

## **ЗАДАЧНИК ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ: ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, КОЛЕБАНИЯ, ОПТИКА.**

Издательство Всероссийской школы математики и физики "АВАНГАРД", 1992. - 68 с.

Задачник содержит более 200 задач и вопросов, предлагавшихся на экзаменах в вузах. Большинство задач не требует сложных математических выкладок, что позволяет учащемуся сосредоточиться на понимании физических законов и закономерностей. Особое внимание уделено графическим приемам решения задач.

Задачи разделены на три группы по степени сложности, что дает возможность учащемуся контролировать уровень своих знаний по физике. Задачи снабжены ответами, а наиболее важные - решениями.

Для поступающих в вузы, учащихся и преподавателей средней школы, учащихся физико-математических школ.

### **ОГЛАВЛЕНИЕ**

Предисловие	3
Глава 1. Электричество и магнетизм	5
1.1. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Потенциал	5
1.2. Проводники и диэлектрики в электрическом поле	9
1.3. Емкость. Конденсаторы	12
1.4. Постоянный ток	15
1.5. Электромагнетизм	19
Глава 2. Колебания и волны	23
2.1. Механические колебания и волны	23
2.2. Переменный ток. Электромагнитные колебания и волны	29
Глава 3. Оптика	32
3.1. Геометрическая оптика	32
3.2. Волновые и квантовые свойства света	36
Ответы	39
Приложение	60

### **Дорогие друзья!**

Книга, которая лежит перед Вами - уникальная. Несколько лет Вы учили физику в средней школе и, пожалуй, главное, что Вы поняли - это то, что физика - наука очень сложная, и ученику со средними способностями она "не по зубам". Не так ли? Так вот эта книга докажет обратное: физика - наука простая и лично Вы вполне сможете в ней разобраться!

Главное, что беспокоит абитуриентов перед вступительными экзаменами, - это неопределенность: "А вдруг спросят что-нибудь такое...". Не пугайтесь! Ничего "такого" не будет: в подавляющем большинстве вузов из года в год задают одни и те же ключевые вопросы, как правило, простые по форме, но с подвохами, про которые не знают непосвященные. Эта книга раскроет Вам практически все "тайны" экзаменаторов. Очень беспокоит абитуриентов и то, что они не знают, как подступиться к задаче: "Мы таких в школе не проходили...". При этом многие считают, что экзаменационных задач бесконечно много, а вы зубрить все наизусть пустая затея. Поверьте, что это не так! На экзаменах дают задачи вполне определенных типов, которых не так уж и много. А подход к каждому типу задач мы Вам объясним и тут же дадим возможность убедиться в том, что Вы все правильно поняли, предложив решить аналогичную задачу.

Книга содержит более 200 задач и вопросов по электричеству, колебаниям и оптике (задачник по механике и молекулярной физике вышел раньше, но при желании Вы можете его приобрести, обратившись по адресу, указанному ниже). Задачи разделены на три группы по уровню сложности (А, В и С).

Что значит уровень "А"? Это уровень вузов, в которых физика не является профилирующим предметом: текстильные, сельскохозяйственные, медицинские, пищевые, химические и т.п. Уровень "В" соответствует требованиям большинства технических вузов, таких как МАТИ, МАДИ, МЭИ, МГТУ им. Баумана, практически всех

областных политехнических институтов. Уровень "С" - это уже МГУ, МИФИ, МИРЭА ...

Единственное, в чем книга не сможет Вам помочь, - это в проверке решения. Но если Вы учитесь в 9, 10, 11 классе или уже закончили школу и собираетесь в ВУЗ, Вы всегда можете обратиться во Всероссийскую Заочную Школу Математики и Физики "Авангард", причем сделать это можно в любое время года. Наши преподаватели с радостью помогут Вам. Для того, чтобы записаться в Школу, достаточно прислать заявку в произвольной форме по адресу:

115551, г.Москва, Ореховый бульвар, д.11, корп. 3, ВШМФ "Авангард".

