависимости  $U(I)$ .
- Найдите ЭДС источника тока и его внутреннее сопротивление.

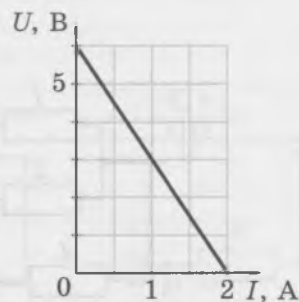


Рис. 91

349. Когда полюса батарейки замыкают на амперметр, он показывает 2 А; а когда последовательно с амперметром подключают резистор сопротивлением 4 Ом, сила тока становится равной 1 А.

- Чему можно считать равным сопротивление внешней цепи в первом случае? во втором случае?
- Как изменилось полное сопротивление цепи после подключения резистора?
- Чему равно внутреннее сопротивление батарейки?

*Совет.* а) Если о сопротивлении амперметра в условии задачи ничего не сказано, его принимают равным нулю. б) Обратите внимание на то, как изменилась сила тока в цепи, и воспользуйтесь законом Ома для полной цепи. в) Составьте систему уравнений, выражающих закон Ома для полной цепи при коротком замыкании батарейки и при подключении к ней резистора.

350. ЭДС источника тока равна 12 В, а его внутреннее сопротивление равно 2 Ом.

- При каком значении сопротивления внешней цепи КПД источника тока равен 50 %? 80 %? 99 %?
- Чему равны соответствующие значения силы тока?
- Имеет ли смысл приближать КПД источника тока к 100 %, изменяя сопротивление внешней цепи?

*Совет.* в) Исследуйте, при каком сопротивлении внешней цепи КПД источника тока приближается к 100 %.

## Дополнительные примеры расчёта электрических цепей

Соединение проводников, при котором часть проводников соединена друг с другом последовательно, а часть — параллельно, называют *смешанным*.

Для расчёта сопротивления участка цепи при смешанном соединении часто используют *метод эквивалентных схем*. Он состоит в том, что данную схему преобразуют в более простую, но имеющую такое же сопротивление.

351. Рассмотрите схему участка цепи, изображённую на рисунке 92. Сопротивления резисторов (в омах) равны номерам резисторов (например, сопротивление резистора 3 равно 3 Ом).

- Какие пары резисторов можно заменить одним резистором? Каким должно быть сопротивление этого резистора, чтобы сопротивление участка цепи не изменилось? Начертите соответствующую эквивалентную схему.
- Какие следующие аналогичные упрощения схемы можно сделать, не изменяя сопротивления участка цепи?
- Чему равно общее сопротивление  $R$  данного участка цепи?

352. На рисунке 93 изображена схема участка электрической цепи. Сопротивление каждого резистора 1 Ом.

- Используя метод эквивалентных схем, начертите схемы последовательного упрощения данной схемы, содержащие меньше резисторов.
- Найдите общее сопротивление  $R$  участка цепи.

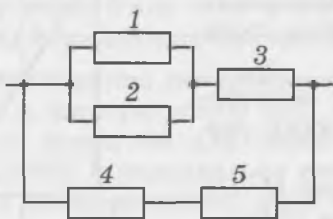


Рис. 92

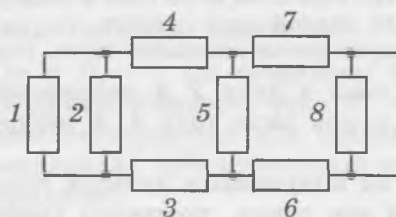


Рис. 93

## Использование точек с равным потенциалом

353. На рисунке 94 изображена схема участка электрической цепи. Сопротивления резисторов (в омах) равны номерам резисторов.

- Для каких пар точек разность потенциалов равна нулю?
- Перечертите схему данного участка цепи, объединив в одну точку те точки, разность потенциалов между которыми равна нулю.
- Чему равно общее сопротивление  $R$  данного участка цепи?

*Совет.* в) Воспользуйтесь формулой для параллельного соединения проводников.

354. На рисунке 95 изображена схема участка электрической цепи. Сопротивления резисторов (в омах) равны номерам резисторов.

- Для какой пары (или каких пар) точек разность потенциалов равна нулю?
- Перечертите схему данного участка цепи, объединив в одну точку точки, разность потенциалов между которыми равна нулю.
- Чему равно общее сопротивление  $R$  данного участка цепи?

355. На рисунке 96 изображена схема электрической цепи. Выразите мощность тока во внешней цепи через  $\mathcal{E}$ ,  $r$  и  $R$ .

*Совет.* Воспользуйтесь выражениями для мощности тока и законом Ома для полной цепи.

356. Выразите выделяемую во внешней цепи мощность  $P$  через силу тока  $I$  в цепи, ЭДС источника  $\mathcal{E}$  и его внутреннее сопротивление  $r$ .

*Совет.* Воспользуйтесь формулой  $P = UI$  и законом Ома для полной цепи.

357. Начертите график зависимости мощности тока во внешней цепи от силы тока  $P(I)$  для схемы, изображённой на рисунке 96.

- Используя этот график, найдите выражение для силы тока, при котором функция  $P(I)$  достигает максимума.
- При каком соотношении между  $R$  и  $r$  сила тока максимальна?

*Совет.* б) Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи.

358. Для данного источника тока мощность тока во внешней цепи максимальна, если сопротивление внешней цепи равно 2 Ом. Чему равен КПД этого же источника тока, если внешнее сопротивление равно 8 Ом?

*Совет.* Можно воспользоваться результатом предыдущей задачи.

## Конденсаторы в цепи постоянного тока

359. Может ли через конденсатор течь постоянный электрический ток? Обоснуйте свой ответ.

360. На рисунке 97 показана схема электрической цепи. ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 12$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 2$  Ом, сопротивление резистора  $R = 1$  Ом, ёмкость конденсатора  $C = 2$  мкФ.

- Чему равно напряжение между точками  $A$  и  $B$ ?
- Чему равно напряжение между точками  $B$  и  $D$ ?
- Чему равно напряжение между точками  $A$  и  $D$ ?
- Чему равен заряд конденсатора?

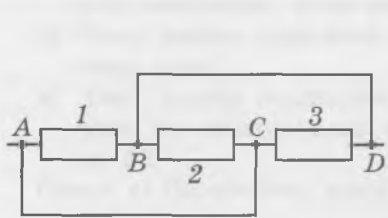


Рис. 94

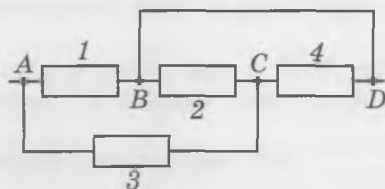


Рис. 95

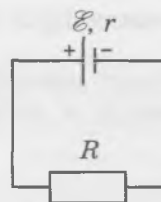


Рис. 96

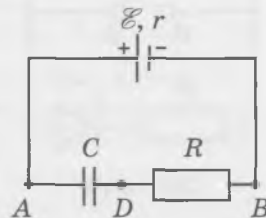


Рис. 97

*Совет.* а) Напряжение между полюсами разомкнутого источника равно его ЭДС. б) Учтите, что сила тока в цепи равна нулю, и воспользуйтесь законом Ома для участка цепи. в) Воспользуйтесь тем, что напряжение между полюсами разомкнутого источника равно его ЭДС, а также тем, что напряжение между точками  $B$  и  $D$  равно нулю. г) Воспользуйтесь соотношением между электроёмкостью конденсатора, зарядом конденсатора и напряжением на нём.

**361.** На рисунке 98 изображена схема электрической цепи, в которой  $\mathcal{E} = 24$  В,  $r = 2$  Ом,  $R = 10$  Ом,  $C = 4$  нФ.

- Чему равно напряжение  $U$  между полюсами источника?
- Чему равен заряд  $q$  конденсатора?

*Совет.* а) Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи и соотношением  $U = IR$ . б) Напряжение на конденсаторе равно в данном случае напряжению между полюсами источника.

**362.** На рисунке 99 изображена схема электрической цепи, в которой  $\mathcal{E} = 6$  В,  $r = 1$  Ом,  $R_1 = 3$  Ом,  $R_2 = 5$  Ом,  $R_3 = 8$  Ом,  $C = 8$  мкФ.

- Перечертите схему в тетрадь и обведите те элементы цепи, через которые будет течь ток.
- Чему равно сопротивление внешней цепи  $R$ ?
- Чему равно полное сопротивление цепи?
- Чему равна сила тока в резисторе 3?
- Чему равно напряжение между точками  $A$  и  $D$ ?
- Чему равно напряжение на конденсаторе?
- Чему равен заряд конденсатора?
- Каков знак заряда обкладки конденсатора, соединённой с резистором 2?

*Совет.* в) Полное сопротивление цепи равно сумме сопротивления внешней цепи и внутреннего сопротивления источника тока. г) Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи и учтите, что ток будет течь только через резисторы 1 и 3. д) Напряжение между точками  $A$  и  $D$  равно напряжению на резисторе 3. Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи. е) Учтите, что напряжение на резисторе 2 равно нулю, потому что через него не течёт ток.

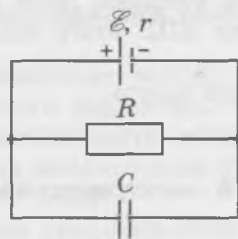


Рис. 98

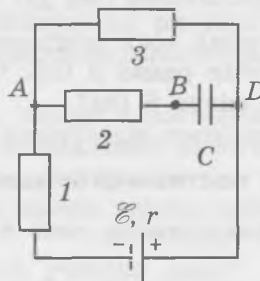


Рис. 99

# Электрический ток в полупроводниках

В полупроводниках *n*-типа основные носители заряда — электроны.

В полупроводниках *p*-типа основные носители заряда — дырки.

## Полупроводниковый диод



363. Совпадает ли направление электрического тока, обусловленное движением электронов, с направлением электрического тока, обусловленного движением дырок?

*Совет.* Учтите, что электроны и дырки будут двигаться в противоположные стороны.

364. Используя таблицу Менделеева, укажите, атомы каких химических элементов можно добавить в кристалл кремния, чтобы получить полупроводник:

- n*-типа;
- p*-типа?

Предлагаемые элементы для примесей: индий, сурьма, фосфор, скандий, галлий.

На рисунке 100 показана простейшая электрическая схема с *прямым* подключением диода, когда ток идёт через диод, а на рисунке 101 — с *обратным* подключением, когда ток не идёт через диод. Обратите внимание на то, как обозначают диоды на электрических схемах: стрелка-треугольник показывает направление тока через диод при *прямом* подключении.

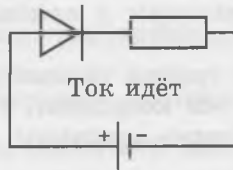


Рис. 100

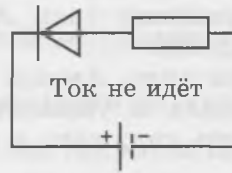


Рис. 101

365. К клеммам *A* и *B* (рис. 102) подключают источник тока с ЭДС, равной 12 В, и внутренним сопротивлением 2 Ом. Сопротивления резисторов  $R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = 4$  Ом.

- Чему равно полное сопротивление цепи, если положительный полюс источника тока подключён к клемме *A*?
- Чему равны при этом мощность тока в резисторе и КПД источника тока?
- Чему равны мощность тока в резисторе и КПД источника тока, если положительный полюс источника тока подключён к клемме *B*?

*Совет.* а) Определите, через какой резистор идёт ток.

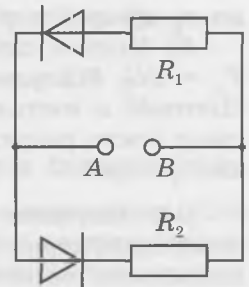


Рис. 102

# УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ

## ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

### Магнитное поле

43. Сопротивление проводника можно выразить через удельное сопротивление металла, длину проводника и площадь его поперечного сечения.

47. Та сторона рамки, на которую действует направленная вверх сила Ампера, начнёт приподниматься, если момент силы Ампера будет превышать момент силы тяжести относительно той стороны рамки, на которую действует сила Ампера, направленная вниз.

49. На каждый небольшой участок гибкого провода будет действовать сила Ампера, направленная перпендикулярно этому участку наружу контура, образованного проводом.

51. На проводник действуют сила тяжести, сила Ампера и равнодействующая сил упругости двух пружин. Эти силы образуют прямоугольный треугольник, гипотенузой которого является упомянутая выше равнодействующая.

55. Обозначения:  $N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на стержень со стороны рельсов,  $F_A$  — модуль силы Ампера, действующей на стержень.

а) Чтобы определить направление тока в стержне, надо узнать, как направлена действующая на него сила Ампера. Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  вертикально вверх. Тогда, записав второй закон Ньютона в проекциях на ось  $x$ , получим:  $N \sin \alpha + F_{Ax} - \mu N \cos \alpha = 0$ . Здесь учтено, что по условию стержень скользит вниз: это позволяет определить направление силы трения скольжения. Из написанного уравнения следует, что  $F_{Ax} > 0$ , если  $\mu > \operatorname{tg} \alpha$ ,  $F_{Ax} < 0$ , если  $\mu < \operatorname{tg} \alpha$ . Используя заданные в условии значения величин, находим знак проекции  $F_{Ax}$ . Если она оказалась положительной, то сила Ампера направлена вправо (от рельсов), а если отрицательной — то влево (в сторону рельсов). Выяснив направление силы Ампера, находим с помощью правила левой руки направление тока в стержне.

б) Зная направление силы Ампера и силы трения скольжения, записываем второй закон Ньютона в проекциях на указанные выше оси координат. Полученная система уравнений позволяет выразить силу тока в стержне через величины, заданные в условии.

57. Обозначения:  $q$  — начальный заряд конденсатора,  $I$  — сила тока в стержне во время разрядки конденсатора.

а) Используя закон сохранения энергии в механике, можно выразить скорость стержня  $v_1$  сразу после разрядки конденсатора через величины, заданные в условии.

б) Модуль действующей на стержень во время разрядки конденсатора силы Ампера  $F_A = BI$ . Импульс этой силы за время  $\Delta t$  разрядки конденсатора  $BIq$ . Из второго закона Ньютона в импульсной форме следует, что таково же выражение для импульса стержня сразу после разрядки конденсатора. Используя полученное выражение для  $v_1$  и выражение для  $q$  через  $U$  и  $C$ , можно выразить  $U$  через величины, заданные в условии.

64. Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вверх. Сила Ампера перпендикулярна стержню и вектору магнитной индукции. По условию ускорение стержня направлено вправо, откуда следует, что проекция силы Ампера на ось  $x$  положительна. Из чертежа видно, что в таком случае положительна и проекция силы Ампера на ось  $y$ . Это позволяет определить направление силы Ампера, а, следовательно, и направление тока в стержне, используя правило левой руки. В данном случае проекции силы Ампера на оси

координат выражаются формулами  $F_{Ax} = F_A \cos \alpha$ ,  $F_{Ay} = F_A \sin \alpha$ . По условию вектор магнитной индукции перпендикулярен стержню, поэтому  $F_A = BIl$ . Используя написанные выше выражения для проекций силы Ампера, запишем второй закон Ньютона для стержня в проекциях на оси координат, учитывая выражение для силы трения и тот факт, что сила трения скольжения направлена противоположно скорости стержня. Мы получим систему двух уравнений, с помощью которых можно выразить ускорение стержня через заданные в условии величины.

**65.** а) Импульс стержня сразу после выключения тока равен импульсу силы Ампера. Импульс силы Ампера можно выразить через  $B$ ,  $l$  и  $Q$ . Кинетическую энергию стержня сразу после выключения тока можно выразить через импульс стержня и его массу.

б) Амплитуда колебаний — это модуль наибольшего смещения стержня из положения равновесия. При наибольшем смещении стержня из положения равновесия кинетическая энергия стержня равна нулю. По условию трением можно пренебречь, поэтому, согласно закону сохранения энергии в механике, при максимальном смещении стержня из положения равновесия потенциальная энергия упругой деформации обеих пружин равна кинетической энергии стержня сразу после выключения тока. Это позволяет выразить модуль наибольшего смещения стержня, то есть амплитуду колебаний, через величины, заданные в условии.

**91.** Модуль скорости протона  $v$  можно выразить через ускоряющую разность потенциалов  $U$ , заряд и массу протона. Радиус  $r$  окружности, по которой движется протон в магнитном поле, можно выразить через модуль скорости протона  $v$ , его массу и модуль магнитной индукции поля  $B$ . Изобразим на чертеже центр  $O$  окружности радиуса  $r$ , по которой движется протон в магнитном поле. Радиусы, проведённые в точку  $A$  влёта протона в данную полосу и точку  $C$  вылета из этой области, образуют угол, равный искомому углу  $\alpha$  поворота вектора скорости протона при движении сквозь полосу. Из геометрического построения получаем  $\sin \alpha = \frac{l}{r}$ .

**93.** Обозначения:  $m$  — масса протона,  $e$  — заряд протона (элементарный заряд),  $v$  — модуль скорости протонов,  $I$  — сила тока в пучке,  $\tau$  — заданный промежуток времени (1 с). Количество теплоты  $Q$ , выделившейся за промежуток времени  $\tau$ , равно суммарной кинетической энергии протонов, поглощённых пластиной за это время. Следовательно,

$Q = n \frac{mv^2}{2}$ . Число протонов, поглощённых пластиной за промежуток времени  $\tau$ , выража-

ется формулой  $n = \frac{I\tau}{e}$ . Скорость протонов  $v$  можно найти из условия, что в магнитном поле с заданным модулем магнитной индукции  $B$  они движутся по окружности заданного радиуса  $r$ .

### Электромагнитная индукция

**144.** ЭДС индукции на концах проводника выражается формулой  $\mathcal{E}_i = Bvl$ . Скорость проводника  $v$  связана с пройденным им путём  $L$  и ускорением  $a$  формулой  $L = \frac{v^2}{2a}$ .

**145.** Согласно закону Ома для полной цепи  $I = \frac{\mathcal{E}_i}{R}$ , где  $R$  — полное сопротивление всей цепи, равное в данном случае удвоенному сопротивлению одной из перемычек. Для нахождения ЭДС индукции в контуре можно воспользоваться либо законом электромагнитной индукции, либо рассматривать перемычки как последовательно соединённые источники тока, ЭДС каждого из которых равен  $Bvl$ .

**163.** Обозначения:  $L$  — индуктивность катушки,  $\Phi$  — магнитный поток, пронизывающий катушку,  $\Phi_1$  — магнитный поток, пронизывающий один виток,  $n$  — число витков в

катушке,  $I$  — сила тока в катушке. Из определения индуктивности следует, что  $L = \frac{\Phi}{I}$ .

При определении магнитного потока, пронизывающего катушку, надо учесть, что он пронизывает все её витки. По условию магнитные потоки, пронизывающие все витки катушки, одинаковы. Следовательно,  $\Phi = n\Phi_1$ . Согласно условию магнитное поле внутри катушки можно считать однородным, поэтому  $\Phi_1 = BS$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $L$  через величины, заданные в условии.

**168.** Обозначения:  $L$  — индуктивность катушки,  $I$  — сила тока в цепи при замкнутом ключе,  $C$  — электроёмкость конденсатора,  $U$  — напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе. До тех пор, пока ключ был замкнут, конденсатор был заряжен и в катушке был ток. Энергия магнитного поля в катушке выражается формулой  $W_m = \frac{LI^2}{2}$ . Энергия электрического поля в конденсаторе выражается формулой  $W_c = \frac{CU^2}{2}$ . Постоянный ток шёл

только через катушку и лампу, поэтому сила тока согласно закону Ома для полной цепи

$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ . Напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе  $U = IR$ . После размыкания

цепи ток прекратился и конденсатор разрядился. Согласно закону сохранения энергии количество теплоты, выделившееся в результате в лампе  $Q = W_c + W_m$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $Q$  через величины, заданные в условии.

**170.** В данном случае начальная энергия электрического поля в конденсаторе равна нулю, потому что если сопротивлением катушки можно пренебречь, напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе равно нулю. Электроёмкость конденсатора является лишним данным.

# КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

## Колебания

**199.** Поскольку начальная скорость шарика равна нулю, в начальный момент он находится в одном из крайних положений: его смещение по модулю равно амплитуде колебаний. Начиная с этого момента за каждую четверть периода шарик проходит путь, равный амплитуде колебаний.

**204.** Из условия можно получить, что в искомый момент времени  $t$  смещение  $x = 1$  см, следовательно,  $\sin \frac{\pi t}{6} = \frac{1}{2}$ .

**206.** В начальный момент тело находится в положении равновесия, следовательно, зависимость смещения тела от времени выражается формулой  $x = x_{\max} \sin \omega t$ . В искомый момент времени  $x = \frac{x_{\max}}{2}$ . Следовательно, в ближайший к начальному моменту времени  $t$  удовлетворяет уравнению  $\omega t = \frac{\pi}{6}$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $t$  через величины, заданные в условии.

**238.** Обозначения:  $m$  — масса груза,  $a$  — ускорение пластины,  $\mu$  — коэффициент трения между грузом и пластиной,  $\omega$  — циклическая частота колебаний пластины.

а) Если груз неподвижен относительно горизонтально колеблющейся пластины, на него при колебаниях со стороны пластины действует сила трения покоя. При этом ускорение груза равно ускорению пластины. Поэтому согласно второму закону Ньютона  $F_{\text{тр. пок.}} = ma$ . Сила трения покоя не превышает своего максимального значения, которое мы принимаем равным силе трения скольжения. Поскольку пластина горизонтальна и колеблется в горизонтальном направлении, сила нормальной реакции равна по модулю силе тяжести. Следовательно,  $F_{\text{тр. пок.}} \leq \mu mg$ . Из написанных соотношений следует искомое неравенство для максимально возможного ускорения пластины, при котором груз покоится относительно пластины.

б) При гармонических колебаниях наибольшее значение модуля ускорения  $a_{\max}$  связано с амплитудой колебаний  $x_{\max}$  соотношением  $a_{\max} = \omega^2 x_{\max}$ . Используя это соотношение, найденное значение  $a_{\max}$  и соотношение, связывающее циклическую частоту колебаний  $\omega$  с известным периодом колебаний  $T$ , можно выразить  $x_{\max}$  через величины, заданные в условии.

**239.** Период колебаний данного маятника состоит из половины периода колебаний маятника с длиной нити  $l$  и половины периода колебаний маятника с длиной нити  $l_1 - l_2$ .

**240.** Удобно воспользоваться выражениями для квадратов периодов колебаний рассматриваемых маятников.

**257.** Обозначения:  $E$  — полная энергия маятника,  $\omega$  — циклическая частота колебаний маятника,  $T$  — период колебаний маятника. Выражения для потенциальной и кинетической энергии маятника можно записать в виде:  $E_p = E \cos^2 \omega t$ ,  $E_k = E \sin^2 \omega t$ . Из этих формул следует, что в ближайший к начальному состоянию момент времени  $t_1$ , когда  $E_p = E_k$ , выполняется равенство  $\cos \omega t_1 = \sin \omega t_1$ .

**258.** Обозначим  $x_1$  максимальную деформацию пружины после падения шарика на чашу весов. В начальный момент, а также в момент, когда чаша находится в самом низшем положении, шарик покоится, поэтому изменение его кинетической энергии равно нулю. Применяя к шарiku теорему об изменении кинетической энергии, получаем  $mg(h + x_1) - \frac{kx_1^2}{2} = 0$ . Колебания шарика, прилипшего к чаше, происходят около положения

равновесия, соответствующего деформации пружины  $x_0$ , которая определяется из условия равновесия шарика, покоящегося на чаше весов:  $mg = kx_0$ . Амплитуду колебаний  $x_{\max}$  находим из уравнения  $x_{\max} = x_1 - x_0$ .

**281.** Обозначим  $C_1$  начальную ёмкость конденсатора,  $C_2$  — его конечную ёмкость. Используя формулу Томсона и данные из условия, можно составить систему двух уравнений для нахождения  $C_1$  и  $C_2$ .

### Волны

**327.** Обозначения:  $t$  — промежуток времени от начала падения камня до момента, когда был услышан звук от падения ( $6$  с),  $v_{\text{зв}}$  — скорость звука в воздухе. Глубина шахты  $h$  и время падения камня  $t_1$  связаны соотношением  $h = \frac{gt_1^2}{2}$ . Промежуток времени  $t_2$  между падением камня на дно шахты и моментом, когда звук был услышан, связан с глубиной шахты  $h$  и скоростью звука  $v_{\text{зв}}$  уравнением  $t_2 = \frac{h}{v_{\text{зв}}}$ . Согласно условию  $t_1 + t_2 = t$ .

Используя написанные уравнения, можно составить квадратное уравнение для нахождения  $\sqrt{h}$ .

**328.** Обозначения:  $\Delta\lambda$  — разность значений длины волны в воде и воздухе. При переходе из одной среды в другую частота волны  $\nu$  не изменяется. Скорость волны в воздухе, длина волны в воздухе и частота волны связаны соотношением  $v_{\text{возд}} = \lambda_{\text{возд}}\nu$ . Скорость волны в воде, длина волны в воде и частота волны связаны соотношением  $v_{\text{вод}} = \lambda_{\text{вод}}\nu$ . Согласно условию  $\lambda_{\text{вод}} - \lambda_{\text{возд}} = \Delta\lambda$ . Написанные уравнения представляют собой систему трёх уравнений с тремя неизвестными, одним из которых является искомая частота волны.

# ОПТИКА

## Геометрическая оптика

**363.** Согласно условию вследствие отражения от зеркала луч, идущий от солнца под углом  $\beta$  к горизонту, стал идти вертикально вниз. С помощью геометрического построения можно убедиться, что при этом угол между падающим и отражённым лучами равен  $90^\circ + \beta$ . Это позволяет найти углы падения и отражения луча. Рассматривая зеркало, отражённый от него луч и перпендикуляр к зеркалу, проведённый в точку падения луча, можно доказать, что искомый угол между плоскостью зеркала и горизонтом равен углу отражения.

**377.** Обозначения:  $\alpha$  — угол падения луча на пластинку,  $\gamma$  — угол преломления луча при переходе из воздуха в пластинку. в) Построив ход луча света в пластинке, находим, что искомое смещение луча  $d$  является катетом прямоугольного треугольника, гипотенуза которого равна пути  $l$ , пройденному лучом в пластинке, а прилежащий к катету угол равен  $90^\circ - \alpha + \gamma$ . Используя формулы приведения, получаем отсюда  $d = l \sin(\alpha - \gamma)$ . Путь  $l$  выражается формулой  $l = \frac{h}{\cos \gamma}$ . Угол преломления находим, используя закон преломления света. Задачу удобнее решать не в общем виде, а подстановкой конкретных численных данных.

**379.** б) Построив согласно условию ход луча света в призме, находим, что угол преломления равен  $30^\circ$ . Из условия, что при прохождении сквозь призму луч повернулся на  $60^\circ$ , получаем, что при каждом из двух преломлений на гранях призмы луч повернулся на  $30^\circ$ . Отсюда с помощью геометрического построения можно доказать, что угол падения луча равен  $60^\circ$ .

**394.** Обозначения:  $H$  — высота, на которой находится фонарь,  $h$  — высота шеста,  $d_1$  — расстояние от фонарного столба до шеста в его первом положении,  $d_2$  — расстояние от фонарного столба до шеста в его втором положении,  $l_1$  — длина тени от шеста в его первом положении,  $l_2$  — длина тени от шеста в его втором положении. Без ограничения общности можно считать, что фонарь и шесты в двух описанных в условии положениях находятся в одной плоскости. Обозначим  $O$  точку, в которой находится фонарь,  $A_1$  и  $A_2$  — вершины шеста в первом и втором положениях,  $B_1$  и  $B_2$  — концы отбрасываемых шестом теней в этих положениях. Треугольники  $OA_1A_2$  и  $OB_1B_2$  подобны, поэтому отношение высот этих треугольников равно отношению их оснований. Отсюда следует, что  $\frac{H - h}{H} = \frac{A_1A_2}{B_1B_2}$ . Кроме того,  $A_1A_2 = d_2 - d_1$ ,  $B_1B_2 = d_2 + l_2 - (d_1 + l_1)$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $H$  через величины, заданные в условии.

**402.** Обозначения:  $\alpha$  — угол падения луча,  $\gamma$  — угол преломления луча. Построив ход падающего, отражённого и преломлённого лучей, находим, что в данном случае сумма углов падения и преломления равна  $90^\circ$ . Отсюда следует, что  $\sin \gamma = \cos \alpha$ . Используя это соотношение и закон преломления света, можно выразить показатель преломления жидкости через величины, заданные в условии.

**405.** Обозначения:  $a$  — длина ребра куба,  $b$  — глубина, на которой находится нижняя грань куба,  $\rho_k$  — плотность дерева, из которого изготовлен куб,  $\rho_v$  — плотность воды,  $n_v$  — показатель преломления воды,  $h_1$  — расстояние от нижней точки тени до нижней грани куба. Используя условия плавания тел, можно показать, что  $\frac{b}{a} = \frac{\rho_k}{\rho_v}$ .

б) В пасмурный день источником света является всё небо, следовательно, лучи света падают на поверхность воды под всевозможными углами, то есть в том числе и под углами, очень близкими к  $90^\circ$ . Используя закон преломления света, находим для максималь-

но возможного угла преломления света  $\gamma_{\max}$  в воде (соответствующего углу падения  $90^\circ$ )  $\sin \gamma_{\max} = \frac{1}{n_b}$ . Учитывая, что границу тени под кубом образуют лучи, которым соответствует угол преломления  $\gamma_{\max}$ , получаем  $\frac{a}{2h_1} = \operatorname{tg} \gamma_{\max}$ . Искомая глубина, на которой находится нижняя точка тени,  $h = b + h_1$ .

в) Лучи, выходящие из области тени, испытывают на поверхности воды полное внутреннее отражение.

**407.** При наименьшем возможном расстоянии от ступней юноши до камня луч, идущий от камня в глаз юноше, испытывает полное внутреннее отражение, падая на поверхность воды снизу под углом  $\alpha_0$ , равным предельному углу полного внутреннего отражения. Исходя из этого и используя геометрические построения, находим расстояние  $b$  от камня до перпендикуляра к поверхности воды, проведённого в точке, в которой произошло отражение луча света от поверхности воды. Аналогично находим расстояние  $b_1$  от подошв юноши до того же перпендикуляра.

**446.** Обозначения:  $F_1$  — фокусное расстояние первой линзы,  $F_2$  — фокусное расстояние второй линзы,  $d$  — расстояние от линзы до предмета,  $f_1$  — расстояние от линзы до изображения в первом опыте,  $f_2$  — расстояние от линзы до изображения во втором опыте. В обоих опытах неизменным было расстояние  $d$  от предмета до линзы, а фокусные расстояния линз и расстояния от линзы до экрана были различными. Запишем формулу тонкой линзы для этих опытов:  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F_1}$ ,  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_2}$ . Увеличение линзы  $\Gamma$  можно выразить через  $d$  и  $f$ :  $\Gamma = \frac{f}{d}$ . Используя эту формулу, получаем, что согласно условию  $f_1 = \frac{d}{3}$ ,  $f_2 = 3d$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $F_2$  через величины, заданные в условии.

**447.** Обозначения:  $l_1$  — расстояние от предмета до переднего фокуса линзы,  $l_2$  — расстояние от изображения до заднего фокуса линзы,  $F$  — фокусное расстояние линзы. О положении предмета и изображения в условии сказано только, на каком расстоянии от фокусов линзы они находятся. Поэтому прежде всего надо определить более точно расположение предмета и изображения, а также вид линзы (собирающая или рассеивающая). По условию линза даёт изображение предмета на экране. Изображение на экране может быть только действительным, а действительное изображение даёт только собирающая линза. Далее, собирающая линза даёт действительное изображение предмета при условии, что он находится на расстоянии от линзы, большем фокусного. Следовательно, расстояние от предмета до линзы можно записать в виде  $d = F + l_1$ . Рассмотрим теперь, где может находиться изображение предмета. Из формулы тонкой линзы следует, что действительное изображение не может находиться от линзы на расстоянии, меньшем фокусного. Следовательно, расстояние от линзы до изображения можно записать в виде  $f = F + l_2$ . Подставляя написанные формулы в формулу тонкой линзы, получаем уравнение, с помощью которого можно выразить  $F$  через заданные в условии величины.

**448.** Изображение части стрелки от  $A$  до точки, совпадающей с фокусом линзы (исключая саму эту точку!), мнимое, прямое и расположено по ту же сторону линзы, что и стрелка. А изображение части стрелки от  $B$  до точки, совпадающей с фокусом линзы (исключая саму эту точку!), действительное, перевёрнутое и расположено по другую сторону линзы. Таким образом, изображение стрелки  $AB$  состоит из двух не связанных друг с другом частей.

**449.** Обозначения:  $F$  — фокусное расстояние линзы,  $d_1, d_2$  — расстояния от линзы до источников света,  $L$  — расстояние между источниками света. Точка, в которой находятся изображения обоих источников, расположена между линзой и одним из источников. Следовательно, даваемое линзой изображение этого источника (назовём его для опреде-

лённости первым) является мнимым, а изображение второго источника в этой же точке является действительным. Обозначим  $x$  расстояние от линзы до точки, в которой находятся изображения обоих источников. С учётом того, что изображение первого источника является мнимым, формулу тонкой линзы для источников и их изображений можно записать в виде  $\frac{1}{d_1} - \frac{1}{x} = \frac{1}{F}$ ,  $\frac{1}{d_2} + \frac{1}{x} = \frac{1}{F}$ . Кроме того,  $d_1 + d_2 = L$ . Используя написанные уравнения, можно получить два уравнения для двух неизвестных  $d_1$  и  $d_2$ .

**450.** Обозначим  $L$  одинаковое в обоих опытах расстояние от предмета до экрана (на котором получено действительное изображение предмета). Тогда расстояние  $d$  от линзы до предмета и расстояние  $f$  от линзы до изображения связаны соотношением  $d + f = L$ .

Поэтому формулу тонкой линзы можно записать в виде  $\frac{1}{d} + \frac{1}{L-d} = \frac{1}{F}$ . Это уравнение

имеет два решения:  $d_1 = \frac{L + \sqrt{L^2 - 4FL}}{2}$ ,  $d_2 = \frac{L - \sqrt{L^2 - 4FL}}{2}$ . Этим решениям соответствуют

$f_1 = \frac{L - \sqrt{L^2 - 4FL}}{2}$ ,  $f_2 = \frac{L + \sqrt{L^2 - 4FL}}{2}$ . Обратите внимание на полезные при решении подоб-

ных задач соотношения:  $f_1 = d_2$ ,  $f_2 = d_1$ . Из них следует, что при неизменном расстоянии от предмета до экрана найденные значения  $f$  и  $d$  можно «поменять» местами, получив второе возможное положение линзы, при котором она даёт действительное изображение на

экране. Увеличение изображения выражается формулой  $\Gamma = \frac{f}{d}$ . По условию изображение в

первом опыте было уменьшенным, откуда следует, что  $f_1 < d_1$ . Следовательно, выражения для  $d_1$ ,  $f_1$  соответствуют первому опыту, а выражения для  $d_2$ ,  $f_2$  — второму. Согласно ус-

ловию  $\Gamma_2 = 4\Gamma_1$ , откуда следует, что  $\frac{f_2}{d_2} = 4\frac{f_1}{d_1}$ . Используя написанные уравнения, можно

получить линейное уравнение для нахождения  $F$ .

**467.** Обозначения:  $d_0$  — расстояние наилучшего зрения,  $f$  — расстояние от хрусталика до сетчатки,  $D_{\text{гл}}$  — оптическая сила глаза,  $D_{\text{оч}}$  — оптическая сила очков. Формула тонкой линзы для случая, когда человек с помощью очков рассматривает предмет, расположенный

на расстоянии наилучшего зрения, имеет вид  $\frac{1}{d_0} + \frac{1}{f} = D_{\text{гл}} + D_{\text{оч}}$ . Когда человек рассматри-

вает без очков мелкие предметы, находящиеся на искомом расстоянии  $x$ , формула тонкой

линзы имеет вид:  $\frac{1}{x} + \frac{1}{f} = D_{\text{гл}}$ . Вычитая второе уравнение из первого, получаем уравнение,

с помощью которого можно выразить  $x$  через величины, заданные в условии.

**472.** Обозначения:  $d_1$ ,  $d_2$  — расстояния от линзы до предмета в первом и втором опытах,  $f_1$ ,  $f_2$  — расстояния от линзы до изображения в первом и втором опытах,  $H_1$ ,  $H_2$  — высота изображения предмета в первом и втором опытах,  $h$  — высота предмета.

Запишем формулу тонкой линзы для двух опытов:  $\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}$ ,  $\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}$ . Рассматривая

ход луча, идущего через оптический центр объектива, получаем:  $f_1 = \frac{H_1 d_1}{h}$ ,  $f_2 = \frac{H_2 d_2}{h}$ . Ис-

пользуя написанные уравнения, можно выразить  $F$  через заданные в условии величины.

**473.** В данном случае можно считать, что изображение автомобиля находится в фокальной плоскости объектива, поскольку расстояние от объектива до автомобиля во много

раз больше фокусного расстояния объектива. Используя подобие треугольников, можно доказать, что скорость движения изображения  $v_{\text{и}}$  во столько же раз меньше скорости автомобиля  $v_{\text{а}}$ , во сколько раз фокусное расстояние объектива  $F$  меньше расстояния до автомобиля  $d$ :  $\frac{v_{\text{и}}}{v_{\text{а}}} = \frac{F}{d}$ . Размытие контура изображения  $b$  за время экспозиции  $\Delta t$  выражается

формулой  $b = v_{\text{и}} \Delta t$ . Используя написанные уравнения, можно выразить наименьшее время экспозиции  $\Delta t$  через величины, заданные в условии.

**474.** Из формулы тонкой линзы следует, что если изображение является действительным, то  $f > F$ , то есть действительное изображение любого предмета находится дальше фокальной плоскости. Рассмотрим светящуюся точку, находящуюся на главной оптической оси на расстоянии  $d$  от линзы. Все исходящие из этой точки лучи пересекаются в точке, находящейся на расстоянии  $f$  от линзы, то есть на расстоянии  $f - F$  от её фокальной плоскости, в которой по условию находится плёнка. Поэтому на фокальной плоскости исходящие из данной светящейся точки лучи после преломления в линзе будут образовывать светлое пятно. Обозначим  $r$  радиус этого пятна. Точки пятна, находящиеся на расстоянии  $r$  от его центра, образованы лучами, прошедшими через точки объектива, находящиеся на расстоянии  $R$  от оптического центра, где  $R$  — радиус объектива. Построив ход одного из таких лучей и используя подобие треугольников, получаем  $\frac{r}{R} = \frac{f - F}{f}$ . С другой стороны из формулы тонкой линзы получаем  $d = \frac{Ff}{f - F}$ . Используя последние два уравнения, получим уравнение, с помощью которого можно выразить  $d$  через  $R$ ,  $r$  и  $F$ . Искомое наименьшее расстояние  $d$  соответствует наименьшему допустимому диаметру пятна  $r$ .

## Волновая оптика

**481.** Обозначения:  $s$  — расстояние между соседними светлыми полосами,  $a$  — сторона квадратной рамки,  $\lambda$  — длина световой волны в воздухе (0,66 мкм),  $\lambda_{\text{вод}}$  — длина световой волны в воде,  $n$  — показатель преломления воды,  $d_{\text{ниж}}$  — толщина плёнки у нижней стороны рамки,  $d_{\text{верх}}$  — толщина плёнки у верхней стороны рамки. Докажите, что

$$\frac{s}{a} = \frac{\lambda_{\text{вод}}}{2(d_{\text{ниж}} - d_{\text{верх}})}. \text{ Согласно условию, наблюдается } 10 \text{ полос, откуда следует, что } a = 10s.$$

Длина световой волны в воде в  $n$  раз меньше длины волны в воздухе:  $\lambda_{\text{вод}} = \frac{\lambda}{n}$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $d_{\text{ниж}} - d_{\text{верх}}$  через величины, заданные в условии.

**488.** Обозначения:  $D$  — расстояние между двумя ближайшими светлыми полосами, лежащими по разные стороны от центрального максимума (4,8 мм),  $d$  — расстояние между источниками света,  $L$  — расстояние от источников света до экрана,  $\lambda$  — длина волны света. Указанное в условии расстояние  $D$  (4,8 мм) — это расстояние между первыми интерференционными максимумами, расположенными по разные стороны от центрального максимума. Следовательно, расстояние от центрального максимума до любого из первых максимумов равно  $D/2$ . Отсюда следует, что этот максимум наблюдается под углом  $\varphi_1$ , для

которого  $\text{tg} \varphi_1 = \frac{D}{2L}$ . Из условия интерференционных максимумов  $d \sin \varphi_k = \lambda k$  получаем для

угла  $\varphi_1$ , под которым наблюдается первый максимум ( $k = 1$ ):  $d \sin \varphi_1 = \lambda$ . В данном случае расстояние от источников до экрана во много раз больше расстояния между источниками, поэтому углы, под которыми наблюдаются интерференционные максимумы, малы. В таком случае синусы и тангенсы углов можно заменять самими углами, измеренными в ради-

анной мере. Поэтому можно записать  $\varphi_1 = \frac{D}{2L}$ ,  $d \varphi_1 = \lambda$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $\lambda$  через величины, заданные в условии.

**514.** Обозначения:  $\varphi_1$  — угол, под которым наблюдается первый интерференционный максимум,  $\lambda$  — длина волны света,  $d$  — период дифракционной решётки.

а) Расстояние  $h$  от центрального интерференционного максимума до максимума первого порядка выражается формулой  $h = F \operatorname{tg} \varphi_1$ . Для угла  $\varphi_1$ , под которым наблюдается первый максимум ( $k = 1$ ) справедливо соотношение  $d \sin \varphi_1 = \lambda$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $h$  через величины, заданные в условии.

б) Искомая ширина спектра равна разности расстояний интерференционных максимумов первого порядка для заданных длин волн.

**516.** Если на дифракционную решётку падает монохроматический свет с определённой длиной волны, то интерференционные максимумы имеют форму очень узких полос.

Если же на решётку падает пучок света, длины волн в котором находятся в интервале от  $\lambda_1$  до  $\lambda_2$ , то интерференционные максимумы расширяются. Например, полоса, соответствующая  $k$ -му интерференционному максимуму, ограничена теперь углами от  $\varphi_1$

до  $\varphi_2$ , удовлетворяющими уравнениям  $\sin \varphi_1 = k \frac{\lambda_1}{d}$ ,  $\sin \varphi_2 = k \frac{\lambda_2}{d}$ . Из написанных уравне-

ний следует, что полоса, соответствующая максимуму  $k$ -го порядка, перекрывается с полосой, соответствующей максимуму  $(k + 1)$ -го порядка, если будет выполнено неравенство  $(k + 1)\lambda_1 \geq k\lambda_2$ . Используя это неравенство и заданные в условии значения  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , можно определить, для какого наименьшего значения  $k$  выполняется это неравенство в данном случае. Наибольший порядок наблюдаемого интерференционного максимума можно найти

из уравнения  $\sin \varphi = k \frac{\lambda}{d}$ , учитывая, что значения синуса не превышают 1. Используя написанные уравнения и заданные в условии значения  $d$  и  $\lambda$ , можно определить наибольший порядок наблюдаемых максимумов. В данном случае он оказывается меньше, чем минимальное значение  $k$ .

# КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

## Кванты и атомы

**589.** Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов связана с задерживающим напряжением соотношением  $E_{k \max} = eU_3$ . Докажите, что из этого соотношения и уравнения Эйнштейна для фотоэффекта следует, что  $h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3$ . Используя последнее уравнение, можно выразить искомое изменение частоты падающего света.

**590.** Фототок будет продолжаться до тех пор, пока напряжение на конденсаторе не станет равным задерживающему напряжению  $U_3$ . При этом заряд конденсатора будет выражаться формулой  $q = CU_3$ . Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов связана с задерживающим напряжением соотношением  $E_{k \max} = eU_3$ . Из написанных уравнений и уравнения Эйнштейна для фотоэффекта следует, что  $h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $q$  через справочные данные и величины, заданные в условии.

**592.** Из второго закона Ньютона в импульсной форме следует, что сила давления света на поверхность выражается через передаваемый светом поверхности импульс  $\Delta p$  за промежуток времени  $\Delta t$  формулой  $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ . Если поверхность полностью отражает свет, то передаваемый светом импульс связан с импульсом всех фотонов  $p$  падающего света соотношением  $\Delta p = 2p$ . Если же поверхность полностью поглощает свет, то передаваемый светом импульс связан с импульсом всех фотонов  $p$  падающего света соотношением  $\Delta p = p$ . Импульс одного фотона  $p_1$  связан с его энергией  $E_1$  соотношением  $p_1 = \frac{E_1}{c}$ . Следовательно, суммарный импульс  $p$  всех фотонов связан с суммарной энергией  $E$  падающего света соотношением  $p = \frac{E}{c}$ . Энергию падающего света за промежуток времени  $\Delta t$  можно выразить через заданную в условии мощность излучения, падающего на  $1 \text{ м}^2$ , и площадь поверхности. При численном расчёте надо учесть, что поверхность батареи согласно условию половину падающего света поглощает, а половину — отражает.

## Атомное ядро и элементарные частицы

**649.** Обозначения:  $v$  — модуль скорости  $\alpha$ -частицы,  $V$  — модуль скорости иона,  $E$  — суммарная кинетическая энергия  $\alpha$ -частицы и иона. Из закона сохранения импульса следует, что  $mv = MV$ . Согласно закону сохранения энергии  $\frac{mv^2}{2} + \frac{MV^2}{2} = E$ . Используя эти уравнения, можно выразить  $v$  и  $V$  через величины, заданные в условии. На заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле, действует сила Лоренца. Записывая второй закон Ньютона для  $\alpha$ -частицы и иона, получаем уравнения, с помощью которых можно выразить радиусы окружностей, по которым они движутся, через  $v$ ,  $V$  и величины, заданные в условии.

**670.** Обозначения:  $m$  — масса протона,  $M$  — масса ядра трития,  $v$  — модуль скорости протона,  $V$  — модуль скорости ядра трития,  $E$  — энергетический выход реакции. Из закона сохранения импульса следует, что  $mv = MV$ . Используя закон сохранения энергии и учитывая слова в условии о том, что начальная кинетическая энергия исходных продуктов реакции можно пренебречь, запишем:  $\frac{mv^2}{2} + \frac{MV^2}{2} = E$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $v$  и  $V$  через величины, заданные в условии. Зная скорость ядра трития и используя справочные данные, можно найти его кинетическую энергию.

671. Обозначения:  $m$  — масса  $\alpha$ -частицы,  $M$  — масса ядра астата,  $v$  — модуль скорости  $\alpha$ -частицы,  $V$  — модуль скорости ядра астата,  $E_{\text{аст}}$  — кинетическая энергия ядра астата,  $E$  — энергетический выход реакции. Из закона сохранения импульса следует, что  $mv = MV$ . Используя закон сохранения энергии, запишем:  $\frac{mv^2}{2} + \frac{MV^2}{2} = E$ . Из написанных

уравнений следует, что  $\frac{MV^2}{2} \left(1 + \frac{M}{m}\right) = E$ . Множитель перед скобками в последней формуле — заданная в условии кинетическая энергия ядра астата.

# УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ ИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ВПР И ЕГЭ

## МЕХАНИКА

### Кинематика

14. Обозначения:  $v_{\text{вер}}$  — скорость вертолёта относительно воздуха;  $v_{\text{вет}}$  — скорость ветра;  $d$  — расстояние от  $A$  до  $B$ .

а) Время перелёта при попутном ветре

$$t_{\text{по}} = \frac{d}{v_{\text{вер}} + v_{\text{вет}}}. \quad (1)$$

Время перелёта при встречном ветре

$$t_{\text{прот}} = \frac{d}{v_{\text{вер}} - v_{\text{вет}}}. \quad (2)$$

б) Разделив уравнение (1) на уравнение (2), получим одно уравнение для нахождения

$$\frac{v_{\text{вер}}}{v_{\text{вет}}}.$$

в) Время перелёта при отсутствии ветра

$$t_{\text{безвет}} = \frac{d}{v_{\text{вер}}}. \quad (3)$$

Уравнения (1–3) можно переписать в виде

$$\frac{1}{t_{\text{по}}} = \frac{v_{\text{вер}} + v_{\text{вет}}}{d}, \quad \frac{1}{t_{\text{прот}}} = \frac{v_{\text{вер}} - v_{\text{вет}}}{d}, \quad \frac{1}{t_{\text{безвет}}} = \frac{v_{\text{вер}}}{d}.$$

Используя эти уравнения, можно выразить  $t_{\text{безвет}}$  через  $t_{\text{по}}$  и  $t_{\text{прот}}$ .