*Желаем успеха!*

## Глава 1. Электричество и магнетизм

### 1.1. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Потенциал

#### Программа А.

А.1. В вершинах равностороннего треугольника расположены одинаковые заряды  $+Q$  (рис. 1.1): а) покажите направление силы, действующей на заряд, находящийся в вершине  $B$ ; б) изменится ли это направление, если в точку  $C$  поместить заряд  $-Q$ ?

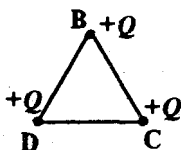


Рис. 1.1

А.2. Определите величину силы, действующей на каждый из зарядов  $+Q$  (рис. 1.1), если сторона треугольника равна  $a$ .

А.3. В какую сторону будет двигаться заряд  $q$  помещенный в электрическое поле (рис. 1.2)? Рассмотреть случаи: а)  $q > 0$ ; б)  $q < 0$ . Будет ли движение заряда равномерным?

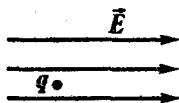


Рис. 1.2

А.4. Является ли электрическое поле точечного заряда  $Q$  однородным? Будет ли движение точечного заряда  $q$ , помещенного в это поле, равномерным? Равноускоренным (равнозамедленным)?

А.5. Как будет двигаться небольшое тело с зарядом  $q$ , помещенное в поле бесконечной заряженной плоскости? Силой тяжести пренебречь.

А.6. Два заряда  $+Q$  и  $-Q$  находятся на расстоянии  $2a$  друг от друга (рис. 1.3). Определите потенциал поля в точках  $B$  и  $C$ .



Рис. 1.3

А.7. Два одинаковых по величине точечных заряда находятся на расстоянии  $r_1$  друг от друга. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния  $r_2$ ,

если: а) заряды имеют одинаковый знак; б) заряды имеют разный знак?

- А.8. Определите величину разности потенциалов между точками  $A$  и  $B$ ,  $A$  и  $C$ , расположенными в однородном электрическом поле напряженностью  $E$  (рис. 1.4).



Рис. 1.4

### Программа В.

- В.1. Найдите зависимость угловой скорости вращения электрона вокруг ядра в атоме водорода от радиуса орбиты электрона. Постройте график этой зависимости.
- В.2. Два точечных заряда, одинаковые по модулю и противоположные по знаку ( $Q_1 > 0$ ,  $Q_2 < 0$ ), расположены так, как показано на рисунке 1.5. Как направлено ускорение электрона, пролетающего через точку  $A$  с координатами  $(0,1)$  и точку  $B$  с координатами  $(3,0)$ ?

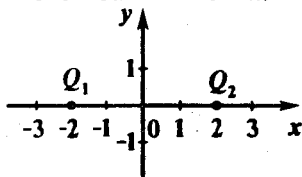


Рис. 1.5

- В.3. В каком случае заряженная частица будет двигаться в электрическом поле вдоль силовых линий?
- В.4. Постройте графики зависимости модуля напряженности и потенциала электрического поля от расстояния до центра: а) заряженного проводящего шара; б) заряженной сферы. Как изменится ответ, если в шаре имеется полость?
- В.5. Во сколько раз изменится напряженность и потенциал электрического поля в центре равномерно заряженного тонкого кольца, если его радиус увеличить вдвое, а заряд вдвое уменьшить?

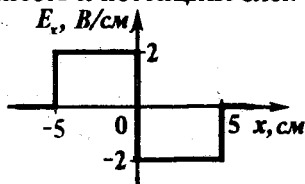


Рис. 1.6

- В.6. Вектор электрического поля  $E$  направлен вдоль оси  $OX$ , и его проекция на эту ось зависит от координаты  $x$  так, как показано на рисунке 1.6. Найти разность потенциалов между точками  $x_1 = -1$  см и  $x_2 = 6$  см. Какая система заряженных тел могла бы быть источником такого поля?