68. Обозначения:  $l_{\text{п}}$  — путь, пройденный телом за последнюю секунду падения,  $l_{\text{пп}}$  — путь, пройденный телом за предпоследнюю секунду падения,  $l_{2\tau}$  — путь, пройденный телом за последние две секунды падения,  $\tau$  — промежуток времени, равный 1 с,  $t$  — время

падения тела. Из соотношений  $l_{2\tau} = l_{\text{п}} + l_{\text{пп}}$  и  $l_{\text{п}} = 2l_{\text{пп}}$  следует, что  $l_{2\tau} = \frac{3}{2}l_{\text{п}}$ . Путь, прой-

денный телом за последнюю секунду падения  $l_{\text{п}} = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t-\tau)^2}{2}$ . Путь, пройденный телом

за последние две секунды падения  $l_{2\tau} = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t-2\tau)^2}{2}$ . Используя написанные уравнения,

получаем одно уравнение для нахождения времени падения тела  $t$ .

### Динамика

80. Модуль  $F$  равнодействующей двух сил, равных по модулю  $F_1$  каждая, равен длине диагонали ромба со сторонами  $F_1$ , проведённой из угла, равного углу между силами-слагаемыми.

95. Обозначения:  $R$  — радиус планеты,  $M$  — масса планеты,  $\rho$  — средняя плотность планеты,  $v_0$  — начальная скорость камешков,  $l$  — максимальная дальность полёта камешков,  $g$  — ускорение свободного падения вблизи поверхности планеты. Максимальная дальность полёта тела, брошенного под углом к горизонту, достигается при угле бросания  $45^\circ$  и выражается через начальную скорость тела и ускорение свободного падения формулой (на экзаменах её надо выводить, а не брать в качестве готовой):  $l = \frac{v_0^2}{g}$ . Ускорение свободного

падения  $g$  можно выразить через массу планеты и её радиус:  $g = G \frac{M}{R^2}$ . Массу планеты

можно выразить через её среднюю плотность и радиус:  $M = \frac{4\pi R^3}{3} \rho$ . Используя написанные уравнения, можно найти  $\rho$ .

104. Обозначения:  $k_1, k_2$  — жёсткости пружин,  $x$  — общее удлинение системы пружин при подвешивании груза массой  $m$ ,  $k$  — жёсткость системы пружин. Справедливы следующие уравнения:  $k_1 x_1 = mg$ ,  $k_2 x_2 = mg$ ,  $kx = mg$ ,  $x_1 + x_2 = x$ ,  $k_1 = 3k_2$ . Используя эти уравнения, можно выразить искомые величины через величины, заданные в условии.

118. Обозначения:  $m$  — масса бруска,  $\vec{F}$  — сила, с которой брусок прижимают к стене,  $\vec{a}$  — ускорение бруска,  $\alpha$  — угол между силой  $\vec{F}$  и вертикалью,  $\mu$  — коэффициент трения между бруском и стеной,  $N$  — модуль силы нормальной реакции, действующей со стороны стены на брусок. Направим ось  $x$  горизонтально к стене, а ось  $y$  — вертикально вверх. Второй закон Ньютона для бруска в проекциях на эти оси имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: F \sin \alpha - N = 0; \\ O_y: F \cos \alpha - mg - \mu N = ma_y. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить  $a_y$  через величины, данные в условии. Если  $a_y < 0$ , то ускорение бруска направлено вниз, а если  $a_y > 0$ , то вверх.

133. Обозначения:  $m$  — масса шайбы,  $r$  — радиус окружности, по которой движется шайба,  $v$  — скорость шайбы,  $N$  — модуль силы нормальной реакции,  $\alpha$  — угол между образующей конуса и вертикалью,  $T$  — период обращения шайбы. Направим ось  $x$  горизонтально к центру окружности, по которой скользит шайба, а ось  $y$  — вертикально вверх. Второй закон Ньютона для шайбы в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} O_x: N \cos \alpha = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: N \sin \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Период обращения  $T$  связан со скоростью шайбы  $v$  соотношением  $T = \frac{2\pi r}{v}$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $T$  через величины, заданные в условии.

142. Обозначения:  $m_a, m_n$  — массы верхнего и нижнего брусков,  $m_r$  — масса груза,  $a$  — модуль общего ускорения тел, когда бруски движутся как единое целое,  $\mu$  — коэффициент трения между брусками,  $T$  — модуль силы натяжения нити,  $N_b$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на верхний брусок,  $N_n$  — модуль силы нормальной реакции, действующей на нижний брусок,  $a_a$  — модуль ускорения верхнего бруска, когда бруски движутся друг относительно друга,  $a_n$  — модуль ускорения нижнего бруска, когда бруски движутся друг относительно друга,  $a_r$  — модуль ускорения груза. Направим ось  $x$  горизонтально вправо, а ось  $y$  — вертикально вниз.

а) Если бруски движутся как единое целое, между ними действуют силы трения покоя. Второй закон Ньютона для верхнего и нижнего брусков в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} Ox: F_{\text{тр. пок}} = m_B a; \\ Oy: m_B g - N_B = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} Ox: T - F_{\text{тр. пок}} = m_H a; \\ Oy: m_H g + N_B - N_H = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Второй закон Ньютона для груза:

$$m_G g - T = m_G a. \quad (3)$$

Из первых уравнений систем (1, 2) и уравнения (3) можно выразить  $a$  через заданные в условии величины. Подставляя это выражение в первое уравнение системы (1), получим:

$$F_{\text{тр. пок}} = \frac{m_B m_G g}{m_B + m_H + m_G}. \quad (4)$$

Теперь надо учесть, что сила трения покоя не может превышать максимальной силы трения покоя. Мы принимаем её равной силе трения скольжения, то есть произведению коэффициента трения на силу нормальной реакции. Таким образом, должно выполняться неравенство

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N_B. \quad (5)$$

Из второго уравнения системы (1) следует, что в данном случае

$$N_B = m_B g. \quad (6)$$

Из соотношений (4–6) следует: чтобы бруски двигались как единое целое, должно выполняться неравенство

$$\frac{m_B m_G g}{m_B + m_H + m_G} \leq \mu m_B g. \quad (7)$$

Из этого неравенства следует искомое неравенство для  $\mu$ .

б) Значение коэффициента трения 0,5 превышает наименьшее значение коэффициента трения между брусками, при котором они движутся как единое целое. Поэтому выразить общее ускорение брусков через величины, заданные в условии, можно, используя системы уравнений (1, 2) и уравнение (3).

в) Значение коэффициента трения 0,1 меньше наименьшего значения коэффициента трения между брусками, при котором они движутся как единое целое. Следовательно, в этом случае бруски будут двигаться друг относительно друга, то есть между ними будут действовать силы трения скольжения. В этом случае второй закон Ньютона для верхнего и нижнего брусков в проекциях на оси координат имеет вид:

$$\begin{cases} Ox: \mu N_B = m_B a_B; \\ Oy: m_B g - N_B = 0; \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} Ox: T - \mu N_B = m_H a_H; \\ Oy: m_H g + N_B - N_H = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Второй закон Ньютона для груза:

$$m_G g - T = m_G a_G. \quad (10)$$

Поскольку нижний брусок связан с грузом нерастяжимой нитью,

$$a_{\text{н}} = a_{\text{г}}. \quad (11)$$

Используя уравнения (8–11), можно выразить ускорения брусков через величины, заданные в условии.

### Законы сохранения в механике

**175.** Обозначения:  $M$  и  $m$  — массы шаров ( $M > m$ ),  $v$  — модуль скоростей шаров, когда стержень находится в вертикальном положении (поскольку шары находятся на одинаковых расстояниях от оси вращения, модули их скоростей в любой момент равны). При переходе стержня от горизонтального положения к вертикальному потенциальная энергия более массивного шара уменьшается на  $Mgl$ , а потенциальная энергия менее массивного шара увеличивается на  $mgl$ . Поскольку в начальном состоянии шары покоились, согласно

закону сохранения энергии в механике получаем  $\frac{Mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = Mgl - mgl$ . Используя это уравнение, можно выразить  $v$  через величины, данные в условии.

**177.** Обозначения:  $m$  — масса шарика,  $l$  — длина нити,  $\alpha$  — угол отклонения нити от вертикали в начальном состоянии,  $v$  — модуль скорости шарика при прохождении положения равновесия,  $h$  — высота, на которой находится шарик в начальном положении по сравнению с положением равновесия,  $T$  — модуль силы натяжения нити при прохождении шариком положения равновесия. Согласно закону сохранения энергии в механике

$\frac{mv^2}{2} = mgh$ . Справедливо соотношение  $h = l(1 - \cos\alpha)$ . Уравнение второго закона Ньютона при прохождении шариком положения равновесия в проекциях на направленную вертикально

вверх ось  $x$ :  $\frac{mv^2}{l} = T - mg$ . Согласно условию  $T = 2mg$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $\alpha$  через величины, заданные в условии.

**182.** а) Обозначения:  $r$  — радиус цилиндра,  $m$  — масса шайбы,  $v_{\text{в}}$  — модуль скорости шайбы в верхней точке цилиндра. При минимально возможной скорости шайбы в верхней точке цилиндра на шайбу, находящуюся в этой точке, не действует сила нормальной реакции со стороны цилиндра, то есть действует только сила тяжести. Поэтому уравнение второго закона Ньютона для шайбы в проекции на направленную вертикально вниз ось  $x$

имеет вид  $\frac{mv_{\text{в}}^2}{r} = mg$ . Согласно закону сохранения энергии в механике  $\frac{mv_{\text{в}}^2}{2} + 2mgr = \frac{mv_0^2}{2}$ .

Используя написанные уравнения, можно выразить  $v_0$  через  $r$  и  $g$ .

б) Обозначения:  $r$  — радиус цилиндра,  $m$  — масса шайбы,  $h$  — высота, на которой шайба отрывается от цилиндра,  $v$  — модуль скорости шайбы в момент отрыва,  $v_{\text{н}}$  — модуль скорости шайбы в нижней точке цилиндра. В момент отрыва шайбы от цилиндра на неё действует только сила тяжести, поэтому уравнение второго закона Ньютона в проекциях на ось  $x$ , направленную из точки отрыва шайбы к центру окружности, имеет вид

$\frac{mv^2}{r} = mg \frac{h-r}{r}$ . Дробь в правой части этого уравнения — косинус угла между вертикалью

и радиусом, проведённым в точку отрыва шайбы. Согласно закону сохранения энергии в механике,  $\frac{mv^2}{2} + mgh = \frac{mv_{\text{н}}^2}{2}$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $v_{\text{н}}$  через

$r$ ,  $h$  и  $g$ .

**185.** Обозначения:  $m_1$ ,  $m_2$  — массы осколков,  $v_1$ ,  $v_2$  — модули скоростей осколков сразу после разрыва снаряда,  $l_1$ ,  $l_2$  — дальности полёта осколков. В верхней точке траектории скорость снаряда равна нулю. Поэтому из закона сохранения импульса следует, что

$m_1 v_1 = m_2 v_2$ . Скорости осколков направлены горизонтально и у них одинаковая начальная высота. Поскольку горизонтальная проекция скорости для тела, брошенного под углом к горизонту, остаётся постоянной, отсюда следует, что  $\frac{l_1}{l_2} = \frac{v_1}{v_2}$ . Обозначим  $m_1$  массу более

массивного осколка. Тогда согласно условию  $m_1 = 3m_2$ . Используя написанные уравнения, можно найти  $m_2$ .

**186.** Обозначения:  $v_0$  — начальная скорость снаряда,  $\alpha$  — угол между начальной скоростью снаряда и горизонталью,  $v_{1x}$ ,  $v_{2x}$  — проекции скоростей первого и второго осколков на ось  $x$ , направление которой совпадает с направлением скорости снаряда в момент разрыва,  $m$  — масса любого из осколков,  $l$  — расстояние по горизонтали от пушки, до точки, над которой разорвался снаряд,  $l_1$ ,  $l_2$  — расстояния по горизонтали от точки, над которой разорвался снаряд, до мест падения первого и второго осколков,  $t$  — время полёта снаряда до разрыва. В верхней точке траектории отлична от нуля только проекция скорости снаряда на ось  $x$ . Тогда из закона сохранения импульса следует:  $mv_{1x} + mv_{2x} = 2mv_0 \cos\alpha$ . Из того что первый осколок упал рядом с пушкой, следует, что он летел по той же траектории, что и снаряд, но в обратном направлении, поэтому  $v_{1x} = -v_0 \cos\alpha$ . Из написанных уравнений следует, что  $v_{2x} = 3v_0 \cos\alpha$ . Поскольку начальные скорости осколков направлены горизонтально, время их полёта после разрыва снаряда одинаково и равно времени  $t$  полёта снаряда до разрыва. Поэтому  $\frac{l_1}{l_2} = \left| \frac{v_{1x}}{v_{2x}} \right|$ . Согласно условию  $l_1 = l$ . Используя написанные уравнения, можно выразить  $l_2$  через  $l$ . Значение  $l$  можно найти через данные в условии начальную скорость снаряда и угол бросания. Согласно условию  $d = l + l_2$ .

**189.** Обозначения:  $m$  — масса шайбы,  $M$  — масса горки,  $H$  — высота более высокой вершины,  $h$  — высота менее высокой вершины,  $V$ ,  $v$  — модули скоростей горки и шайбы в момент, когда шайба находится на менее высокой вершине. Проекция суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось сохраняется. Отсюда следует, что скорости горки и шайбы в рассматриваемый момент времени направлены противоположно. Кроме того,

$MV = mv$ . Из закона сохранения энергии в механике получаем  $\frac{MV^2}{2} + \frac{mv^2}{2} + mgh = mgH$ .

Используя написанные уравнения, можно выразить  $V$  и  $v$  через  $M$ ,  $m$ ,  $H$  и  $h$ .

## Статика и гидростатика

**207.** Действующая на шар выталкивающая сила равна весу воды в объёме, равном половине объёма шара. При заданной в условии плотности шара вес этой воды равен четверти веса всего шара.

## Термодинамика

**280.** Найдём сначала количество теплоты, полученное газом за один цикл. Согласно первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A_{\Gamma}. \quad (1)$$

Изменение внутренней энергии на этапе 1-2

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \Delta(pV) = \frac{3}{2} (3p_0V_0 - p_0V_0) = 3p_0V_0. \quad (2)$$

Работа газа на этапе 1-2 равна нулю:

$$A_{12} = 0. \quad (3)$$

Используя формулы (1-3), можно выразить  $Q_{12}$  через  $p_0$  и  $V_0$ .  
Изменение внутренней энергии на этапе 2-3

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \Delta(pV) = \frac{3}{2} (p_0 \cdot 4V_0 - 3p_0V_0) = \frac{3}{2} p_0V_0. \quad (4)$$

Работа газа на этапе 2-3 численно равна площади фигуры под графиком зависимости  $p(V)$  на этом этапе:

$$A_{23} = 6p_0V_0. \quad (5)$$

Используя формулы (1), (4), (5), можно выразить  $Q_{23}$  через  $p_0$  и  $V_0$ .

Несложно убедиться, что на этапе 3-1 газ не получает, а отдаёт некоторое количество теплоты.

Получив выражения для  $Q_{12}$  и  $Q_{23}$ , можно найти выражение для  $Q_1 = Q_{12} + Q_{23}$  через  $p_0$  и  $V_0$ .

Полезная работа  $A_{\text{пол}}$  численно равна площади фигуры, заключённой внутри цикла в координатах  $(p, V)$ .

Коэффициент полезного действия цикла равен выраженному в процентах отношению  $A_{\text{пол}}$  к  $Q_1$ .

**285.** Обозначения:  $M$  — масса метеорита,  $v_{\text{н}}$  — модуль начальной скорости метеорита (при вхождении в атмосферу),  $v_{\text{к}}$  — модуль конечной скорости метеорита (непосредственно перед падением на Землю),  $c$  — удельная теплоёмкость железа,  $t_{\text{н}}$  — начальная температура метеорита (при вхождении в атмосферу),  $t_{\text{к}}$  — конечная температура метеорита (непосредственно перед падением на Землю),  $t_{\text{пл}}$  — температура плавления железа,  $\lambda$  — удельная теплота плавления железа,  $m$  — масса расплавившейся части метеорита.

а) С учётом того, что при движении сквозь атмосферу 80 % кинетической энергии метеорита переходит в его внутреннюю энергию, получаем, что увеличение внутренней энергии метеорита вследствие его торможения атмосферой выражается формулой

$$\Delta U = 0,8 \cdot \left( \frac{Mv_{\text{н}}^2}{2} - \frac{Mv_{\text{к}}^2}{2} \right). \quad (1)$$

Если метеорит не начал плавиться, увеличение его внутренней энергии проявляется только в увеличении его температуры. Следовательно,

$$\Delta U = cM(t_{\text{к}} - t_{\text{н}}). \quad (2)$$

Минимальную начальную скорость метеорита, при которой он нагреется до температуры плавления, можно получить из формул (1, 2), приняв конечную скорость метеорита равной нулю, а его конечную температуру равной температуре плавления.

б) Чтобы метеорит начал плавиться, он должен сначала нагреться до температуры плавления железа. Если масса расплавленной части метеорита равна  $m$ , можно записать

$$\Delta U = cM(t_{\text{пл}} - t_{\text{н}}) + \lambda m. \quad (3)$$

Используя уравнение (1), в котором  $v_{\text{к}} = 0$ , и уравнение (3), можно выразить отношение  $\frac{m}{M}$  через величины, заданные в условии.

**286.** Обозначения:  $m_{\text{в}}$  — начальная масса воды в калориметре,  $c_{\text{в}}$  — удельная теплоёмкость воды,  $m_{\text{л}}$  — масса льда,  $c_{\text{л}}$  — удельная теплоёмкость льда,  $t_{\text{в}}$  — начальная температура воды в калориметре,  $t_{\text{л}}$  — начальная температура льда, который кладут в калориметр,  $\lambda$  — удельная теплота плавления льда.

Наименьшая масса льда  $m_1$ , при которой в конечном состоянии в калориметре будет только лёд, соответствует случаю, когда при установлении теплового равновесия в калориметре находится лёд при температуре  $0^\circ\text{C}$ . В таком случае уравнение теплового баланса имеет вид

$$m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{в}} - 0^\circ\text{C}) + \lambda m_{\text{л}} = m_1c_{\text{л}}(0^\circ\text{C} - t_{\text{л}}).$$

Если  $m_{\text{л}} > m_1$ , в конечном состоянии в калориметре будет находиться только лёд при температуре ниже  $0^\circ\text{C}$ .

Наибольшая масса льда  $m_2$ , при которой в конечном состоянии в калориметре будет только вода, соответствует случаю, когда при установлении теплового равновесия в калориметре находится вода при температуре  $0^\circ\text{C}$ . В таком случае уравнение теплового баланса имеет вид

$$m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{в}} - 0^\circ\text{C}) = \lambda m_2 + m_2c_{\text{л}}(0^\circ\text{C} - t_{\text{л}}).$$

Если  $m_{\text{л}} < m_2$ , в конечном состоянии в калориметре будет находиться только вода при температуре выше  $0^\circ\text{C}$ .

Если начальная масса льда  $m_{\text{л}}$  удовлетворяет двойному неравенству  $m_2 < m_{\text{л}} < m_1$ , то в конечном состоянии в калориметре будут находиться лёд и вода при температуре  $0^\circ\text{C}$ .

**287.** Обозначения:  $m_{\text{в}}$  — начальная масса воды в калориметре,  $c_{\text{в}}$  — удельная теплоёмкость воды,  $t_{\text{в}}$  — начальная температура воды в калориметре,  $m_{\text{п}}$  — масса пара, который впускают в калориметр,  $t_{\text{п}}$  — начальная температура пара, который впускают в калориметр,  $L$  — удельная теплота парообразования воды.

Прежде всего, надо выяснить: сконденсируется ли весь водяной пар, который впустили в калориметр? Для этого надо сравнить количество теплоты, выделяющееся при конденсации данного пара, с количеством теплоты, которое надо сообщить воде в калориметре, чтобы нагреть её до  $100^\circ\text{C}$ . Сравнение показывает, что при заданных в условии значениях физических величин весь пар сконденсируется.

При установлении теплового равновесия в калориметре пар сконденсируется, а образовавшаяся из него вода остынет до конечной температуры  $t_{\text{к}}$ , отдав при этом некоторое количество теплоты воде, уже содержащейся в калориметре. Поэтому уравнение теплового баланса в данном случае имеет вид  $m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{к}} - t_{\text{в}}) = Lm_{\text{п}} + m_{\text{п}}c_{\text{в}}(100^\circ\text{C} - t_{\text{к}})$ . Используя это уравнение, можно выразить  $t_{\text{к}}$  через величины, заданные в условии, и удельную теплоту парообразования воды.

# ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

## ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

### Магнитное поле

#### Магнитные взаимодействия. Магнитное поле

1. Северный магнитный полюс Земли находится вблизи её южного географического полюса. 2. Витки, в которых токи направлены одинаково, притягиваются, а витки, в которых токи направлены противоположно, — отталкиваются. 3. Токи направлены одинаково в катушках, которые притягиваются. 4. Отличие состоит в том, что магнитные линии поля, созданного полосовым магнитом, выходят из северного полюса и входят в южный полюс и поэтому *кажутся* незамкнутыми, а магнитные линии поля, созданного катушкой с током, *замкнуты*. На самом же деле магнитные линии поля, созданного полосовым магнитом, тоже *замкнуты*: они замыкаются *внутри* магнита, потому что внутри магнита тоже есть магнитное поле. 5. При изменении направления тока в катушке изменяется и направление магнитных линий поля, созданного этим током. 6. Направлением тока в катушке, направлением магнитных линий и направлением вращения ручки буравчика. 7. а) Вниз; вверх. б) Против часовой стрелки; по часовой стрелке. Мы видим, что они располагаются по касательным к окружностям, центры которых находятся на оси проводника. Следовательно, эти окружности представляют собой магнитные линии поля, созданного прямолинейным проводником с током. 8. При изменении направления тока в проводнике изменяется и направление магнитных линий поля, созданного этим током. 9. Направлением тока в проводнике, направлением магнитных линий и направлением вращения ручки буравчика. 11. В случае *a* модуль магнитной индукции в точке *A* равен нулю, в случае *b* он равен  $2B$ . 12. Конец *A* будет соответствовать южному магнитному полюсу, а конец *B* — северному магнитному полюсу. 13. Нет. Магнитная стрелка развернётся на  $180^\circ$ . 18. а) Вниз. б) Вверх. 19. В точке *C* вектор магнитной индукции направлен к нам, а в точке *D* — от нас перпендикулярно плоскости чертежа. 20. Слева. 21. а) Вниз. б) Вверх. в) Вправо. г) Влево. 22. В соседних витках пружины направление тока будет одинаковым, поэтому после замыкания ключа пружина сожмётся. Это приведёт к размыканию цепи, и под действием силы тяжести пружина вернётся к начальному состоянию, замкнув цепь. В результате в пружине снова возникнет ток, и она опять сожмётся, разомкнув цепь. Таким образом, после замыкания ключа будут наблюдаться колебания: пружина будет попеременно сжиматься и разжиматься, касаясь пластины. 23. Полосовой магнит начнёт подниматься вверх, отталкиваясь от катушки с током.

#### Закон Ампера

24. Если проводник с током *параллелен* вектору магнитной индукции поля. 26. а) От нас (рис. 1). б) Влево (рис. 2). 28. а) Провода отклонились в плоскости, перпендикулярной рисунку. б) Нет. в) К нам. 29 а) См. рисунок 3. б)  $\frac{F_A}{mg} = \operatorname{tg} \alpha$ . в)  $\frac{BIl}{mg} = \operatorname{tg} \alpha$ . 31. Совпадает. 32. б) Рамка будет поворачиваться

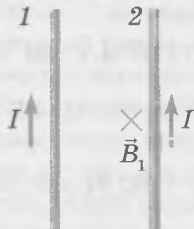


Рис. 1

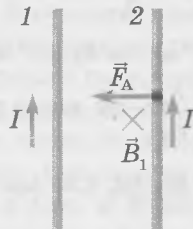


Рис. 2

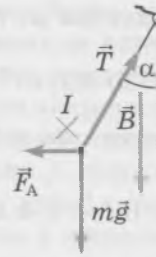


Рис. 3

вокруг оси  $OO_1$ . в) Силы Ампера, действующие на стороны рамки, будут стремиться *растянуть* рамку. 34. а) 0. б) 0,05 Н. 35. а)  $B = 3,1$  Тл. 36.  $\alpha = 30^\circ$ . 37. 4 А. 38. Сила Ампера увеличится в 1,73 раза. 41.  $30^\circ$ . 42. 46 см. 43. 1 Н. 44. 12,5 см. 45. Больше 0,25 Тл. Направление вертикального вектора магнитной индукции значения не имеет. 46. 10 г. 47. Больше 2,5 А. 48. 24 мН; 32 мН; 40 мН; 0 Н. 49. Провод примет форму окружности. 50. Рамка начнёт поворачиваться по часовой стрелке и после нескольких колебаний около положения равновесия установится так, что вверху расположится сторона, подключённая к отрицательному полюсу источника тока, а внизу — к положительному.

51. а)  $\rho = \frac{\sqrt{(2kx)^2 - (IBl)^2}}{lSg}$ . б)  $\alpha = \arctg \frac{BI}{\rho Sg}$ .

### Примеры применения закона Ампера

52. а)  $a = 0$ , если  $I \leq \frac{\mu mg}{Bl}$ ;  $a = \frac{BIl - \mu mg}{m}$ , если  $I > \frac{\mu mg}{Bl}$ . б) От нас. в)  $v = \sqrt{\frac{2(BIl - \mu mg)L}{m}}$ .

53. а)  $t = \sqrt{\frac{2md}{BIl - \mu mg}}$ . б)  $v = \sqrt{\frac{2(BIl - \mu mg)d}{m}}$ . 54. а)  $\begin{cases} O_x: mgs \sin \alpha - BIl \cos \alpha = ma_x; \\ O_y: N - mg \cos \alpha = 0. \end{cases}$  б) Вверх. в) 9,7 см.

55. а) К нам. б)  $I = \frac{mg}{Bl} \frac{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha}$ . 56. а)  $v_1 = \frac{Blq}{m}$ . б)  $v_{\text{мин верх}} = \sqrt{Lg}$ . в)  $v_{\text{мин нач}} = \sqrt{5Lg}$ . г)  $q_{\text{мин}} = \frac{m\sqrt{5Lg}}{Bl}$ . 57. а)  $v_1 = \sqrt{2gh}$ . б)  $U = \frac{m\sqrt{2gh}}{BlC}$ . Длина нитей  $L$  не вошла в ответ. 58. в) Сила Ампера, действующая на часть провода, расположенную выше магнита, будет вращать провод вокруг магнита по часовой стрелке (если смотреть сверху), а сила Ампера, действующая на часть провода, расположенную ниже магнита, будет вращать провод против часовой стрелки. В результате провод обовьётся вокруг магнита, как показано на рисунке 4. г) Провод будет притягиваться к магниту. 59. б) Стержень 2 расположится параллельно стержню 1 так, чтобы токи в стержнях были направлены одинаково. в) Притягиваться. 60. 1 А. 61. Ток направлен от нас; 8,86 м/с<sup>2</sup>. 62. 42,5 мТл. 63.  $18^\circ$ . 64. Ток направлен от нас;  $a = \frac{BIl(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}{m} - \mu g$ .

65. а)  $E_{k \text{ max}} = \frac{(BlQ)^2}{2m}$ . б)  $x_{\text{max}} = \frac{BlQ}{\sqrt{2km}}$ . 66. а)  $I = \frac{mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{Bl(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}$ . б) Ток должен быть направлен от нас;  $I = \frac{mg(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)}{Bl(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}$ . 67. а)  $v_{\text{max}} = \frac{CUBI}{m}$ . б)  $T = \frac{mg}{2} + \frac{(CUBI)^2}{2Lm}$ .



Рис. 4

### Сила Лоренца

68. Если скорость частицы параллельна вектору магнитной индукции. 69. Сила Лоренца больше силы тяжести в  $8,8 \cdot 10^9$  раз. 74. а) В горизонтальной плоскости. б) Протон движется по часовой стрелке, а электрон — против часовой стрелки. в) Электрон; 1836. г) Период обращения протона больше в 1836 раз. 75. б)  $v = \frac{E}{B}$ . в) Потому что сквозь прибор пролетают только заряженные частицы с заданной скоростью, определяемой соотношением между модулем напряжённости электрического поля  $E$  и модулем магнитной индукции  $B$ . 76. а)  $v = \frac{E}{B_1}$ . б)  $m = \frac{qrB_1B_2}{E}$ . 77. 20 мкКл. 78. 62,5 мТл; окружность. 81. а)  $3,2 \cdot 10^{-12}$  Н. б)  $3,5 \cdot 10^{18}$  м/с<sup>2</sup>. в) Не будет. 82.  $2,87 \cdot 10^5$  м/с. 83. Скорость  $\alpha$ -частицы в 6 раз больше скорости протона. 84.  $60^\circ$ . 85.  $\frac{F_2}{F_1} = 20$ . 86. а)  $1,8 \cdot 10^{-9}$  с. б)  $1,41 \cdot 10^{-16}$  Дж. в)  $5,6 \cdot 10^{-14}$  Н. г)  $6,2 \cdot 10^{16}$  м/с<sup>2</sup>. 87.  $\frac{m_1}{m_2} = 16$ ;  $\frac{p_1}{p_2} = 4$ . 88. 71 нс. 89. 5,33 мм. 90.  $10^{-12}$  Н. 91.  $30^\circ$ . 92.  $A_1A_2 = \frac{2U|m_1 - m_2|}{dB^2q}$ . 93. 3,83 Дж.

### Явление электромагнитной индукции

94. При движении магнита относительно замкнутой проводящей катушки в ней возникает индукционный ток, причём при изменении направления движения магнита относительно катушки направление тока в катушке тоже изменяется на противоположное. 95. В опытах, изображённых на рисунках 60, а и б, магнит неподвижен, а движется катушка. Общее в этих опытах то, что при *увеличении* магнитной индукции внутри катушки (магнит вдвигают в катушку или катушку надевают на магнит) направление индукционного тока *одно и то же*. И при *уменьшении* магнитной индукции внутри катушки (магнит вынимают из катушки или катушку снимают с магнита) направление индукционного тока *также одно и то же*. 96. При перемещении движка реостата возникает индукционный ток в катушке 2. 97. Изменяется. 98. а) 0,01 Вб. в)  $60^\circ$ . 99. В опытах а, б, в возникновение индукционного тока обусловлено изменением модуля магнитной индукции, в опыте г — изменением угла между перпендикуляром к контуру и вектором магнитной индукции, в опыте д — изменением площади контура. 100. а) Нет. б) Нет. в) Нет. г) Да. д) Да. 101. Взаимодействие кольца с магнитом обусловлено возникновением индукционного тока в кольце. 102. При приближении магнита к разрезанному кольцу оно не должно взаимодействовать с магнитом, потому что в разрезанном кольце не может идти ток. 103. Вектор магнитной индукции поля, созданного индукционным током внутри кольца, направлен *противоположно* вектору магнитной индукции поля магнита. 104. Подтверждает. Если магнитное поле индукционного тока препятствует тому изменению внешнего магнитного поля, которое вызвало данный ток, то при *удалении* магнита от кольца вектор магнитной индукции поля, созданного индукционным током в кольце, должен быть направлен *так же*, как вектор магнитной индукции поля магнита. А в таком случае кольцо будет *притягиваться* к магниту. 105. Кольцо будет отталкиваться от магнита. 106. а) Уменьшается. б) Да, потому что изменяется магнитный поток через контур, образованный стержнем и направляющими. в) Вверх, потому что создаваемое индукционным током магнитное поле *препятствует* изменению магнитного потока, вызвавшего данный ток. г) От нас. д) Да, потому что стержень представляет собой проводник с током, находящийся в магнитном поле. е) Вправо. 107. Стержень 2 будет двигаться тоже влево, чтобы уменьшить обусловленное движением стержня 1 *изменение* магнитного потока через контур, образованный стержнями и направляющими. 108. Индукционный ток возникает в первые пять секунд и последние три секунды. 109. 2 мВб. 110. а) 6 мВб. б) 0 Вб. в) 4,2 мВб. г) 3 мВб. 111. Индукционный ток возникнет в случаях а, б, в. 112. Индукционный ток возникнет в случаях б, в. 114. В промежутки времени 0—1 с, 2—3 с, 4—5 с. 115. Увеличивается. 116. Магниты 1 и 2 будут падать свободно, а на магнит 3 будет действовать сила со стороны магнитного поля, созданного индукционным током в замкнутом кольце. Эта сила будет уменьшать ускорение магнита. 117. а) Против часовой стрелки. б) По часовой стрелке. в) По часовой стрелке. г) Против часовой стрелки. 118. в) Влево. б) Вправо. 119. При движении магнита в трубе возникают индукционные токи, направление которых (согласно правилу Ленца) противодействует падению магнита. С увеличением скорости падения возрастает тормозящая сила. Постепенно ускорение магнита уменьшается, и через некоторое время (если труба достаточно длинная) движение магнита станет практически равномерным. 120. При приближении магнита к металлическому кольцу и при его удалении от этого кольца ускорение магнита меньше ускорения свободного падения, так как в обоих случаях в кольце возникает индукционный ток, который, согласно правилу Ленца, препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего данный ток. Деревянное кольцо никак не влияет на падение магнита. Поэтому магнит, пролетающий сквозь деревянное кольцо, движется с ускорением свободного падения. 121. а) В положении 1 вектор магнитной индукции поля, созданного индукционным током, направлен вправо, в положении 2 индукционного тока нет, в положении 3 вектор магнитной индукции поля, созданного индукционным током, направлен влево. б) В положении 1 индукционный ток в нижней стороне рамки направлен от нас, в положении 2 сила тока равна нулю, в положении 3 индукционный ток в нижней стороне рамки направлен к нам. в) В положении 1 равнодействующая направлена вверх, в положении 2 равнодействующая равна нулю (индукционного тока нет), в положении 3 равнодействующая направлена вверх.

## Закон электромагнитной индукции

122. а) Будет, потому что изменяется магнитный поток сквозь контур, образованный стержнем и направляющими. б) К нам. в) От нас. г) Уменьшается. д) Вниз. е) Уменьшает. 123. а) Потому что изменяется внешний магнитный поток через кольцо. б) Нет. в) Увеличивается. г) Вправо. д) Вниз (рис. 5). е) См. рисунок 6. 124. а) На  $0,02$  Вб. б)  $4$  мВ. в)  $2 \cdot 10^{-4}$  А. 126.  $9,8 \cdot 10^{-5}$  Кл. 127.  $4$  м/с.

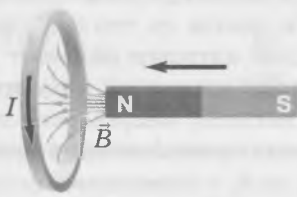


Рис. 5

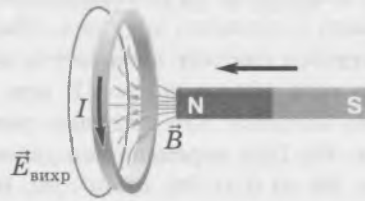


Рис. 6

129. а)  $0,01$  В. б)  $2$  мА. в)  $2 \cdot 10^{-5}$  Вт. 130. а) Если равнодействующая приложенных к нему сил равна нулю. б) Сила Ампера. в) В стержне возникает индукционный ток вследствие изменения магнитного потока через контур, образованный стержнем, направляющими и резистором. А на проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера. г)  $F_A = \frac{v(Bl)^2}{R}$ . д)  $v = \frac{mgR}{(Bl)^2}$ . 131. а)  $P = \left(\frac{mg}{Bl}\right)^2 R$ . б)  $A_1 = \left(\frac{mg}{Bl}\right)^2 Rt$ . в)  $A_2 = \left(\frac{mg}{Bl}\right)^2 Rt$ . 132. а) Вверх в плоскости чертежа. б) Вниз в плоскости чертежа. 133. См. рисунок 7. 134. а)  $1,5$  мВ. б)  $5$  мА. 135. а) От  $0$  с до  $1$  с. б) От  $1$  с до  $2$  с. в)  $0,5$  мВ.

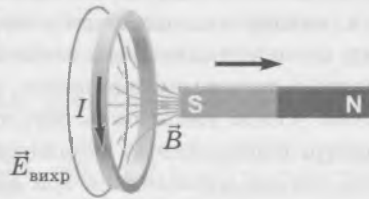


Рис. 7

г)  $0,25$  мА. 136.  $20$  В. 137.  $20$  мкКл. 138.  $1$  Ом. 139.  $38,4$  мДж. 140.  $2$  мТл. 141.  $0,3$  В. 143. При движении ползунка реостата вправо его сопротивление будет увеличиваться, значит, по закону Ома для полной цепи показания амперметра будут уменьшаться. В катушке, замкнутой на вольтметр, возникнет индукционный ток, поэтому показания вольтметра увеличатся. 144.  $2$  м/с<sup>2</sup>. 145.  $0,1$  А.

## Самоиндукция. Энергия магнитного поля

146. Лампы 3 и 4 загорятся сразу, а лампы 1 и 2 будут разгораться постепенно вследствие явления самоиндукции. 147. Вследствие очень быстрого изменения силы тока в катушке возникает очень большая ЭДС самоиндукции. В результате напряжение между контактами ключа становится настолько большим, что возникает искровой газовый разряд. 148. а) Ток будет течь только через лампу 1 и катушку, то есть будет направлен по часовой стрелке (на схеме). Вследствие явления самоиндукции накал лампы 1 будет увеличиваться постепенно, а лампа 2 светить не будет. б) В течение некоторого времени после размыкания ключа ток будет течь в контуре, образованном лампами 1 и 2, катушкой и диодом в направлении по часовой стрелке (на схеме). Лампа 2 на некоторое время загорится, и затем обе лампы погаснут. в) Нет, потому что не будет резкого уменьшения силы тока в катушке: после размыкания ключа ток может идти некоторое время через лампу 2. 149.  $5$  мГн. 150. ЭДС самоиндукции в первой катушке в 3 раза больше, чем во второй. 151. а)  $0,5$  мГн. б)  $3$  мВ. 152.  $2$  А. 153. а)  $2$  А. б)  $60$  мДж. в)  $60$  мДж. г)  $Q_1 = 36$  мДж;  $Q_2 = 24$  мДж. 154. Лампа 2 заго-

рится сразу, лампа 1 будет загораться постепенно, а лампа 3 не будет гореть вообще. 155. Лампа 3. 156. 0,9 В. 157. 0,4 Гн. 158. 2 В. 159. 1,2 Дж. Энергия магнитного поля увеличится в 4 раза. 160. 4 А. 161.  $\frac{L_1}{L_2} = 9$ . 162. В момент времени  $t = 6$  с; нулю. 163.  $3 \cdot 10^{-4}$  Гн. 164. 2. 165. 3,6 Дж. 166. а) 800 мкДж. б) 200 мкДж. 167. а) При  $t = 1$  с. б) Наименьшее значение модуля ЭДС самоиндукции в течение указанного на графике промежутка времени равно нулю. Это значение достигается при  $t = 2$  с. 168. 172 мДж. 169. 0,2 Гн. 170. 90 мДж. Электроёмкость конденсатора является лишним данным. 171. а) Сила тока в цепи увеличивается постепенно вследствие явления самоиндукции. б) До замыкания ключа сила тока в цепи  $I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R} = 4$  А. После замыкания ключа ЭДС самоиндукции препятствует мгновенному изменению силы в катушке.  $I_1 = 8$  А.

## МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

### Колебания

#### Свободные механические колебания

175. а)  $a$  и  $d$ . б)  $a$  и  $v$ ;  $b$  и  $g$ ;  $v$  и  $d$ . 176. 2 раза. 177. Половина периода колебаний. 178. Направлением скорости. 179. 8 см; 24 см. 181. а) 0,2 с. б) 24 м. в) 600. 182. Амплитуде колебаний. 183.  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ . 184.  $\omega = 2\pi\nu$ . 185. а) 5 см. б) 10 рад/с. в) 1,6 Гц. г) 0,63 с. д) -5 см. е) Нулю. 191. Пусть в момент времени  $t_1$  фаза колебаний  $\varphi_1 = \omega t_1 + \varphi_0$ , тогда в момент времени  $t_2 = t_1 + T$  фаза колебаний  $\varphi_2 = \omega t_2 + \varphi_0 = \omega(t_1 + T) + \varphi_0 = \varphi_1 + \omega T = \varphi_1 + 2\pi$ . 192. Пусть  $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ ,  $u(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0 + \pi)$ . Используя формулы приведения, получаем:  $u(t) = -A \cos(\omega t + \varphi_0) = -x(t)$ . 193. 1,25 с; 0,8 Гц. 194. 4 с. 195. 4 м. 196. 10 см. 197. а) 2 см. б)  $\frac{\pi}{2}$  рад/с. в) 4 с. г) 0,25 Гц. 198. 2 см; 1 с; 1 Гц;  $x = 0,02 \cos 2\pi t$ . 199. 4 с. 200. 19,2 м. 201.  $x = 0,03 \cos 10\pi t$ . 202. а) Амплитуда колебаний первого тела в 2 раза больше амплитуды колебаний второго тела. б) Периоды колебаний тел одинаковы. 203. Через 2 с. 204. За 1 с. 205. 5,2 см. 206. 1 с. 207.  $\frac{T}{6}$ ;  $\frac{T}{12}$ .

#### Динамика механических колебаний

208. Увеличился в 2 раза. 209. Увеличилась в  $\sqrt{2}$  раз. 212. а) 0,314 с. б) Амплитуда колебаний должна быть меньше 2,5 см. 213. а)  $\frac{mg}{k}$ . б) Когда шар находится в верхней точке траектории. в) От 0 до  $2mg$ . 214. а) 2 с. б) 1 м. 215. а) Пружинных. б) Примерно за два с половиной часа. 216.  $T = 2\pi \sqrt{\frac{lm}{mg + qE}}$ . 217. а)  $v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g-a}{l}}$ . б)  $v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g+a}{l}}$ . в)  $v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g-a}{l}}$ . г)  $v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g+a}{l}}$ . 218. Частота колебаний шарика не изменяется. 221. 15 см/с. 222. а) 40 рад/с. б) 800 Н/м. 223. а) 4,4 м/с<sup>2</sup>. б) 28,8 Н и 11,2 Н. в) Больше 1,58 см. 224. 2 с. 225. 32 Н/м. 226. 0,63 кг. 227. а) Увеличится в 2 раза. б) Не изменится. 228. 1 м. 229.  $v_x = -0,08\pi \sin 2\pi t$ ,  $a_x = -0,16\pi^2 \cos 2\pi t$ . 230. 0,6 м/с; 1,5 Гц; 0,67 с. 231. Период колебаний уменьшится, а частота колебаний увеличится. 232.  $\frac{T_n}{T_a} = 1,8$ . 233. а) Уменьшится в  $2\sqrt{2}$  раз. б) Уменьшится в 1,8 раза. в) Уменьшится в  $\sqrt{2}$  раз. г) Не изменится. 234. 2,5 м/с<sup>2</sup>. 235. Период увеличится, частота — уменьшится. 236. 3 кг. 237. 0,63 м/с. 238. а) 4 м/с<sup>2</sup>. б) Больше 8,2 см. 239. 0,5 с. 240. 0,45 Гц.

#### Энергия механических колебаний. Вынужденные колебания

241. а) Кинетическая энергия груза максимальна в положениях  $b$ ,  $g$ , минимальна в положениях  $a$ ,  $v$ ,  $d$ . б) Потенциальная энергия груза максимальна в положениях  $a$ ,  $v$ ,  $d$ , минимальна в положениях

б, г. в) Два раза; два раза. г) Два раза; два раза. **242.** а) Кинетическая энергия груза максимальна в положении *a*, минимальна в положениях *б, в*. б) Потенциальная энергия деформации пружины максимальна в положениях *б, в* и минимальна в положении *a*. в) Два раза; два раза. г) Два раза; два раза. **243.** а)  $E_p = \frac{kx_{\max}^2}{2} \cos^2 \omega t$ ;  $E_k = \frac{kx_{\max}^2}{2} \sin^2 \omega t$ . б)  $E = \frac{kx_{\max}^2}{2}$ . График этой зависимости — прямая, параллельная оси времени, потому что полная энергия системы *сохраняется*. в)  $2\omega$ . г) В 2 раза. **244.** 0,1 с; 0,3 с; 0,5 с; 0,7 с. **245.** При  $x = \pm \frac{\sqrt{2}}{2} x_{\max}$ . **246.** 0,5 с. **247.** Во второй. **248.** Надо подобрать частоту толчков так, чтобы она была равна собственной частоте колебаний автомобиля. **249.** а) Уменьшается, уменьшается, увеличивается. б) Уменьшается, уменьшается, увеличивается. в) Увеличивается, увеличивается, уменьшается. **250.** 16 раз. **251.** 4 см. **252.** 1 м/с. **253.** Через 2 с. **254.** а)  $E_p = 1,6 \cos^2 4\pi t$ ;  $E_k = 1,6 \sin^2 4\pi t$ . См. рисунок 8. б)  $E = 1,6$  Дж. См. рисунок 8.

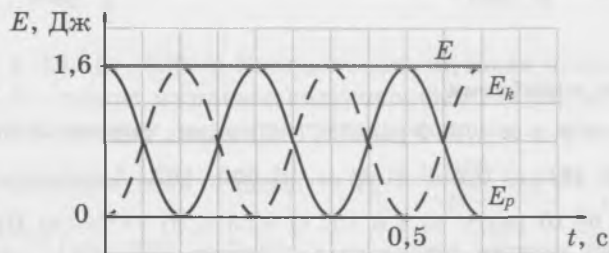


Рис. 8

**255.** а) 1,5 Гц. б) 0,2. **256.** 1,6 м. **257.** Через 0,08 с. **258.**  $x_{\max} = \frac{mg}{k} \sqrt{1 + \frac{2kh}{mg}}$ .

### Колебательный контур

**260.** а) Увеличится в  $\sqrt{2}$  раз. б) Увеличится в 2 раза. **261.** 0,4 мс; 2,5 кГц. **262.** 0,79 мФ. **264.** а) 2000 рад/с. б)  $3,14 \cdot 10^{-3}$  с. в) 5 мГц. **265.** Увеличится в 2 раза; уменьшится в 3 раза. **266.** Уменьшится в 2 раза; увеличится в  $\sqrt{2}$  раз. **267.**  $2,5 \cdot 10^{-7}$  с. **268.** 2,5 МГц;  $1,57 \cdot 10^7$  рад/с; 8 мГцн. **269.** 4,24 В. **270.** 2 нКл. **271.** 6 мКл. **272.** Увеличился в  $2\sqrt{2}$  раз. **273.** 26,5 мА. **274.** 1,2 мКл. **275.**  $I = \frac{U_{\max}}{2} \sqrt{\frac{3C}{L}}$ . **276.**  $10^{-4}$  Дж. **277.** Через 628 мкс. **278.** Через 314 мкс. **279.** 47 мДж. **280.** 22,6 мДж. **281.** 100 нФ, 400 нФ.

### Переменный электрический ток

**282.**  $i = 0,314 \sin 100\pi t$ . **283.** Для возникновения в рамке ЭДС индукции важно только, чтобы изменялся во времени пронизывающий рамку магнитный поток. В случае если рамка неподвижна, роль сторонних сил играют силы, действующие на свободные электроны в рамке со стороны *вихревого электрического поля*, порождаемого переменным магнитным полем. **284.** 100 Гц. **285.**  $t = \frac{T}{8}$ . **286.**  $0,5t$ . **287.** На рисунке 122, *a*. Потому что сила тока больше в обмотке, содержащей меньшее число витков. **288.** а) 2 В; 20 В. б) 21. **289.** 80 В;  $500\pi$  рад/с; 4 мс; 250 Гц. **290.** 0,19 В. **291.** 30 витков. **292.** 311 В; 220 В. **293.** 16 А. **294.** 25 В. **295.** а) 0,5 В. б) 20 В. в) 2 А. г) 1,41 А. д) 12 кДж. **296.** Через 3,3 мс. **297.** 3 А. **298.** К генератору переменного тока подключён конденсатор. **299.** К генератору переменного тока подключена катушка индуктивности. **300.** 157 Ом. **301.** 3,2 кОм. **302.**  $\frac{N_1}{N_2} = 2$ . **303.** 95,5 %. **305.** Сила тока в первичной обмотке трансформатора увеличится, а во вторичной — уменьшится. **306.**  $N_1 = 440$ ;  $N_2 = 84$ .

## Волны

### Механические волны. Звук

307. 2 с; 0,5 Гц. 311. а) 0,5 Гц; 2 с. б) 1 м/с. 312. а) 0,75 м. б) 3,4 м. 313. От 6,6 см до 11 см. 314. 2,5 с. 315. 2. 316. 1,32 м. 317. 100. 318. 5. 319. 660 м. 320. 3 км. 321. 1 м. 322. Длина волны увеличится в 4,5 раза. 323. Другой рабочий услышит звук удара дважды: через 0,1 с и через 1,5 с после удара. 324. 108 м. 325. 5,8 км. 326. 177 м. 327. 153 м; 5,54 с. 328. 1 кГц.

### Электромагнитные волны

329. Вектор напряжённости электрического поля и вектор магнитной индукции перпендикулярны направлению распространения волны. 330. Вектор напряжённости электрического поля и вектор магнитной индукции перпендикулярны друг другу. 332. От  $3,95 \cdot 10^{14}$  Гц до  $7,9 \cdot 10^{14}$  Гц. 334. а, г, е, з. 335. Минимальная частота волн у низкочастотных колебаний, минимальная длина волны у гамма-лучей. 336. К инфракрасному излучению. 337. Параллельно оси  $Ox$ . 338. а)  $10^{10}$  Гц. б) Обе волны относятся к СВЧ-волнам.

### Передача информации с помощью электромагнитных волн

339. 2,5 м. 340. От 33,3 см до 16,7 см. 341. От 50 МГц до 200 МГц. 342. Эстакада или мост экранируют электромагнитные волны. 343. 1000. 344. Период колебаний уменьшился, частота излучаемых волн увеличилась, длина волны уменьшилась. 345. 12 пФ. 346. Увеличить в 9 раз. 347. 30 м. 348. а) От 50 пФ до 500 пФ. б) От  $4,1 \cdot 10^6$  Гц до  $1,3 \cdot 10^7$  Гц. 349. Длина волны увеличится на 36,2 м.

350. а) Наименьшая частота  $\frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$ ; наибольшая  $\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$ . б)  $C_2 < 20$  пФ. 351. а) 8 мкГн. б) 138 м.

в) Наименьшая — 2,17 МГц, наибольшая — 7,5 МГц.

## ОПТИКА

### Геометрическая оптика

#### Законы геометрической оптики

352. Ход луча света можно наблюдать со стороны, например когда свет рассеивается на пылинках или частичках дыма. 354. а)  $2d$ . б) Уменьшаться. в) Увеличиваться. г) Уменьшаться. 355. На одном перпендикуляре к экрану с центром диска, на расстоянии 10 см от диска. 356. а) 50 см. б) 40 см. 358.  $50^\circ$ . 359. Могут: когда угол падения равен  $0^\circ$ , то есть падающий луч перпендикулярен зеркалу. 360.  $45^\circ$ . 361. Увеличивается на  $30^\circ$ . 362.  $60^\circ$ . 363.  $70^\circ$ . 364. б) Изображение  $S_1$  и источник  $S$  находятся на одном перпендикуляре к зеркалу и на равных расстояниях от него, но по разные стороны от плоскости зеркала. 365. в) Положение изображения стрелки не изменится, но уменьшится область видения, то есть область пространства, из которой можно видеть это изображение в зеркале. 367. Например, Луна и планеты. 368. Вследствие зеркального отражения света. 369. В опыте  $a$  луч света падает *из воздуха* на *плоскую* границу раздела воздуха и стекла, а в опыте  $b$  луч света падает на эту границу раздела из стекла. В опыте  $a$  угол преломления меньше угла падения, а в опыте  $b$  угол преломления больше угла падения. В обоих опытах луч света проходит через искривлённую боковую поверхность стеклянного полуцилиндра, не изменяя направления. 370. Соотношение  $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_c$

справедливо для опыта  $a$ . Для опыта  $b$  справедливо соотношение  $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{1}{n_c}$ . 371.  $0^\circ$ . 372. При перехо-

де луча через искривлённую боковую поверхность полуцилиндра угол падения равен нулю, поэтому

и угол преломления равен нулю, вследствие чего направление луча света не изменяется. 373. 1,53. 374. 40,6°. 375. 41,7°. 376. 48,8°. 377. в)  $d = \frac{h \sin(\alpha - \gamma)}{\cos \gamma} = 1,02 \text{ см}$ . 379. б) 1,73. 380. б) 1,73 м. в) 40,6°. г) 3,44 м. 381. а) От 0° до 90°. б) См. рисунок 9. в) 48,8°. г) 17,5 см.



Рис. 9

382.  $\sin \alpha_0 = \frac{1}{n_c}$ . 383. 48,8°. 384. а) Полное внутреннее отражение имеет место в обоих случаях. б)  $n_{\text{мин}} = 1,41$ . 385. 60°. 386. В 2 раза. 387. 1 м/с. 388. а) 0,63. б) 38,8°. 389. 0,7; 44°. 390. 1,63. 391. Например, этиловый спирт. 392. 80 см. 393. 3,14 м<sup>2</sup>; 25,12 м<sup>2</sup>. 394. 4,8 м. 396. Луч света поменяет направление на противоположное. 397. 48,3°. 398. 50,2°. 399. 18,2°. 400. 50°. 401. 83°. 402. 1,73. 403. Например, алмаз. 404. Когда толчёное стекло заливают водой, показатель преломления которой близок к показателю преломления стекла, уменьшаются отражение на границах раздела сред и отклонение лучей при преломлении. В результате залитое водой толчёное стекло становится почти невидимым. 405. а) 6 см. б) Тень имеет форму правильной пирамиды с квадратным основанием. Высота этой пирамиды 4,4 см. 406. Нет. 407. 32,3 м.

### Линзы. Построение изображений в линзах

408. У каждой линзы два фокуса: они расположены на главной оптической оси на одинаковых расстояниях от линзы по разные стороны от неё. 409. 25 см. 410. Две: каждая из них проходит через один из главных фокусов линзы. 421. а) Собирающая. б) 10 см. 422. а) Собирающей. б) 1 м. в) Изображение будет находиться на расстоянии 1 м от линзы; оно будет мнимым, прямым и увеличенным. г) Предмет надо отодвинуть от линзы на 1 м 80 см по сравнению с его начальным положением. 424. а) Положительные. б) 2. в) 15 см. г) Уменьшенным. д) 0,5. е) Линзу надо переместить на 15 см к предмету. ж) Изображение станет увеличенным; 2. 425. 6 см. 430. 9,9 см<sup>2</sup>. 434. Собирающая; 12 см. 435. 20 см. 436. -40 см. 437. Собирающая; 16 см. 438. а) Линза собирающая. б) 40 см. в) 60 см. г) Увеличенным;  $\Gamma = 2$ . 439. -3 дптр. 440. 4 см. 441. 15 см. 443. Изображение станет менее ярким, а его положение и размер не изменятся. 444. а) Собирающая линза. б) Рассеивающая линза. в) Зеркало. 445. Фокусное расстояние увеличилось, оптическая сила уменьшилась. 446. Увеличить в 3 раза. 447. 12 см. 449. На расстоянии 8 см от одного из источников и на расстоянии 24 см от другого. 450. 10 см. 451. Как рассеивающая линза. 452. Собирающая линза станет рассеивающей, а рассеивающая линза — собирающей.

### Глаз и оптические приборы

453. Оптическая сила глаза больше при рассматривании близких предметов. 454. а) 58,8 дптр. б) 62,8 дптр. 455. а) Дальнозоркость. б) 59,8 дптр. в) Собирающие линзы с оптической силой 3 дптр. 456. а) Это изображение является действительным, уменьшенным и перевёрнутым. б) Изменяя расстояние от линзы до изображения, то есть до плёнки. 457. а) 15 мм. б) 15,15 мм. в) 2,55 мм. 458. а) 20 м. б) 8 км/с. в) 8 мм/с. г)  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ . 462. 10 см. 463. а) Дальнозоркость. б) 61,3 дптр. в) Собирающие линзы с оптической силой 1,5 дптр. 464. а) Близорукость. б) 68,8 дптр. в) Рассеивающие линзы с оптической силой -6 дптр. 465. В 80 раз. 466. 2 мм. 467. 12,5 см. 468. а) 9,1 см. б) 20 см. 469. 40 м. 470. 64 см<sup>2</sup>. 471.  $2,4 \times 3,6 \text{ м}$ . 472. 20 см. 473.  $\Delta t \leq 0,83 \text{ мс}$ . 474. 5 м.

## Волновая оптика

### Интерференция волн

475. а)  $9,6^\circ$ . б)  $19,5^\circ$ . в)  $30^\circ$ . г)  $41,8^\circ$ . 476 Шестой. 477.  $d \sin \varphi_k = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ . 479. 106 нм. 480. г) 55 мкм. д) 1,27 мм. 481. а) Горизонтально. б) На 2,5 мкм. 482. Усиление волн. 483. а) Максимум. б) Минимум. 484. 500 нм. 485. а) 7. б) 6. в)  $19,5^\circ$ ;  $30^\circ$ . 486.  $\pi$  рад. 487. 460 нм; синему. 488. 400 нм. 489. 7 м. 490. б)  $s = \frac{L\lambda}{2h} = 1$  мм. 491. 1 мм. 492. 20.

### Дифракция волн

495. Первый максимум для фиолетового цвета наблюдается под углом  $0,0218^\circ$ , а первый максимум для красного цвета — под углом  $0,0435^\circ$ . 497. 650 нм. 498. а)  $36,9^\circ$ . б) 7,5 см. 499. 3. 500. Из формулы  $d \sin \varphi_k = k\lambda$  следует: чтобы наблюдались интерференционные максимумы хотя бы первого порядка для всех длин волн видимого света, период решётки должен быть больше длины волны, соответствующей красному цвету. 501. Потому что на щелях решётки происходит дифракция света. Именно благодаря дифракции происходит отклонение света от прямолинейного распространения. 502. 100. 503. 5 мкм. 504.  $41,8^\circ$ . 505.  $10,4^\circ$ . 506.  $1,15^\circ$ ;  $2,3^\circ$ . 507. 700 нм. 508. 700 нм; красному. 509. До 7-го включительно. 510. 2 мкм. 511. 1 м. 512. 1,1 см. 513. а) 376 нм. б)  $22^\circ$ . в)  $29,4^\circ$ . 514. а) 0,5 м. б) Около 1,9 см. 515. Длина световой волны уменьшается в воде в  $n$  раз, где  $n$  — показатель преломления воды. Поэтому (согласно формуле дифракционной решётки) уменьшается ширина спектральных полос на экране. 516. До 7-го включительно; нет.

### Дисперсия света

517. При преломлении света в призме сильнее всего отклоняются волны, соответствующие фиолетовому цвету, а в результате дифракции сильнее всего отклоняются волны, соответствующие красному цвету. 518.  $2,26 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 519. Скорость света в стекле больше для световых волн, соответствующих красному цвету. 520. Частотой, потому что длина световой волны одной и той же частоты будет различной в различных средах. 521. Чёрным. 522. Различным длинам волн соответствуют разные значения показателя преломления света. 523. Слово «роза» нельзя прочесть через красное стекло, а слово «трава» — через зелёное. Красные буквы при рассматривании их через зелёное стекло будут казаться чёрными. 524. Свет проходит через светофильтры, которые пропускают свет только соответствующего цвета: красного, зелёного или жёлтого. 525. 12 км. 526. Скорость волн, соответствующих красному цвету, примерно на 2000 км/с больше. 527. Частотой. 528.  $1,5 \cdot 10^8$  м/с. 529. а) 1,5. б) Частота световой волны не изменяется. в) Длина световой волны увеличивается в 1,5 раза. 530.  $2,16 \cdot 10^8$  м/с; 1,39. 531.  $0,2^\circ$ . 532. а) Увеличилась в 1,33 раза. б) 484 нм, 364 нм. в) Цвет не изменился.

## Элементы теории относительности

### Основные положения специальной теории относительности

533. Принцип относительности Галилея относился только к механическим явлениям, а принцип относительности Эйнштейна относится ко всем физическим явлениям. 534. а) В обоих случаях скорость света равна  $c$ . б) В обоих случаях скорость света равна  $c$ . 536. Скорость света равна  $c$  относительно любой ракеты. 537.  $c$ . 538. 1,25т. 539. 5 мин. 540. 71 мин. 541.  $2,6 \cdot 10^8$  м/с; 5,2 м. 542. Уменьшается в 2,3 раза.

### Энергия тела. Энергия покоя

543. На 180 км. 544. На  $1,1 \cdot 10^{-11}$  кг. 547. Уменьшается на  $3,7 \cdot 10^{-12}$  кг. 548.  $8,19 \cdot 10^{-14}$  Дж. 549. На  $4,2 \cdot 10^9$  кг. 550. Масса частицы равна нулю. 551. 0,866с. 552.  $0,42mc^2$ .

Кванты и атомы

Фотоэффект. Фотоны

553. От электрода 2 к электроду 1. 555.  $8 \cdot 10^{-19}$  Дж. 556. Для калия. 558. а) 5 эВ. б) 3 эВ.  
 562.  $1,3 \cdot 10^{15}$  Гц. 565. а) 3 кДж. б)  $10^{-5} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . в)  $10^{-5}$  Н. г)  $10^{-6}$  Па. д) В  $10^{11}$  раз. 566.  $E = 4 \cdot 10^{-18}$  Дж = 25 эВ.  
 567.  $E = 3,3 \cdot 10^{-19}$  Дж = 2,1 эВ. 568. Нет; да. 569. 1,9 эВ. 570. 260 нм. 571. а) 300 нм. б) 1,24 мкм.  
 572. 2,2 эВ. 573.  $2,38 \cdot 10^{-19}$  Дж. 574.  $7,4 \cdot 10^{14}$  Гц. 575.  $4,8 \cdot 10^{14}$  Гц. 576. 1 эВ. 577. а) 580 км/с.  
 б) Максимальная скорость фотоэлектронов в 72,5 раза больше первой космической скорости.  
 в) В 517 раз. 578. 94 нм. 579.  $1,24 \cdot 10^{15}$  Гц. 580.  $3 \cdot 10^{-25} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . 581. В 6 раз. 582. 1,49 эВ. 583. 0,51 В.  
 584. Длина волны света уменьшилась;  $1,2 \cdot 10^{15}$  Гц. 585. 0,1 мкс. 586.  $10^{15}$  Гц. 587. 4670 К. 588. 0,4 мкм;  
 0,3 мкм. 589. Увеличилась на  $2,9 \cdot 10^{14}$  Гц. 590. 19 нКл. 592. 350 мкН.

Строение атома. Атомные спектры

595. В основном состоянии. 596. 13,6 эВ. 597. На  $4 \cdot 10^{-19}$  Дж. 598. От спирали электрической плитки  
 и раскалённого куска металла можно наблюдать сплошной спектр, а от газовой горелки — линейча-  
 тый. 599. а) Поглощает. б) Излучает. в) Излучает. г) Поглощает. 600. 6. 601. а) 3. б) 5. в) 1. г) 4.  
 604. -3,1 эВ. 605. 355 нм. 606.  $2 \cdot 10^6$  м/с. 607.  $1,27 \cdot 10^{17}$ . 608.  $7,3 \cdot 10^{-11}$  м. 609.  $\frac{\lambda_{21}\lambda_{32}}{\lambda_{21} + \lambda_{32}}$ . 610. 350 нм.  
 611.  $1,27 \cdot 10^{-4}$  Па.

Атомное ядро и элементарные частицы

Атомное ядро. Радиоактивность

612. Частицы, входящие в состав  $\alpha$ -лучей, имеют положительный заряд; частицы, входящие в со-  
 став  $\beta$ -лучей, имеют отрицательный заряд; а частицы, входящие в состав  $\gamma$ -лучей, не имеют элек-  
 трического заряда. 613. Массовое число ядра уменьшается на 4, а зарядовое — уменьшается на 2.  
 614.  ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{222}\text{Rn} + {}_2^4\text{He}$ . 615. Массовое число ядра не изменяется, а зарядовое *увеличивается* на 1.  
 616.  ${}_{82}^{214}\text{Pb} \rightarrow {}_{83}^{214}\text{Bi} + e$ . 617. Нет. 618. Нет. 619. а) 1 ч. б) 1/64. в)  $6 \cdot 10^{-8}$ . 626.  $\alpha$ -частицу. 627. Сви-  
 нец-208. 628. Свинец-210. 629.  ${}_{88}^{224}\text{Ra}$ . 630.  ${}_{82}^{212}\text{Pb} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{-1}^0e + {}_{-1}^0e + {}_{82}^{208}\text{Pb}$ ;  ${}_{82}^{208}\text{Pb}$ . 631. а)  $\frac{N_0}{2}$ . б)  $\frac{3N_0}{4}$ .  
 в)  $\frac{7N_0}{8}$ . 632. а) Марганца. б) Брома. в) Цезия. 633. Могут; не являются. 634. В ядрах таких хими-  
 ческих элементов содержится поровну протонов и нейтронов. 635. Нет. 636. Пять  $\alpha$ -распадов и три  
 $\beta$ -распада. 637. Десять  $\alpha$ -распадов и десять  $\beta$ -распадов. 638. 86 протонов, 136 нейтронов. 639. 89 про-  
 тонов, 139 нейтронов. 640. 0,031. 641. В 1000 раз. 642. 5 мин. 643. 500 миллионов. 644. 270 суток.  
 645. 99,2%. 646.  $2,9 \cdot 10^{23}$  протонов;  $3,1 \cdot 10^{23}$  нейтронов. 647. На 100 Дж. 648. 46 мин. 649. Ион и  
 $\alpha$ -частица будут двигаться по окружностям радиуса  $\frac{1}{2Be} \sqrt{\frac{2EmM}{m+M}}$ , совершая обороты в противополож-  
 ных направлениях и с различными периодами.

## Ядерные реакции. Ядерная энергетика

650.  ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$ . 651.  $\Delta M = 0,096$  а. е. м.;  $E_{\text{св}} = 1,43 \cdot 10^{-11}$  Дж = 89 МэВ. 652. а)  $2,55 \cdot 10^{21}$ . б)  $3,2 \cdot 10^{-11}$  Дж. в)  $8,16 \cdot 10^{10}$  Дж. г) 3,7 т. 653. Нейтрон. 654. 104. 656. Нейтрон. 657. Протон. 659. 17,3 МэВ. 660. 2. 661. а) 0,12398 а. е. м. б) 0,04188 а. е. м. в) 0,03026 а. е. м. г) 0,24157 а. е. м. 662. а)  $4,1 \cdot 10^{-11}$  Дж. б)  $1,55 \cdot 10^{-11}$  Дж. 663. а) 8,3 МэВ/нуклон. б) 7,7 МэВ/нуклон. 664. 17,6 МэВ. 665. 1 г; 5,7 л. 666.  ${}^{11}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n}$ ;  $W = 0,17$  МэВ. 667.  ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He}$ ;  $W = 2,8$  МэВ. 668. 5,3 кг. 669. На 4,8 г. 670. 1,01 МэВ. 671. 6,33 МэВ.

## Элементарные частицы

672. 1 МэВ. 673. 1880 МэВ. 674.  $1,6 \cdot 10^{22}$  Гц. 675.  $\nu > 2,5 \cdot 10^{20}$  Гц. 676.  $3,6 \cdot 10^{-20} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ .

# ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ВПР И ЕГЭ

## МЕХАНИКА

### Кинематика

#### Система отсчёта, траектория, путь и перемещение

1. Да. 2. 200 км. 4. а) Траектория — отрезок прямой, по которому тело движется в одном направлении. б) Траектория является замкнутой. 5. а) 62,8 см. б) Нулю. в) 31,4 см. г) 20 см. 6. б)  $l = 2AB - AC$ . в)  $s = AC$ . г) В 4 раза. 7. 0,6.

#### Прямолинейное равномерное движение. Сложение скоростей

9. На 8 км/ч. 10. 10 км/ч. 11. 7,5 км/ч. 12. а)  $v_2 = 1,3$  м/с; скорость человека относительно берега направлена по течению реки. б)  $v_2 = 0,7$  м/с; скорость человека относительно берега направлена про-

тивоположно течению реки. 13. а) В 4 раза; в 2 раза. б) За 15 мин; за 30 мин. 14. а)

$$\begin{cases} v_{\text{вер}} + v_{\text{вет}} = \frac{d}{t_{\text{по}}}; \\ v_{\text{вер}} - v_{\text{вет}} = \frac{d}{t_{\text{прот}}} \end{cases}$$

б) В 10 раз. в) 1 ч 39 мин. 15. а)  $\sqrt{5}$  м/с. б)  $t = 30$  с. в) На 30 м. г)  $27^\circ$ . д) 67 м. 16. а)  $30^\circ$ . б) 1,7 м/с. в) 35 с.

#### Прямолинейное равноускоренное движение

18. Первый и четвертый автомобили разгоняются, а второй и третий — тормозят. 19. а) Первый; 2 м/с<sup>2</sup>. б) У второго; 1 м/с<sup>2</sup>. в) Для первого:  $v_x(t) = 12 - 2t$ ; для второго:  $v_x(t) = 4 + t$ . 20. б) При  $t = 1$  с. в) При  $t = 1$  с и  $t = 4$  с. 21. 1 м; 4 м; 9 м; 16 м. Путь пропорционален квадрату времени движения. 22. а) 80 м. б) 320 м. 23. а) 6 м. б)  $-5$  м/с. в) 2 м/с<sup>2</sup>. 24. а) 160 м. б) 640 м. 25. а) 2 м/с<sup>2</sup>.

б) 10 с. в) 20 м/с. 26. 27,8 м. 27. а)  $d = \frac{v_1 + v_2}{2}t$ . Обратите внимание: при равноускоренном движении

в одном направлении средняя скорость равна среднему арифметическому начальной и конечной скорости. б) 2 км. 28. 10 м/с; лишним данным является время разгона. 30. 10 м. 31.  $v = gt$ . 32. 4 с.

33.  $h = \frac{gt^2}{2}$ . 34. 5 м; 15 м; 25 м; 35 м. Пути, пройденные за последовательные равные промежутки времени, относятся как последовательные нечётные числа 1 : 3 : 5 : 7 и т. д. 35.  $v = \sqrt{2gh}$ .

36. 200 м/с (720 км/ч). 37.  $v_y = v_0 - gt$ . 38.  $t_{\text{под}} = \frac{v_0}{g}$ . 39. 3 с. 40.  $y = v_0t - \frac{gt^2}{2}$ . 41. 40 м; 40 м. Пер-

вый раз тело будет находиться на этой высоте при подъёме, а второй раз — при спуске. 42.  $h = \frac{v_0^2}{2g}$ .

43.  $t_{\text{пол}} = \frac{2v_0}{g}$ . 44. На 20 м/с. 45. а) В 2 раза. б) В 4 раза. 46.  $v_{0x} = v_0$ ,  $v_{0y} = 0$ ;  $g_x = 0$ ,  $g_y = -g$ .

47.  $\begin{cases} O_x: v_x = v_0; \\ O_y: v_y = -gt. \end{cases}$  48.  $x = v_0t$ ,  $y = h - \frac{gt^2}{2}$ . 49. На высоте 5 м. Лишнее данное — начальная скорость

тела: если тело брошено горизонтально, то высота тела в данный момент времени определяется толь-

ко его начальной высотой и временем полёта. 50.  $y = 0$ . 51.  $t_{\text{пол}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ . 52.  $l = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$ . 53. а) Увели-

чится в 4 раза. б) Увеличится в 2 раза. 54. 5 м, 10 м, 20 м. 55.  $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ ,  $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$ .

56.  $\begin{cases} O_x: v_x = v_0 \cos \alpha; \\ O_y: v_y = v_0 \sin \alpha - gt. \end{cases}$  57.  $x = v_0 \cos \alpha \cdot t$ ,  $y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$ . 58. а) 17,3 м; 34,6 м. б) 5 м; через 2 с.

59.  $t_{\text{пол}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$ . 60.  $l = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ . 61. а)  $30^\circ$  или  $60^\circ$ . б) Дальность полёта при одной

и той же начальной скорости может быть одинаковой при различных углах бросания. 62.  $45^\circ$ .

63.  $h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ . 64.  $90^\circ$ , то есть когда тело брошено вертикально вверх. 65. 20 м. 66. а) Тело двигалось с ускорением свободного падения: в описании ситуации сказано, что тело падало *свободно*.

б)  $\begin{cases} v_k = v_1 + g\tau; \\ l = v_1\tau + \frac{g\tau^2}{2}. \end{cases}$  в)  $l = v_k\tau - \frac{g\tau^2}{2}$ . г)  $v_k = \frac{l + \frac{g\tau^2}{2}}{\tau}$ . д)  $h = \frac{v_k^2}{2g} = \frac{\left(\frac{l + \frac{g\tau^2}{2}}{\tau}\right)^2}{2g}$ . 67. а) 35 м/с. б) 3,5 с. в) 61 м

(округлено). 68. а) 2,5 с. б) 25 м/с. в) 31 м (округлено). 69. Дальность полёта при одинаковой по модулю начальной скорости будет равной для углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , если  $\sin 2\alpha_1 = \sin 2\alpha_2$ . Отсюда получаем:  $2\alpha_1 = 180^\circ - 2\alpha_2 \Rightarrow \alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ$ . 70. а)  $21^\circ$  и  $69^\circ$ . б) 30 м/с. в) 90 м. г) 45 м.

### Равномерное движение по окружности

71. На  $90^\circ$ ; на  $9^\circ$ . 72. а) 60 с; 3600 с. б)  $\frac{1}{60} \text{ с}^{-1}$ ;  $\frac{1}{3600} \text{ с}^{-1}$ . 73.  $T = 5,6 \text{ с}$ ;  $v = 0,18 \text{ с}^{-1}$ . 74.  $\frac{2\pi \text{ рад}}{60 \text{ с}}$ ;

$\frac{2\pi \text{ рад}}{3600 \text{ с}}$ . 75. а) См. рисунок 1. б) См. рисунок 2. в) См. рисунок 3. г) См. рисунок 4.

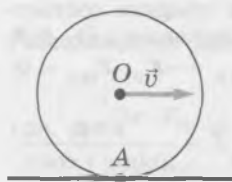


Рис. 1

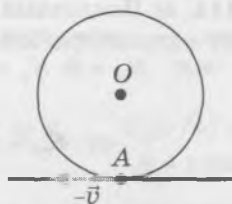


Рис. 2

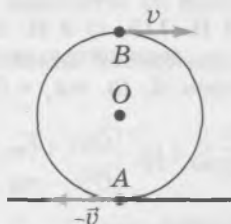


Рис. 3

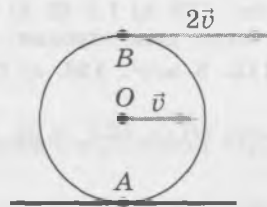


Рис. 4

76. а)  $r = l \sin \alpha$ . б)  $v = \frac{2\pi l \sin \alpha}{T}$ . в)  $a = \frac{4\pi^2 l \sin \alpha}{T^2}$ . 77.  $30^\circ$ .

### ДИНАМИКА

#### Три закона Ньютона

78. К центру окружности. 79. Может. Например, скорость брошенного вверх тела направлена *противоположно* действующей на него силе тяжести до тех пор, пока тело движется вверх. 80. а) 0,6 м/с<sup>2</sup>. б) 1,2 Н. г)  $120^\circ$ . 81. Если силы перпендикулярны друг другу.

#### Силы тяготения

82.  $6F$ . 83. а)  $a = \frac{v^2}{R}$ . б)  $F = G \frac{M_C m}{R^2}$ . в)  $v = \sqrt{\frac{GM_C}{R}}$ . Обратите внимание: чем больше радиус орбиты, тем меньше скорость планеты, причём скорость движения планеты не зависит от её массы.

84. 30 км/с. 85.  $T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM_C}}$ . 86.  $g = G \frac{M_{\text{Зем}}}{R_{\text{Зем}}^2}$ . 87.  $g(h) = G \frac{M_{\text{Зем}}}{(R_{\text{Зем}} + h)^2}$ . 88. В 4 раза.

89.  $v_1 = \sqrt{R_{\text{Зем}} g}$ . 90.  $v_1 = \sqrt{\frac{GM_{\text{Зем}}}{R_{\text{Зем}}}}$ . 92.  $g = \frac{4\pi G \rho R}{3}$ . 93.  $v_1 = 2R \sqrt{\frac{G\rho\pi}{3}}$ . 94.  $T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$ . Обратите внимание, что период обращения спутника вокруг планеты на низкой орбите зависит только от её плотности.

95.  $\rho = \frac{3v_0^2}{4\pi G R l} = 6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

#### Силы упругости

96. 200 Н/м. 97. а) У первой. б) В 4 раза. в) 500 Н/м. 98. Вес больше силы тяжести в случаях а и г, вес меньше силы тяжести в случаях б и в. 99. а) Вниз. б) 2 м/с<sup>2</sup>. в) О направлении скорости

лифта ничего сказать нельзя: она может быть направлена как вверх, так и вниз. **100.** Шарик находится в состоянии невесомости во время всего полёта. **101.** 12 см. **102.** а)  $\begin{cases} F_1 = k(l_1 - l_0); \\ F_2 = k(l_2 - l_0). \end{cases}$  б)  $l_0 = \frac{F_2 l_1 - F_1 l_2}{F_2 - F_1}$ . в)  $k = \frac{F_2 - F_1}{l_2 - l_1}$ . г)  $l_0 = 12$  см;  $k = 1000$  Н/м. **103.** а)  $x_1 = 2$  см;  $x_2 = 1$  см. б)  $x = 3$  см. в)  $k = \frac{2\text{Н}}{3\text{см}} = \frac{2\text{Н}}{0,03\text{м}} = 67 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ . **104.** а) 500 Н/м. б)  $k_1 = 2$  кН/м;  $k_2 = 667$  Н/м. в) 1,5 см; 4,5 см. **105.** 200 Н/м. **106.** а) 1 Н. б) 1 см. в) 1 см. г)  $k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ . **107.** 450 Н/м. **108.** а) 20 м/с<sup>2</sup>. б) Сила упругости со стороны пружины. в) 2 Н. г) 2 см. д) 18 см. **109.** а) 15 м/с<sup>2</sup>; вверх. б) 10 Н.

### Силы трения

**110.** а) Для второго. б)  $\mu_1 = 0,25$ ;  $\mu_2 = 0,75$ . **111.** а) См. рисунок 5. Уравновешивают друг друга сила тяжести и сила нормальной реакции. б) 2 Н. в) 0,4 Н. г) 0,4 Н. д) 2 м/с<sup>2</sup>; см. рисунок 5. е) 25 см. ж) Ответы на все предыдущие вопросы, кроме вопроса е, не изменятся, новый ответ на этот вопрос: 1 м, так как пройденный бруском до остановки путь пропорционален квадрату его начальной скорости. **112.** а) 1,5 Н. б) 2 Н и 3 Н. **113.** а) 2 Н. б) 3 Н. **114.** а) Наклонный участок графика соответствует силе трения покоя, а горизонтальный участок — силе трения скольжения. б) 0,3. **115.** 5 м/с<sup>2</sup>. **116.** а) См. рисунок 6. б)  $mg_x = 0$ ;  $mg_y = -mg$ ;  $N_x = 0$ ;  $N_y = N$ ;  $F_{\text{тр}x} = -F_{\text{тр}}$ ;  $F_{\text{тр}y} = 0$ ;

$$T_x = T \cos \alpha; T_y = T \sin \alpha. \text{ в) Нулю. г) } \begin{cases} O_x: -F_{\text{тр}} + T \cos \alpha = 0; \\ O_y: -mg + N + T \sin \alpha = 0. \end{cases} \text{ д) } F_{\text{тр}} = \mu N. \text{ е) } T = \frac{\mu mg}{\mu \sin \alpha + \cos \alpha},$$

$$N = \frac{mg \cos \alpha}{\mu \sin \alpha + \cos \alpha}, F_{\text{тр}} = \frac{\mu mg \cos \alpha}{\mu \sin \alpha + \cos \alpha}. \text{ ж) } T = 0,75 \text{ Н}; N = 1,62 \text{ Н}; F_{\text{тр}} = 0,65 \text{ Н. 117. } 1,06 \text{ м/с}^2.$$

**118.** 2,6 м/с<sup>2</sup>; вниз.

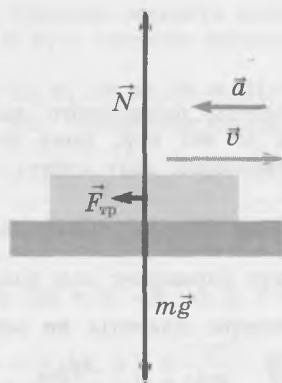


Рис. 5

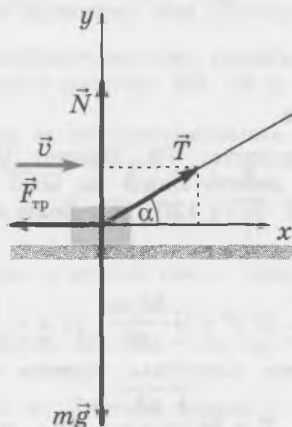


Рис. 6

### Тело на наклонной плоскости

**119.** а) Сила тяжести и сила нормальной реакции со стороны наклонной плоскости. б)  $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$ .

$$\text{в) } mg_x = mg \sin \alpha; mg_y = -mg \cos \alpha; N_x = 0; N_y = N; a_x = a; a_y = 0. \text{ г) } \begin{cases} O_x: mg \sin \alpha = ma \\ O_y: -mg \cos \alpha + N = 0 \end{cases} \text{ д) } a = g \sin \alpha.$$

е) Потому что все действующие на брусок силы пропорциональны массе бруска. ж) 30°. з)  $N = mg \cos \alpha$ .

и) 60°. **120.** а) 5 м/с<sup>2</sup>. б) 0,9 с. в) 4,5 м/с. **121.** а)  $t_1 = \frac{v_0}{g \sin \alpha}$ . б)  $t_2 = \frac{v_0}{g \sin \alpha}$ . в)  $l = \frac{v_0^2}{g \sin \alpha}$ .

122. Не может, потому что сила тяжести и сила нормальной реакции не могут уравновесить друг друга, так как они направлены не противоположно. 123. а) Сила тяжести, сила нормальной реакции со стороны наклонной плоскости и сила трения *покоя*. б) Потому что сила трения покоя уравновешивает равнодействующую силы тяжести и силы нормальной реакции, а их равнодействующая направлена вдоль наклонной плоскости *вниз*. в)  $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр. пок}} = 0$ . г)  $mg_x = mg\sin\alpha$ ;  $mg_y = -mg\cos\alpha$ ;  $N_x = 0$ ;

$$N_y = N; F_{\text{тр. пок } x} = -F_{\text{тр. пок}}; F_{\text{тр. пок } y} = 0. \text{ д) } \begin{cases} O_x: mg\sin\alpha - F_{\text{тр. пок}} = 0; \\ O_y: -mg\cos\alpha + N = 0. \end{cases} \text{ е) } F_{\text{тр. пок}} = mg\sin\alpha; N = mg\cos\alpha.$$

ж)  $F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N$ . з)  $F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N \Rightarrow mg\sin\alpha \leq \mu mg\cos\alpha \Rightarrow \text{tg}\alpha \leq \mu$ . 124. 0,44. 125. а) Сила тяжести, сила нормальной реакции со стороны наклонной плоскости и сила трения *скольжения*. б) Потому что сила трения скольжения направлена противоположно скорости тела. в)  $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр. ск}} = m\vec{a}$ .

$$\text{г) } \begin{cases} O_x: mg\sin\alpha - F_{\text{тр. ск}} = ma; \\ O_y: -mg\cos\alpha + N = 0. \end{cases} \text{ д) } F_{\text{тр. ск}} = \mu N. \text{ е) } a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha). \text{ 126. Брусок начнёт соскальзывать;}$$

$a = 1,54 \text{ м/с}^2$ . 127. а) Скорость бруска будет *уменьшаться* со временем, потому что значение силы трения скольжения больше значения равнодействующей силы тяжести и силы нормальной реакции. б)  $a = 1,06 \text{ м/с}^2$ . в)  $l = 1,88 \text{ м}$ .

### Равномерное движение по окружности под действием нескольких сил

$$128. \text{ а) } \begin{cases} O_x: F_{\text{тр. пок}} = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: mg - N = 0. \end{cases} \text{ б) } F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N. \text{ в) } v \leq \sqrt{\mu gr}. \text{ г) } r \geq \frac{v^2}{\mu g}. \text{ д) } \mu \geq \frac{v^2}{rg}. \text{ 129. } 56 \text{ м. 130. а) На груз}$$

действуют сила тяжести  $m\vec{g}$  и сила натяжения нити  $\vec{F}_{\text{нат}}$ , являющаяся силой упругости. б) Равнодействующая этих сил направлена к центру окружности, по которой движется груз. в)  $mg_x = 0$ ;  $mg_y = -mg$ ;

$$F_{\text{нат } x} = F_{\text{нат}} \sin\alpha; F_{\text{нат } y} = F_{\text{нат}} \cos\alpha; a_x = a; a_y = 0. \text{ г) } \begin{cases} O_x: F_{\text{нат}} \sin\alpha = m \frac{v^2}{l \sin\alpha}; \\ O_y: F_{\text{нат}} \cos\alpha - mg = 0. \end{cases} \text{ д) } F_{\text{нат}} = \frac{mg}{\cos\alpha}; v = \sin\alpha \sqrt{\frac{gl}{\cos\alpha}}.$$

$$\text{е) } T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos\alpha}{g}}. \text{ 131. а) } 60^\circ. \text{ б) } 43 \text{ см. в) } 2,74 \text{ м/с. г) } 1 \text{ с. 132. а) Сила нормальной реакции со сто-}$$

роны полусферы. Чертёж в точности повторяет рисунок 26 с единственным отличием: сила натяжения нити заменяется на силу нормальной реакции. б)  $20 \text{ м/с}^2$ . в)  $63^\circ$ . г)  $1,12 \text{ Н}$ . д)  $22,4 \text{ см}$ . е)  $1,59 \text{ с}^2$ .

$$133. 2\pi \sqrt{\frac{r \text{tg}\alpha}{g}} = 1,43 \text{ с}.$$

### Движение системы тел

134. а) На первый брусок действуют сила тяжести, сила нормальной реакции, сила  $\vec{F}$  и сила натяжения нити  $\vec{T}_1$ . На второй брусок действуют сила тяжести, сила нормальной реакции и сила натяжения нити  $\vec{T}_2$ . б) Сила тяжести и сила нормальной реакции, действующие на каждый брусок. Силы  $\vec{T}_1$  и  $\vec{T}_2$  не уравновешивают друг друга, так как приложены к *разным* телам! в) Вследствие третьего закона Ньютона с учётом того, что массой нити можно пренебречь (по условию нить *лёгкая*). г) Поскольку нить нерастяжима, модули перемещения брусков за любой промежуток времени одинаковы.

Отсюда следует, что скорости брусков и их ускорения в любой момент равны. д)  $\begin{cases} O_x: -T + F = m_1 a; \\ O_y: -m_1 g + N_1 = 0. \end{cases}$

$$\text{е) } \begin{cases} O_x: T = m_2 a; \\ O_y: -m_2 g + N_2 = 0. \end{cases} \text{ ж) } a = \frac{F}{m_1 + m_2}; T = F \frac{m_2}{m_1 + m_2}. \text{ 135. } 1,5 \text{ кг и } 0,5 \text{ кг. 136. а) На брусок действу-}$$

ют сила тяжести, сила нормальной реакции и сила натяжения нити. На груз действуют сила тяжести и сила натяжения нити. б) Ускорения тел равны по модулю вследствие того, что нить нерастяжима, силы натяжения нити равны потому, что массой нити можно пренебречь (нить *лёгкая*).

в)  $\begin{cases} O_x: T = m_6 a; \\ O_y: m_6 g - N_6 = 0; \end{cases} O_y: m_7 g - T = m_7 a. \text{ г) } a = g \frac{m_7}{m_6 + m_7}; T = g \frac{m_6 m_7}{m_6 + m_7}. \text{ 137. а) На каждый груз дей-}$

ствуют сила тяжести и сила натяжения нити. б) Ускорение более массивного груза направлено вниз, а ускорение менее массивного груза направлено вверх. в) Ускорения грузов равны по модулю вследствие того, что нить нерастяжима, силы натяжения нити равны потому, что массой нити можно пренебречь (нить лёгкая).

г)  $\begin{cases} Mg - T = Ma; \\ mg - T = -ma. \end{cases} \text{ д) } a = g \frac{M - m}{M + m}; T = g \frac{2Mm}{M + m}. \text{ е) Вес грузов одинаков,}$

поскольку вес каждого груза равен силе натяжения нити. Вес более массивного груза меньше действующей на него силы тяжести, потому что этот груз движется с ускорением, направленным вниз, а вес менее массивного груза больше действующей на него силы тяжести, потому что этот груз движется с ускорением, направленным вверх. 138. а)  $m = 100 \text{ г}$ . б)  $P = 0,9 \text{ Н}$ . 139. а)  $a_{1x} = -2a_{2x}$ .

б)  $\begin{cases} m_1 g - T = m_1 a_{1x}; \\ m_2 g - 2T = m_2 a_{2x}. \end{cases} \text{ в) } a_{1x} = 2g \frac{2m_1 - m_2}{4m_1 + m_2}; a_{2x} = g \frac{m_2 - 2m_1}{4m_1 + m_2}. \text{ г) Ускорение первого цилиндра направле-}$

но вниз, а второго — вверх. д)  $T = \frac{3gm_1 m_2}{4m_1 + m_2}$ . е)  $P_1 = \frac{3gm_1 m_2}{4m_1 + m_2} = 0,82 \text{ Н}; P_2 = \frac{6gm_1 m_2}{4m_1 + m_2} = 1,64 \text{ Н}$ .

140. а)  $a_{1x} = a_{2y}$ . б)  $\begin{cases} O_{1x_1}: T - m_1 g \sin \alpha = m_1 a_{1x}; \\ O_{1y_1}: N - m_1 g \cos \alpha = 0; \\ O_{2y_2}: m_2 g - T = m_2 a_{2y}. \end{cases} \text{ в) } a_{1x} = \frac{m_2 - m_1 \sin \alpha}{m_1 + m_2} g. \text{ г) Ускорение бруска направлено}$

вдоль наклонной плоскости вниз, ускорение цилиндра направлено вертикально вверх. д)  $2 \text{ м/с}^2$ .

141. а) На верхний брусок действуют сила  $\vec{F}$ , сила тяжести, сила нормальной реакции со стороны нижнего бруска и сила трения со стороны нижнего бруска. б) На нижний брусок действуют сила тяжести, сила давления со стороны верхнего бруска, сила нормальной реакции со стороны стола и сила трения со стороны верхнего бруска. Со стороны стола на нижний брусок сила трения не дей-

ствует: стол по условию гладкий. в)  $\begin{cases} O_x: F - \mu m_B g = m_B a_B; \\ O_x: \mu m_B g = m_H a_H. \end{cases} \text{ г) } a_B = \frac{F}{m_B} - \mu g = 16 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}; a_H = \frac{\mu m_B g}{m_H} = 20 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}.$

д) Полученные значения ускорений не могут быть правильными, потому что нижний брусок не может двигаться с бóльшим ускорением, чем верхний. е)  $\begin{cases} O_x: F - F_{\text{тр. пок}} = m_B a; \\ O_x: F_{\text{тр. пок}} = m_H a. \end{cases} \text{ ж) } a = \frac{F}{m_B + m_H} = 16,7 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}.$

з)  $F_{\text{тр. пок}} = F \frac{m_H}{m_B + m_H} = 3,3 \text{ Н}$ . и) Выполняется, потому что сила трения скольжения в данном случае

равна  $4 \text{ Н}$ . к)  $20 \text{ м/с}^2$ . л) Чтобы сорвать верхний брусок с нижнего, к нему надо приложить горизонтальную силу, превышающую  $24 \text{ Н}$ . 142. а)  $\mu \geq 0,2$ . б) Оба бруска будут двигаться с ускорением  $a = 2 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$ .

в)  $a_B = 1 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}; a_H = 2,4 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$ .

## Законы сохранения в механике

### Импульс. Закон сохранения импульса

143. Легковой автомобиль едет на юг со скоростью  $120 \text{ км/ч}$ . 144. а)  $p_1 = p_2 = 0,6 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . б)  $\vec{p}_2 = -\vec{p}_1$ . в)  $\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = -\vec{p}_1 - \vec{p}_1 = -2\vec{p}_1$ ; противоположно начальному импульсу. г)  $2$ . 145.  $100 \text{ Н}$ . 146. а) Нулю.

б)  $\Delta p = 2 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . в)  $\Delta p = 1,41 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . г) Изменение импульса шара за очень малый (по сравнению с периодом обращения) промежуток времени направлено к центру окружности, по которой движется шар.

147. а) Через  $1 \text{ с}$ . б)  $\Delta p = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . 148. а)  $0,8 \text{ Н}$ . б)  $\Delta p = 0,8 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . в)  $\Delta p = 0,8 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . г) Нулю, потому что через  $2 \text{ с}$  после толчка брусок *остановится*. При решении подобных задач надо прежде всего най-

ти время движения тела до остановки! 149. а)  $\Delta p_{\text{ш}} = 0,3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . б)  $p_6 = 0,3 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . в) 1 м/с. г) 2 м/с<sup>2</sup>. д) 0,2. 150. а) На каждое из этих тел действует сила тяжести. Кроме того, на тележку действует ещё сила нормальной реакции. б) Все внешние силы направлены *вертикально*. в) Нет. г)  $p_{\text{н}x} = m_{\text{т}} v_{\text{н}}$ . д)  $p_{\text{к}x} = (m_{\text{т}} + m_{\text{г}}) v_{\text{к}}$ . е)  $v_{\text{к}} = v_{\text{ш}} \frac{m_{\text{т}}}{m_{\text{т}} + m_{\text{г}}}$ . ж) Суммарный импульс груза и тележки не сохраняется. Сохраняется только *проекция* суммарного импульса груза и тележки на *горизонтально* направленную ось  $x$ . 151. 1,5 м/с. 152. а)  $(m_1 + m_2) \vec{v} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$ ;  $(m_1 + m_2) v_x = m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x}$ . б)  $v_x = \frac{m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x}}{m_1 + m_2}$ .

153. а)  $v_{1x} = 1 \text{ м/с}$ ;  $v_{2x} = -2 \text{ м/с}$ . б)  $v_x = -0,2 \text{ м/с}$ . в) Скорость образовавшегося тела направлена противоположно начальной скорости первого шара (на это указывает отрицательный знак проекции скорости). 154. а)  $m_{\text{ч}} v_{\text{ч}3} - m_{\text{т}} v_{\text{т}3} = 0$ . б)  $v_{\text{т}3} = 0,4 \text{ м/с}$ . в) 1,2 м/с. г) За 10 с. д) Когда человек остановится у правого конца тележки, скорости человека и тележки относительно земли станут равными нулю. е) На 4 м. ж) На 8 м. 155. а) Нет, потому что на них действуют внешние силы, которые не уравновешивают друг друга. б) Сохраняется проекция суммарного импульса тележки и шара на ось  $x$ , направленную горизонтально, потому что все внешние силы направлены вертикально. в)  $(m_{\text{т}} + m_{\text{ш}}) v = m_{\text{ш}} v_{\text{ш}} \cos \alpha$ . г)  $v = \frac{m_{\text{ш}} v_{\text{ш}} \cos \alpha}{m_{\text{т}} + m_{\text{ш}}} = 1 \text{ м/с}$ . 156. а)  $(M + m) v = m v_{\text{ш}}$ . б)  $a = \mu g$ . в)  $l = \frac{1}{2\mu g} \left( \frac{m v_{\text{ш}}}{M + m} \right)^2 = 2,45 \text{ м}$ . 157. а) 30 м/с. б) 60 м. в) 36 м/с.

### Механическая работа. Мощность

158. б) -1 Дж. в) 1 Дж. 159. -0,04 Дж. 160. 50 см. 161. а)  $F = mg = 100 \text{ Н}$ . в)  $A = \frac{mgl}{2} = 500 \text{ Дж}$ . 162. 160 Вт. 163. 1 кН. 164. 0,4 м/с.

### Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия

165. а) -3 Дж. б) Увеличилась на 3 Дж. 166. Нулю. 167. 0,03 Дж. 168. а) Скорость легкового автомобиля в 2 раза больше. б) Модуль импульса грузовика в 2 раза больше.

### Закон сохранения энергии в механике

169. 40 см. 170. 9 см. 171. а)  $v_1 = \sqrt{2gh}$ . б)  $v_2 = \sqrt{2gh} \frac{m}{M + m}$ . 172. а) При соскальзывании санок механическая энергия не сохранялась. б) -95 Дж. 173.  $4 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$ . 174. а) То, что стержень *лёгкий*, означает, что его массой, а следовательно, и кинетической энергией можно пренебречь; то, что стержень может вращаться *без трения*, означает, что на шар при его движении действуют только сила упругости и сила тяжести. б)  $\frac{m v_1^2}{2} + 2mgl = \frac{m v_0^2}{2}$ . в)  $v_1 = \sqrt{v_0^2 - 4gl}$ . г)  $v_0 > 2\sqrt{gl}$ .

175. а)  $\frac{M v^2}{2} - Mgl + \frac{m v^2}{2} + mgl = 0 \Rightarrow \frac{(M + m) v^2}{2} = gl(M - m)$ . Здесь  $v$  — модуль скорости шаров в момент, когда стержень с шарами проходит положение равновесия, нулевому уровню потенциальной энергии сопоставлено начальное состояние. б)  $v = \sqrt{\frac{2(M - m)gl}{M + m}}$ . 176. а)  $\frac{m v^2}{2} = mgl \sin \alpha$ . б)  $T - mg \sin \alpha = \frac{m v^2}{l}$ .

в)  $\begin{cases} \frac{m v^2}{2} = mgl \sin \alpha; \\ T - mg \sin \alpha = \frac{m v^2}{l}. \end{cases}$  г)  $T = 3mg \sin \alpha$ . д) От нуля до  $3mg$ . е)  $a_{\tau} = g \cos \alpha$ . ж)  $a_n = 2g \sin \alpha$ .

з)  $a = \sqrt{a_n^2 + a_{\tau}^2} = g\sqrt{1 + 3\sin^2 \alpha}$ . и) От  $g$  до  $2g$ . 177.  $60^\circ$ . 178. а) Если бы скорость шарика в верхней точке была равна нулю, то под действием силы тяжести шарик начал бы двигаться вертикально вниз с ускорением свободного падения. А он по условию движется по окружности. Следовательно, скорость

- шарика в верхней точке траектории не может быть равной нулю. б) Когда шарик проходит нижнюю часть траектории, его скорость больше. г)  $\frac{mv_B^2}{l} = T_B + mg$ . д)  $v_{B \min} = \sqrt{gl}$ . е) С ускорением свободного падения. ж)  $\frac{mv_B^2}{l} = T_B - mg$ . з)  $\frac{mv_B^2}{2} = \frac{mv_B^2}{2} + 2mgl$ . и)  $v_{B \min} = \sqrt{5gl}$ . к)  $T_{B \min} = 6mg$ . л)  $5g$ ; вверх.
179. а) Минимально возможную скорость шарика в верхней точке траектории можно принять практически равной нулю. б)  $v_{B \min} = 2\sqrt{gl}$ . в)  $4g$ ; вверх. г)  $5mg$ . 180. б)  $\frac{mv_B^2}{r} = N_B + mg$ . в)  $v_{B \min} = \sqrt{gr}$ . г)  $2mgr + \frac{mv_B^2}{2} = mgH$ . д)  $H_{\min} = \frac{5r}{2}$ . 181. б)  $mgh + \frac{mv^2}{2} = mgH$ . в)  $\frac{mv^2}{r} = mg \frac{h-r}{r}$ . г)  $h = \frac{5r}{3}$ .
182. а)  $3,87$  м/с. б)  $3$  м/с. 183. а)  $mgh + \frac{mv^2}{2} = mgr$ . б)  $\frac{mv^2}{r} = mg \frac{h}{r} - N$ . в)  $h = \frac{2r}{3}$ .
184. а)  $\frac{mv^2}{2} + \frac{Mv^2}{2} = mgr(1 - \cos\alpha) + Mgr\alpha$ . б)  $\frac{mv^2}{r} = mg \cos\alpha$ . в)  $M = m \frac{3 \cos\alpha - 2}{2\alpha - \cos\alpha} = 330$  г.

### Применение законов сохранения в механике к движению нескольких тел или системы тел

185.  $0,2$  кг. 186. б)  $200$  м/с и  $600$  м/с. в)  $d = \frac{2v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = 27,7$  км. 187. а)  $v_6 = v_{11} \frac{m}{M+m}$ .
- б)  $\frac{E_6}{E_{11}} = \frac{m}{M+m} = 0,01$ . в) Сохраняется. г)  $\frac{v_{11}^2}{2g} \left( \frac{m}{M+m} \right)^2 = 0,78$  м. д) На  $78^\circ$ . 188. а) Нет. б) Да.
- в)  $(M+m)V = mv_0$ . г) Да. д)  $\frac{(M+m)V^2}{2} + mgH = \frac{mv_0^2}{2}$ . е)  $V = m \sqrt{\frac{2gH}{M(M+m)}} = 0,19$  м/с;
- $v_0 = \sqrt{2gH \frac{M+m}{M}} = 2,1$  м/с. 189. а) Скорость горки будет направлена вправо, а скорость шайбы — влево. б) Скорость горки  $0,2$  м/с, скорость шайбы  $1$  м/с.

### Статика

#### Условия равновесия тела

190. а)  $\begin{cases} O_x: -T_1 \sin\alpha + T_2 \sin\alpha = 0; \\ O_y: T_1 \cos\alpha + T_2 \cos\alpha - mg = 0. \end{cases}$  б)  $T_1 = T_2 = \frac{mg}{2 \cos\alpha} = 58$  Н. в) При  $\alpha = 60^\circ$ . 191. а)  $\begin{cases} O_x: T_2 \sin\alpha - T_1 = 0; \\ O_y: T_2 \cos\alpha - mg = 0. \end{cases}$
- б)  $T_1 = 23,1$  Н;  $T_2 = 46,2$  Н;  $T_3 = 40$  Н. 192. Для силы  $\vec{F}_1$ . 193.  $M_1 = -2$  Н·м;  $M_2 = 0$ ;  $M_3 = 0$ ;  $M_4 = 2$  Н·м. 195. Приложенная в точке  $A$  сила должна быть направлена вверх и равна одному ньютону. 196. а) Относительно оси, проходящей через точку  $O$ , потому что модуль и направление силы, действующей на стержень со стороны оси шарнира, неизвестны. в)  $-mg \frac{L \sin\alpha}{2} + TL \cos\alpha = 0$ .
- г)  $T = \frac{mg \operatorname{tg}\alpha}{2}$ . д)  $mg \sqrt{1 + \frac{\operatorname{tg}^2\alpha}{4}}$ .

#### Центр тяжести

197. б)  $0,4$  м;  $0,2$  м. в) Сила натяжения первого троса равна  $30$  Н, а второго троса —  $60$  Н.
198.  $100$  Дж. 199. б)  $\begin{cases} O_x: N_c - F_{\text{тр}} = 0; \\ O_y: N_{\text{п}} - mg = 0. \end{cases}$  в)  $F_{\text{тр}} \leq \mu N_{\text{п}}$ . г) Относительно нижнего конца доски, потому что только к нижнему концу приложены две силы: в остальных точках приложено только по одной силе. д)  $-N_c l \cos\alpha + mg \frac{l}{2} \sin\alpha = 0$ . е)  $\frac{\operatorname{tg}\alpha}{2} \leq \mu$ . 200. а) Относительно оси шарнира, потому что неизвест-

на сила, приложенная к стержню со стороны шарнира. в) Момент силы тяжести отрицателен и выражается формулой  $-\frac{mgl}{2}$ , а момент силы натяжения троса положителен и выражается формулой  $Tl\sin\alpha$ . г)  $T = \frac{mg}{2\sin\alpha} = 100$  Н. д) 100 Н.

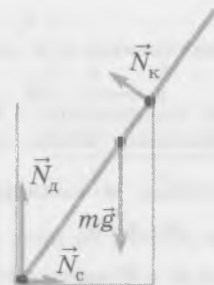


Рис. 7

201. а) См. рисунок 7, на котором силы, действующие на палочку со стороны края стакана, дна стакана и его стенки обозначены, соответственно,  $\vec{N}_k$ ,  $\vec{N}_d$  и  $\vec{N}_c$ . б) Относительно оси, проходящей через нижний конец палочки, потому что нам неизвестны силы, действующие на палочку в этой точке.

в)  $N_k \sqrt{h^2 + d^2} - mg \frac{l}{2} \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}} = 0$ . г) 0,45 Н.

### Равновесие жидкости и газа

202. а)  $F = \rho ghS$ . б)  $p = \rho gh$ . 203. На глубине 10 м. 204. а)  $p = \rho_v gh_v + \rho_k gh_k$ . б)  $h_v = 20$  см,  $h_k = 10$  см. 205. б)  $\frac{h_k}{h_v} = \frac{5}{4}$ . в) 8 см. г) 10 см. 206. а) Стального. в) Медный. г) В сторону медного шара. 207. На 25 %. 208. а) Нет. б) Нет. в) Когда брусок плавает в керосине, объём погружённой в жидкость части бруска больше, чем когда он плавает в воде. 209. 880 кг/м<sup>3</sup>. 210. в)  $m = 0,25\rho_1 V_1$ . г) 128 кг. 211. 6,6 кг.

### Молекулярная физика

#### Строение вещества

212. То, что вещество состоит из атомов и молекул, и то, что они находятся в непрерывном хаотическом движении. 213. То, что вещество состоит из атомов и молекул, и то, что они находятся в непрерывном хаотическом движении. 214. Быстрее всего в газах, а медленнее всего — в твёрдых телах. 215. На притяжение молекул указывает существование жидкостей и твёрдых тел, а на отталкивание молекул указывает несжимаемость жидкостей и твёрдых тел. 216. В трёх молях водорода в 3 раза больше молекул, чем в одном моле кислорода. 217. 2 моля водорода и 1 моль кислорода. 218. 16 а. е. м. и 32 а. е. м. 219. а)  $1,8 \cdot 10^{24}$ ; б)  $6 \cdot 10^{22}$ . Число атомов  $5,4 \cdot 10^{24}$ ;  $1,8 \cdot 10^{23}$ . 220. 10 моль; 0,05 моль; 5,5 моль; 0,001 моль. 221. а) 14,1 см<sup>3</sup>; б)  $1,64 \cdot 10^{-4}$  см<sup>3</sup>; в)  $1,64 \cdot 10^{-4}$  г; г)  $5,45 \cdot 10^{18}$ .

#### Изопроцессы и другие газовые процессы

222. Температура тела увеличилась на 10 К. 223. а) В 2 раза. б) В 2 раза. 224. а) В 2 раза. б) В 2 раза. 225. б) В 2 раза; в) на  $5 \cdot 10^4$  Па. 226. а) Данный процесс не является каким-либо изопроцессом. в) Увеличивается. г) Увеличивается. д) Увеличивается. 227. а) Увеличилась; б) уменьшилось; в) увеличился. 228. а) Увеличился. б) Увеличилось. в) Увеличилась.

#### Уравнение состояния идеального газа

229.  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{1} = \frac{2}{3}$ . Объём газа уменьшился в 1,5 раза. 230. а) 273 К и 373 К. б) Увеличилось на  $10^5$  Па. в) Объём газа уменьшился: отношение конечного объёма газа к начальному равно 0,68. 231. а) Не может; б)  $\left\{ \begin{array}{l} \frac{p}{V} = a; \\ \frac{pV}{T} = c, \end{array} \right.$  где  $a$  и  $c$  — некоторые постоянные величины;

в)  $\frac{p^2}{T} = b$ ,  $\frac{T}{V^2} = d$ , где  $b$  и  $d$  — константы; г) давление увеличивается в 2 раза; д) температура уве-

личивается в 4 раза. **232.** Давление газа уменьшается в 2 раза. **233.** а)  $pV^2 = \text{const}$ ; б)  $\frac{T^3}{p^2} = \text{const}$ ; в) уменьшится в 8 раз; г) уменьшится в 2,8 раз. **234.** а) 1,76 г; б) 28,2 г; в) 38,8 г. **235.** Водород занимает объём, в 16 раз больший, чем кислород. Это означает, что водород занимает 16/17 объёма сосуда, а кислород — только 1/17 часть. **236.**  $1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ; примерно в 780 раз. **237.** а) 373 К и 273 К; б) нет, потому что он находился под подвижным поршнем и трением можно пренебречь; в) в 1,37 раза; г) 0,68. **238.** а)  $1,4 \cdot 10^5$  Па; б)  $11,3 \cdot 10^5$  Па; в)  $12,7 \cdot 10^5$  Па.

### Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул

**239.** а)  $6 \cdot 10^{23}$ ; б)  $3 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3}$ ; в)  $5 \cdot 10^{-21}$  Дж; г) лишним данным является вид газа. **240.**  $5,7 \cdot 10^{-21}$  Дж. Лишними данными являются названия газов (достаточно было указать, что газы одноатомные), а также давление. **241.** 1900 м/с; 480 м/с; 180 м/с. **242.** 224 м/с. **243.** Давление газа на стенку сосуда уменьшилось бы в 2 раза.

### Насыщенный пар. Влажность

**244.** а) 100 кПа; б) 11,6 г. **245.** 66 %. **246.** а) Прилежащий к холодным стёклам очков слой воздуха охладился, вследствие чего водяной пар в нём стал сначала насыщенным, а затем началась конденсация пара; б) согласно условию относительная влажность воздуха в комнате равна 60 %. Это означает, что давление водяного пара составляет 0,6 от давления насыщенного пара при той же температуре (20 °С). Используя данные из таблицы, получаем, что парциальное давление водяного пара в комнате равно 1,4 кПа; в) при 12 °С; г) ниже 12 °С.

### Термодинамика

#### Первый закон термодинамики

**249.** При адиабатном сжатии температура газа повышается, а при адиабатном расширении — понижается. **250.** В воздухе всегда содержится некоторое количество водяного пара. Его плотность меньше, чем плотность воздуха, потому что молярная масса воды меньше, чем молярная масса газов, входящих в состав воздуха (азота и кислорода), поэтому водяной пар поднимается вверх. При этом он попадает в более разрежённые и более холодные слои атмосферы. В результате содержащийся в воздухе водяной пар может сконденсироваться, то есть превратиться в капельки воды или кристаллики льда, это и есть образование облаков. **251.** Внутренняя энергия газа уменьшилась на 200 Дж. **252.** Адиабатному расширению соответствует график 2. **253.** В изотермическом процессе внутренняя энергия газа не изменяется. **254.**  $Q = A_r$ . **255.** При *любом* расширении работа газа положительна, а при *любом* сжатии — отрицательна. **256.** При изотермическом расширении газ получает некоторое количество теплоты, а при изотермическом сжатии — отдаёт. **257.** При изохорном процессе работа газа равна нулю, потому что газ не расширяется и не сжимается. **258.**  $Q = \Delta U$ . **259.** При изохорном нагревании внутренняя энергия газа увеличивается, а при изохорном охлаждении — уменьшается. **260.** При изохорном нагревании газ получает некоторое количество теплоты, а при изохорном охлаждении — отдаёт. **261.** При изобарном нагревании внутренняя энергия газа увеличивается, а при изобарном охлаждении — уменьшается. **262.** При изобарном нагревании работа газа положительна, а при изобарном охлаждении — отрицательна. **263.** При изобарном нагревании газ получает некоторое количество теплоты, а при изобарном охлаждении — отдаёт. **264.** Не получает и не отдаёт. **265.**  $\Delta U + A_r = 0$ . **266.** При *любом* расширении работа газа положительна, а при *любом* сжатии — отрицательна. **267.** При адиабатном сжатии внутренняя энергия газа увеличивается, а при адиабатном расширении — уменьшается.

#### Применение первого закона термодинамики к газовым процессам

**268.** а) 0,4 моля; б) 8 г. **269.**  $\Delta U = 3p_0V_0$ . **270.** Внутренняя энергия газа уменьшилась на 600 Дж. **271.** а)  $2 \cdot 10^5$  Па; б)  $4 \cdot 10^5$  Па; в)  $\Delta U = 4,5 \text{ кДж}$ . **272.** а) Изобразим график данного процесса в коор-

динах ( $p, V$ ) (рис. 8). Работа газа в изобарном процессе  $A_r = p_0(V_2 - V_1)$ , где  $p_0$  — постоянное давление газа,  $V_1$  и  $V_2$  — начальный и конечный объём газа. Из уравнения Менделеева — Клапейрона следует, что в изобарном процессе  $p_0 \Delta V = \nu R \Delta T$ . Следовательно,  $A_r = \nu R(T_2 - T_1)$ ; б)  $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1)$ ;

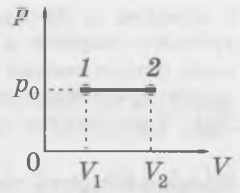


Рис. 8

в)  $Q = \frac{5}{2} \nu R(T_2 - T_1)$ . 273. а) Работа газа при переходе способом  $a$  в 2 раза больше,

чем при переходе способом б; б) изменение внутренней энергии при обоих способах перехода одинаково. 274. Переданное газу количество теплоты при переходе способом  $a$  в 3 раза больше, чем при переходе способом б. 275. а) Увеличивалась на этапах  $a$  и  $b$ , уменьшалась на этапах  $c$  и  $d$ ; б) на этапе  $b$ ; в) на этапе  $d$ ; г) получал на этапах  $a$  и  $b$ , отдавал на этапах  $c$  и  $d$ ; д)  $(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)$ . 276. а) Процесс 2—3 представляет собой адиабатное расширение, а процесс 3—1 — изотермическое сжатие; б) газ совершает положительную работу на этапах 1—2 и 2—3; газ совершает отрицательную работу на этапе 3—1; в) газ получает некоторое количество теплоты на этапе 1—2 и отдаёт некоторое количество теплоты на этапе 3—1. 277. а)  $T_1 = T_2$ . б)  $A_{12} = \nu R(T_2 - T_1)$ .

в)  $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1)$ ; г)  $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \frac{5}{2} \nu R(T_2 - T_1)$ ; д)  $A_{23} = \frac{3}{2} \nu R(T_3 - T_2)$ ; е) количество теплоты, отданное газом в изотермическом процессе, равно работе внешних сил над газом.

### Тепловые двигатели. Второй закон термодинамики

278. 4 кДж. 279. а)  $a$  — изохорное нагревание,  $b$  — изобарное расширение,  $c$  — изохорное охлаждение,  $d$  — изобарное сжатие; б) газ совершает положительную работу на этапе  $b$ .  $A_r = 2p_0V_0$ ; в) используя первый закон термодинамики, находим, что газ получает некоторое количество теплоты только на этапах  $a$  и  $b$ . Для нахождения изменения внутренней энергии газа на этих этапах воспользуемся формулой  $U = \frac{3}{2} pV$ . Произведение  $pV$  на этапах  $a$  и  $b$  изменилось от  $p_0V_0$  до  $2p_0 \cdot 2V_0 = 4p_0V_0$ .

Следовательно,  $\Delta U = \frac{3}{2} (4p_0V_0 - p_0V_0) = \frac{9}{2} p_0V_0$ . Согласно первому закону термодинамики  $Q_1 = \Delta U + A_r$ . Подставляя в эту формулу найденное выше выражение для работы газа ( $A_r = 2p_0V_0$ ), получаем:  $Q_1 = \frac{13}{2} p_0V_0$ ; г)  $A_{\text{пол}} = p_0V_0$ ; д)  $\eta = \frac{2}{13} \approx 15\%$ . 280. 29 %.

### Фазовые переходы

281. До 78,6 °С. 282. а)  $2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$ . б) 0 °С. в) 330 кДж/кг. г)  $4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$ . д) Вода. 283. В процессе испарения жидкость покидают наиболее «быстрые» молекулы, поэтому средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается. 285. а) 1,44 км/с. б) 73 %. 286. а) Не менее 29,6 кг; б) не более 359 г; в) больше 359 г, но меньше 29,6 кг. 287. 77 °С.

### Электростатика

#### Электрические взаимодействия

288. Тело 2. 289. Положительный. 290. Часть свободных электронов, притягиваясь к заряженной палочке, переместится с гильзы 2 на гильзу 1. Модули зарядов гильз одинаковы — это следует из закона сохранения электрического заряда. 291. Свободные электроны гильзы притянутся к положительной заряженной палочке, поэтому на ближней к палочке части гильзы появится отрицательный электрический заряд, а на дальней её части из-за недостатка электронов возникнет положительный заряд. В результате гильза будет притягиваться к палочке: отрицательные заряды на гильзе находятся ближе к палочке, поэтому они будут взаимодействовать с палочкой сильнее, чем положительные. 292. а) Силы взаимодействия шариков не изменятся; б) направление каждой силы, действующей на шарик, изменится на противоположное: если шарик притягивался, то он станет отталкиваться, а если шарик отталкивался, то он станет притягиваться. Модуль сил взаимодействия не изменится; в) силы взаимодействия шариков увеличатся в  $n^2$  раз; г) силы взаимодействия шариков увеличатся в  $n^2$  раз; д) силы взаимодействия шариков уменьшатся в  $n$  раз. 293. а) На расстоянии 5 см от шарика

с зарядом  $q$ ; б) заряд третьего шарика должен быть положительным. В таком случае, при смещении третьего шарика в сторону любого из заряженных шариков, на концах стержня будет «побеждать» сила отталкивания со стороны того шарика, к которому он приближается. В результате равнодействующая приложенных к третьему шарiku сил будет стремиться вернуть шарик в положение равновесия.

294. Уменьшится в 1,25 раза.

### Напряжённость электрического поля. Линии напряжённости

295. 2 мкН; вниз. 297. а) 4 нКл или  $-4$  нКл; б) 900 Н/Кл; 400 Н/Кл; 36 Н/Кл. 298. в) Нулю.

299. б)  $E_1 = \frac{kq}{h^2 + l^2}$ . в)  $E = 2 \frac{kqh}{\sqrt{(h^2 + l^2)^3}}$ . 300. а) Нулю; б) 15 кН/Кл. 301. а)  $1,5 \cdot 10^4$  Н/Кл; б) 1,9 кН/Кл.

### Проводники и диэлектрики в электрическом поле

302. Влево. 303. 36 Н/Кл. 304. Например, спирт. 305. а) Вследствие электрического отталкивания одноимённых шариков; б) да; г)  $\frac{F_o}{F_T} = \operatorname{tg} \alpha$ ; д)  $r = 2l \sin \alpha$ ; е) например,  $q_1 q_2 = \frac{4l^2 mg \sin^3 \alpha}{k \cos \alpha}$ ;

ж) можно выразить любую из величин  $m$ ,  $l$ ,  $q_1$  и  $q_2$  через остальные величины и угол  $\alpha$  (угол  $\alpha$  выразить через другие величины будет сложно). Например, если заданы все величины, кроме массы шариков  $m$ , её можно найти по формуле  $m = \frac{q_1 q_2 k \cos \alpha}{4l^2 g \sin^3 \alpha}$ .

### Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение)

306. Работа поля положительна, потому что в этом случае направление силы совпадает с направлением перемещения. Если изменить знак заряда, то работа поля станет отрицательной, потому что направление силы будет противоположно направлению перемещения. 307. Три:  $qEa$ , 0,  $-qEa$ .

308. Нулю. 309. Одинаковую. 310. Работа поля положительна. Потенциальная энергия заряда уменьшается. 311. Красным надо обвести три точки, находящиеся левее точки  $M$  на рисунке, синим — три точки правее точки  $M$ , а зелёным — две точки, находящиеся на одной вертикали с точкой  $M$ .

312. 100 В. 313. а) Поле совершает отрицательную работу; б)  $-10^{-5}$  Дж. 314. Нулю, потому что при перемещении заряда вдоль линии, перпендикулярной напряжённости поля, работа поля равна нулю.

315. Да, является. 316. а) Уменьшилась. б) Не изменилась. в) Потенциальная энергия электрона увеличилась на  $8 \cdot 10^{-17}$  Дж. г) Кинетическая энергия электрона уменьшилась на  $8 \cdot 10^{-17}$  Дж;

д)  $1,3 \cdot 10^7$  м/с. 317. а) По параболе; б)  $a = \frac{qE}{m}$ ; в)  $v = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{qEt}{m}\right)^2}$ .

### Электроёмкость. Энергия электрического поля

318. 5 мкФ. 319. а) Не изменится; б) не изменится. 320. а) Увеличится в 4 раза; б) уменьшится в 2 раза; в) увеличится в 3 раза. 321. 5 нКл. 322. а) Напряжённость поля между пластинами не изменилась; б) напряжение между пластинами увеличилось в 4 раза. 323. Энергия конденсатора *увеличивается*, потому что при удалении обкладок друг от друга мы совершаем положительную работу: направление прикладываемой нами силы совпадает с направлением перемещения. 324. а) Не изменяется; б) уменьшается; в) увеличивается; г) увеличивается. 325. а) Не изменяется; б) увеличивается; в) увеличивается вследствие увеличения электроёмкости при неизменном напряжении между обкладками; г) увеличивается за счёт энергии источника тока, потому что увеличивается заряд обкладок конденсатора; д) соответствует. 326. а)  $a_x = 0$ ;  $a_y = \frac{qU}{md}$ . б)  $v_x = v_0$ ;  $v_y = \frac{qUt}{md}$ ; в)  $x = v_0 t$ ;  $y = \frac{qUt^2}{2md}$ ;

г) Начальная скорость частицы должна удовлетворять неравенству  $v_0 > l \sqrt{\frac{qU}{m}}$ . 327. а) По прямой; б)  $a_x = \frac{qU}{md}$ ; в)  $a = \sqrt{\left(\frac{qU}{md}\right)^2 + g^2}$ ; г)  $t = d \sqrt{\frac{m}{qU}}$ .

## Постоянный электрический ток

### Закон Ома для участка цепи

328. а) Сопротивление проводника 2 больше; б)  $R_1 = 0,25$  Ом;  $R_2 = 1,5$  Ом. 329. а) 1 мм<sup>2</sup>; б) 0,17 Ом. 330. Вольтамперной характеристике металлического провода соответствует график, отмеченный цифрой 1. 331. Не может. 332. а)  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$ ; б)  $U_1 = 10$  В;  $U_2 = 30$  В. 333. а) 8 В; б) 2 А; в)  $R_1 = 2$  Ом;  $R_2 = 4$  Ом. 334. Не может. 335. а)  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ ; б)  $I_1 = 3$  А;  $I_2 = 1$  А. 336. а) Параллельно. б) 2 А; в)  $R_1 = 6$  Ом;  $R_2 = 3$  Ом. 337.  $U_1 = 15$  В;  $U_2 = 5$  В.

### Работа и мощность тока

338. а) Для сравнения количества теплоты, выделившегося в последовательно соединённых проводниках, удобнее использовать формулу  $Q = I^2 R t$ ; б)  $Q_2 = 2,4$  кДж. в)  $I_1 = I_2 = 1$  А. 339. а) Для сравнения количества теплоты, выделившегося в параллельно соединённых проводниках, удобнее использовать формулу  $Q = \frac{U^2}{R} t$ ; б)  $Q_2 = 150$  Дж; в)  $U_1 = U_2 = 1$  В. 340. а) Если проводники соединены параллельно,  $\frac{R_1}{R_2} = 4$ ; б) Если проводники соединены последовательно,  $\frac{R_1}{R_2} = 0,25$ . 341. а) Для сравнения значений мощности в последовательно соединённых проводниках удобнее использовать формулу  $P = I^2 R$ ; б)  $P_2 = 36$  Вт; в)  $I_1 = I_2 = 3$  А. 342. а) Для сравнения значений мощности в параллельно соединённых проводниках удобнее использовать формулу  $P = \frac{U^2}{R}$ ; б)  $P_2 = 16$  Вт; в)  $U_1 = U_2 = 8$  В. 343. а) 24,2 Ом; б) 9,1 А; в) за 2 мин 48 с. 344. Максимальная мощность выделяется при параллельном соединении элементов, она выражается формулой  $P = \frac{U^2(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}$ . Минимальная (не равная нулю) мощность выделяется при последовательном соединении элементов, она выражается формулой  $P = \frac{U^2}{R_1 + R_2}$ .

### Закон Ома для полной цепи

345. а) 2 Ом; б) 6 В. 347. а) 6 В; б) 3 Ом. 348.  $\mathcal{E} = 12$  В;  $r = 2$  Ом. 349. а)  $R_1 = 0$ ;  $R_2 = 4$  Ом; б) Увеличилось в 2 раза; в) 4 Ом. 350. а) 2 Ом; 8 Ом; 198 Ом; б) 3 А; 1,2 А; 0,06 А; в) чем ближе КПД источника тока к 100 %, тем больше сопротивление внешней цепи и тем меньше сила тока в цепи. Когда КПД источника тока стремится к 100 %, сопротивление внешней цепи стремится к бесконечности, а сила тока в цепи стремится к нулю — это соответствует размыканию цепи.

### Дополнительные примеры расчёта электрических цепей

351. а) Параллельно соединённые резисторы 1 и 2 можно заменить одним резистором сопротивлением  $R_{12} = \frac{2}{3}$  Ом. Последовательно соединённые резисторы 4 и 5 можно заменить одним резистором сопротивлением  $R_{45} = 9$  Ом; б) последовательно соединённые резисторы  $R_{12}$  и  $R_3$  можно заменить одним резистором  $R_{123} = 3\frac{2}{3}$  Ом. После этого параллельно соединённые резисторы  $R_{123}$  и  $R_{45}$  можно заменить одним резистором, сопротивление которого равно сопротивлению данного участка цепи; в)  $R = \frac{99}{38}$  Ом. 352.  $R = \frac{19}{26}$  Ом. 353. а) Равны нулю

разность потенциалов между точками А и С, а также разность потенциалов между точками В и D, потому что точки каждой пары этих точек соединены проводом с пренебрежимо малым сопротивлением; б) см. рисунок 9. Точка АС представляет собой «объединение» точек А и С, а точка ВD — «объединение» точек В и D. Обратите внимание: резисторы 1, 2, 3 на самом деле соединены параллельно, хотя при первом взгляде на схему можно было решить, что они

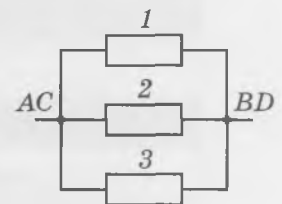


Рис. 9

соединены последовательно; в)  $R = \frac{6}{11}$  Ом. 354. а) Равна нулю разность потенциалов между точками  $B$  и  $D$ , потому что они соединены проводом. Обратите внимание: разность потенциалов между точками  $A$  и  $C$  в данном случае не равна нулю! б) См. рисунок 10. в)  $R = \frac{13}{16}$  Ом.

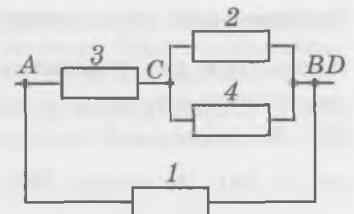


Рис. 10

355.  $P = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2}$ . 356.  $P = (\mathcal{E} - Ir)I$ . 357. а) Функция  $P(I)$  достигает

максимума при  $I = \frac{\mathcal{E}}{2r}$ . б) При  $R = r$ . 358. 80 %. 359. Через конденсатор не может течь *постоянный* электрический ток. 360. а) 12 В; б) напряжение между точками  $B$  и  $D$  равно нулю; в) 12 В;

г)  $2,4 \cdot 10^{-5}$  Кл. 361. а)  $U = \frac{\mathcal{E}R}{R + r} = 20$  В; б)  $q = \frac{\mathcal{E}RC}{R + r} = 80$  нКл. 362. а) Ток будет течь через источник

тока и резисторы 1, 3. б)  $R = R_1 + R_3 = 11$  Ом. в) 12 Ом. г) 0,5 А. д) 4 В. е) 4 В. ж) 32 мкКл. з) Отрицательный.

### Электрический ток в полупроводниках

363. Совпадает. 364. а) Сурьма, фосфор; б) индий, скандий, галлий. 365. а) 6 Ом; б) 16 Вт; 67 %; в) 18 Вт; 50 %.

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

### МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
тера	Т	$10^{12}$	деци	д	$10^{-1}$
гига	Г	$10^9$	санتي	с	$10^{-2}$
мега	М	$10^6$	милли	м	$10^{-3}$
кило	к	$10^3$	микро	мк	$10^{-6}$
гекто	г	$10^2$	нано	н	$10^{-9}$
дека	да	10	пико	п	$10^{-12}$

### НЕКОТОРЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ

Длина окружности  $l = \pi D = 2\pi R$

Площадь круга  $S = \frac{\pi D^2}{4} = \pi R^2$

Площадь поверхности шара  $S = 4\pi R^2$

Объём шара  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

Объём прямоугольного параллелепипеда  $V = abc$

Объём цилиндра  $V = Sh = \pi R^2 h$

### НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ, СОЛНЦЕ И ЛУНЕ<sup>1)</sup>

Радиус Земли	6400 км
Радиус Солнца	700 000 км
Радиус Луны	1 740 км
Расстояние от Земли до Солнца	150 млн км
Расстояние от Земли до Луны	380 000 км
Период обращения Луны вокруг Земли	27,3 сут.
Масса Земли	$6 \cdot 10^{24}$ кг
Масса Солнца	$2 \cdot 10^{30}$ кг
Масса Луны	$7,3 \cdot 10^{22}$ кг

<sup>1)</sup> Приведены с округлением.

### НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Элементарный электрический заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 0,00055 \text{ а.е.м.}$
Масса протона	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00728 \text{ а.е.м.}$
Масса нейтрона	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00866 \text{ а.е.м.}$
Электронвольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

### ПЛОТНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

Вещество	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Алюминий	2700
Вода	1000
Железо	7800
Золото	19300
Керосин	800
Лёд	900
Медь	8900
Нефть	800
Ртуть	13600
Свинец	11300
Сталь	7800
Чугун	7000

### ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Сталь по льду	0,015
Сталь по стали	0,03—0,09
Дерево по дереву	0,2—0,5
Шины по сухому асфальту	0,5—0,7
Шины по мокрому асфальту	0,35—0,45
Шины по гладкому льду	0,15—0,20

## ПСИХРОМЕТРИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С					
	0	1	2	3	4	5
	Относительная влажность, %					
20	100	91	83	74	66	59
21	100	91	83	75	67	60
22	100	92	83	76	68	61
23	100	92	84	76	69	61
24	100	92	84	77	69	62
25	100	92	84	77	70	63
26	100	92	85	78	71	64
27	100	92	85	78	71	65
28	100	93	85	78	72	65
29	100	93	86	79	72	66
30	100	93	86	79	73	67

### ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ВОДЯНОГО ПАРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Температура $t$ , °С	Давление $p_n$ , кПа
0	0,61
3	0,76
6	0,93
10	1,23
15	1,71
17	1,93
18	2,07
19	2,20
20	2,33
25	3,17
30	4,24
50	12,34
80	47,3
90	70,11
100	100

ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ	
УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ	
Вещество	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Алюминий	900
Вода	4200
Железо, сталь	460
Лёд	2100
Медь	400
Свинец	130
Удельная теплота парообразования воды	2,3 МДж/кг
Удельная теплота плавления льда	$3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг
Температура плавления свинца	327 °С

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ	
Вещество	Диэлектрическая проницаемость
Вода	81
Воздух	1
Керамика	20
Керосин	2,1
Парафин	2
Слюда	7,5
Спирт	26
Эбонит	3

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	
Вещество	$10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Никелин	0,42
Алюминий	0,028
Медь	0,017
Сталь	0,12
Нихром	1,1
Латунь	0,071

ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ	
Вещество	
Алмаз	2,4
Вода	1,33
Спирт этиловый	1,36
Стекло	1,5

РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ			
Вещество	эВ	Вещество	эВ
Платина	6,3	Цезий	1,8
Оксид бария	1,0	Цинк	4,2
Серебро	5,3	Кальций	2,6

**ОТНОСИТЕЛЬНАЯ АТОМНАЯ МАССА НЕКОТОРЫХ ИЗОТОПОВ<sup>1)</sup>**

Изотоп	Масса нейтрального атома, а. е. м.	Изотоп	Масса нейтрального атома, а. е. м.
$^1_1\text{H}$ (водород)	1,00783	$^{12}_6\text{C}$ (углерод)	12,00000
$^2_1\text{H}$ (дейтерий)	2,01410	$^{13}_6\text{C}$ (углерод)	13,00335
$^3_1\text{H}$ (тритий)	3,01605	$^{14}_7\text{N}$ (азот)	14,00307
$^3_2\text{He}$ (гелий)	3,01602	$^{15}_7\text{N}$ (азот)	15,00011
$^4_2\text{He}$ (гелий)	4,00260	$^{17}_8\text{O}$ (кислород)	16,99913
$^6_3\text{Li}$ (литий)	6,01513	$^{27}_{13}\text{Al}$ (алюминий)	26,98146
$^7_3\text{Li}$ (литий)	7,01601	$^{30}_{14}\text{Si}$ (кремний)	29,97376
$^8_4\text{Be}$ (бериллий)	8,00531	$^{226}_{88}\text{Ra}$ (радий)	226,02435
$^{10}_5\text{B}$ (бор)	10,01294	$^{238}_{92}\text{U}$ (уран)	238,05077
$^{11}_5\text{B}$ (бор)	11,00931		

ТАБЛИЦА Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Период	Ряд	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ													
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII						
I	1	(H)						H <sup>1</sup> 1,00797 Водород	He <sup>2</sup> 4,0026 Гелий	Обозначение элемента		Атомный номер			
II	2	Li <sup>3</sup> 6,939 Литий	Be <sup>4</sup> 9,0122 Бериллий	B <sup>5</sup> 10,811 Бор	C <sup>6</sup> 12,01115 Углерод	N <sup>7</sup> 14,0067 Азот	O <sup>8</sup> 15,9994 Кислород	F <sup>9</sup> 18,9984 Фтор	Ne <sup>10</sup> 20,179 Неон	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">           Li<sup>3</sup> 6,939 Литий         </div>		Относительная атомная масса			
III	3	Na <sup>11</sup> 22,9898 Натрий	Mg <sup>12</sup> 24,305 Магний	Al <sup>13</sup> 26,9815 Алюминий	Si <sup>14</sup> 28,086 Кремний	P <sup>15</sup> 30,9738 Фосфор	S <sup>16</sup> 32,064 Сера	Cl <sup>17</sup> 35,453 Хлор	Ar <sup>18</sup> 39,948 Аргон						
IV	4	K <sup>19</sup> 39,102 Калий	Ca <sup>20</sup> 40,08 Кальций	21 44,956 Sc Скандий	22 47,90 Ti Титан	23 50,942 V Ванадий	24 51,996 Cr Хром	25 54,9380 Mn Марганец	26 55,847 Fe Железо	27 58,9330 Co Кобальт	28 58,71 Ni Никель				
	5	29 63,546 Cu Медь	30 65,37 Zn Цинк	31 69,72 Ga Галлий	32 72,59 Ge Германий	33 74,9216 As Мышьяк	34 78,96 Se Селен	35 79,904 Br Бром	36 83,80 Kr Криптон						
V	6	Rb <sup>37</sup> 85,47 Рубидий	Sr <sup>38</sup> 87,62 Стронций	39 88,905 Y Иттрий	40 91,22 Zr Цирконий	41 92,906 Nb Ниобий	42 95,94 Mo Молибден	43 [99] Tc Технеций	44 101,07 Ru Рутений	45 102,905 Rh Родий	46 106,4 Pd Палладий				
	7	47 107,868 Ag Серебро	48 112,40 Cd Кадмий	49 114,82 In Индий	50 118,69 Sn Олово	51 121,75 Sb Сурьма	52 127,60 Te Теллур	53 126,9044 I Иод	54 131,30 Xe Ксенон						
VI	8	Cs <sup>55</sup> 132,905 Цезий	Ba <sup>56</sup> 137,34 Барий	57 138,91 La* Лантан	72 178,49 Hf Гафний	73 180,948 Ta Тантал	74 183,85 W Вольфрам	75 186,2 Re Рений	76 190,2 Os Осмий	77 192,2 Ir Иридий	78 195,09 Pt Платина				
	9	79 196,967 Au Золото	80 200,59 Hg Ртуть	81 204,37 Tl Таллий	82 207,19 Pb Свинец	83 208,980 Bi Висмут	84 [210]* Po Полоний	85 [210] At Астат	86 [222] Rn Радон						
VII	10	87 [223] Fr Франций	88 [226] Ra Радий	89 [227] Ac** Актиний	104 [261] Rf Резерфордий	105 [262] Db Дубний	106 [263] Sg Сиборгий	107 [262] Bh Борий	108 [265] Hs Хассий	109 [266] Mt Мейтнерий	110				
		58 140,12 Ce Церий	59 140,907 Pr Празеодим	60 144,24 Nd Неодим	61 [147]* Pm Прометий	62 150,35 Sm Самарий	63 151,96 Eu Европий	64 157,25 Gd Гадолиний	65 158,924 Tb Тербий	66 162,50 Dy Диспрозий	67 164,930 Ho Гольмий	68 167,26 Er Эрбий	69 168,934 Tm Тулий	70 173,04 Yb Иттербий	71 174,97 Lu Лютеций
		90 232,038 Th Торий	91 [231] Pa Протактиний	92 238,03 U Уран	93 [237] Np Нептуний	94 [244] Pu Плутоний	95 [243] Am Америций	96 [247] Cm Кюрий	97 [247] Bk Берклий	98 [252]* Cf Калифорний	99 [254] Es Эйнштейний	100 [257] Fm Фермий	101 [257] Md Менделевий	102 [255] No Нобелий	103 [256] Lr Лоуренсий

# Содержание

ТОМУ, КТО ХОЧЕТ НАУЧИТЬСЯ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ .....	3
ТОМУ, КТО ХОЧЕТ НАУЧИТЬ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ .....	3
«ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ .....	4
ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ КУРСА ФИЗИКИ 10 КЛАССА.....	5
ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ КУРСА ФИЗИКИ 11 КЛАССА.....	6
<b>ЭЛЕКТРОДИНАМИКА</b>	
<b>Магнитное поле</b>	
Магнитные взаимодействия. Магнитное поле .....	7
Закон Ампера .....	13
Примеры применения закона Ампера.....	18
Сила Лоренца .....	22
<b>Электромагнитная индукция</b>	
Явление электромагнитной индукции .....	27
Закон электромагнитной индукции.....	33
Самоиндукция. Энергия магнитного поля .....	38
<b>КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ</b>	
<b>Колебания</b>	
Свободные механические колебания.....	43
Динамика механических колебаний.....	48
Энергия механических колебаний. Вынужденные колебания.....	53
Колебательный контур.....	57
Переменный электрический ток .....	60
<b>Волны</b>	
Механические волны. Звук .....	64
Электромагнитные волны.....	66
Передача информации с помощью электромагнитных волн.....	67
<b>ОПТИКА</b>	
<b>Геометрическая оптика</b>	
Законы геометрической оптики.....	69
Линзы. Построение изображений в линзах .....	77
Глаз и оптические приборы .....	85
<b>Волновая оптика</b>	
Интерференция волн.....	88
Дифракция волн .....	93
Дисперсия света.....	96
<b>Элементы теории относительности</b>	
Основные положения специальной теории относительности.....	97
Энергия тела. Энергия покоя .....	98
<b>КВАНТОВАЯ ФИЗИКА</b>	
<b>Кванты и атомы</b>	
Фотоэффект. Фотоны .....	100
Строение атома. Атомные спектры.....	105

<b>Атомное ядро и элементарные частицы</b>	
Атомное ядро. Радиоактивность .....	108
Ядерные реакции. Ядерная энергетика .....	112
Элементарные частицы .....	114

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ  
К ВСЕРОССИЙСКИМ ПРОВЕРОЧНЫМ РАБОТАМ  
И ЕДИНОМУ ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭКЗАМЕНУ**

**МЕХАНИКА**

**Кинематика**

Система отсчёта, траектория, путь и перемещение .....	116
Прямолинейное равномерное движение. Сложение скоростей .....	117
Прямолинейное равноускоренное движение .....	120
Движение с ускорением свободного падения .....	122
Равномерное движение по окружности .....	125

**Динамика**

Три закона Ньютона .....	127
Силы тяготения .....	127
Силы упругости .....	129
Силы трения .....	131
Тело на наклонной плоскости .....	134
Равномерное движение по окружности под действием нескольких сил .....	136
Движение системы тел .....	137

**Законы сохранения в механике**

Импульс. Закон сохранения импульса .....	141
Применение закона сохранения импульса .....	142
Механическая работа. Мощность .....	145
Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия .....	146
Закон сохранения энергии в механике .....	146
Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости .....	148
Применение законов сохранения в механике к движению нескольких тел или системы тел .....	151

**Статика и гидростатика**

Условия равновесия тела .....	154
Центр тяжести .....	156
Равновесие жидкости и газа .....	157

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА**

**Молекулярная физика**

Строение вещества .....	159
Изопроцессы и другие газовые процессы .....	160
Уравнение состояния идеального газа .....	161
Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул .....	163
Насыщенный пар. Влажность .....	164

**Термодинамика**

Первый закон термодинамики .....	165
Применение первого закона термодинамики к газовым процессам .....	166
Тепловые двигатели. Второй закон термодинамики .....	169
Фазовые переходы .....	170

## **ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ТОК**

### **Электростатика**

Электрические взаимодействия .....	172
Напряжённость электрического поля. Линии напряжённости .....	173
Проводники и диэлектрики в электрическом поле .....	175
Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение) .....	176
Ёмкость. Энергия электрического поля .....	178

### **Постоянный электрический ток**

Закон Ома для участка цепи .....	180
Работа и мощность тока .....	182
Закон Ома для полной цепи .....	183
Дополнительные примеры расчёта электрических цепей .....	184
Электрический ток в полупроводниках .....	187

## **УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ**

Электродинамика .....	188
Колебания и волны .....	191
Оптика .....	193
Квантовая физика .....	198
Механика .....	200
Молекулярная физика и термодинамика .....	205

## **ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ**..... 207

## **СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ** ..... 231

Генденштейн Лев Элевич,  
Булатова Альбина Александровна и др.

## **ФИЗИКА**

11 класс

Базовый и углубленный уровни  
Задачник

Редактор *Г. Ершова*. Методист *Н. Лукиенко*  
Оформление *Н. Новак*. Художник *Ю. Корчмарь*  
Технический редактор *Е. Денюкова*. Корректор *И. Копылова*  
Компьютерная вёрстка *А. Борисенко*

Подписано в печать 26.01.18. Формат 84×108/16. Усл. печ. л. 19,5.  
Тираж 3000 экз. Заказ № м5946.

ООО «БИНОМ. Лаборатория знаний»  
127473, Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 1,  
тел. (495)181-53-44, e-mail: binom@lbz.ru, <http://lbz.ru>, <http://metodist.lbz.ru>

Отпечатано в филиале «Смоленский полиграфический комбинат»  
ОАО «Издательство «Высшая школа». 214020, Смоленск, ул. Смольянинова, 1.  
Тел.: +7 (4812) 31-11-96. Факс: +7 (4812) 31-31-70  
E-mail: [spk@smolpk.ru](mailto:spk@smolpk.ru) <http://www.smolpk.ru>