- В.7.** Могут ли силовые линии электростатического поля быть замкнутыми? Почему?
- В.8.** Электрон вылетает из точки поля, потенциал которой равен  $\varphi_0$ . Направления начальной скорости электрона  $v_0$  и напряженности поля совпадают. Определите потенциал точки, в которой он повернет обратно. Массу  $m$  и заряд  $e$  электрона считать известными.
- В.9.** Какую работу нужно совершить, чтобы собрать систему из трех зарядов (рис. 1.7), если первоначально они находятся в бесконечно удаленных друг от друга точках?
- В.10.** Какой скоростью должны обладать электроны в пучке, чтобы с помощью этого пучка можно было зарядить шар радиуса  $R$  до заряда  $Q$ ?

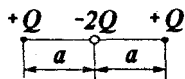


Рис. 1.7

### Программа С.

- С.1.** Проводник длины  $l$  движется поступательно с ускорением  $a$  (рис. 1.8). Чему равна разность потенциалов на его концах?

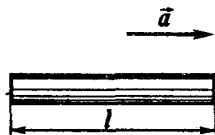


Рис. 1.8

- С.2.** Металлический стержень массы  $m$  может совершать гармонические колебания на пружине жесткости  $k$  (рис. 1.9). В момент  $t=0$  он проходит положение равновесия. Определите моменты времени, в которые разность потенциалов на его концах достигает максимального значения.



Рис. 1.9

- С.3.** На рисунке 1.10 дана картина силовых линий электростатического поля. Нарисуйте картину эквипотенциальных поверхностей и определите, в какой из точек,  $A$  или  $B$ , потенциал

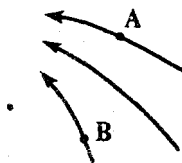


Рис. 1.10

выше. В какой из них величина напряженности поля больше?

**С.4.** Две стороны правильного треугольника образованы одинаковыми равномерно заряженными палочками. При этом в центре  $O$  треугольника (на пересечении медиан) потенциал равен  $\phi_0$ , а напряженность электрического поля равна  $E_0$ . Найти потенциал  $\phi$ , а также модуль и направление вектора напряженности  $\vec{E}$ , которые будут в точке  $O$ , если убрать одну из палочек.

**С.5.** Зависимость потенциала электростатического поля от координаты  $x$  представлена на рисунке 1.11. Постройте график зависимости проекции напряженности электростатического поля  $E_x$  от координаты  $x$  и изобразите систему тел, которые могли бы создать такое поле.

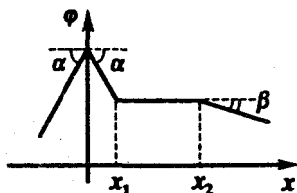


Рис. 1.11

**С.6.** Шарик массой  $m$  и зарядом  $q$ , подвешенный на изолирующей нити, помещен в однородное горизонтальное электрическое поле напряженностью  $E$  (рис. 1.12). Каким должно быть соотношение между  $q$ ,  $E$ ,  $m$  и  $g$ , чтобы шарик, будучи отпущен из крайнего нижнего положения (точка  $B$ ), смог подняться до положения, в котором нить горизонтальна (точка  $C$ )?

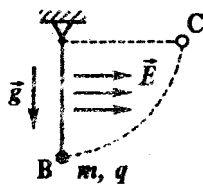


Рис. 1.12

**С.7.** Жесткое тонкое непроводящее кольцо, расположенное в горизонтальной плоскости, может свободно вращаться вокруг своей вертикальной неподвижно закрепленной оси (рис. 1.13). Кольцо равномерно заряжено и имеет около точки  $A$  небольшой зазор. Что произойдет с кольцом после включения

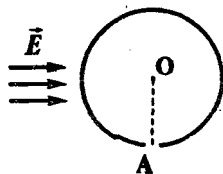


Рис. 1.13

электрического поля, направленного перпендикулярно  $OA$ ? Как изменится максимальная скорость точек кольца, если зазор увеличить вдвое?

С.8. Три одинаковых шарика с одинаковыми зарядами помещены в вершинах равностороннего треугольника. В первом случае все три шарика одновременно предоставляются самим себе. Во втором случае отпускается лишь один из шариков, а два остальных удерживаются в покое. В каком случае скорость отпущенных шариков будет больше и во сколько раз?

С.9. Какую работу нужно совершить, чтобы повернуть диполь на  $180^\circ$  вокруг его оси в поле точечного заряда  $Q$  (рис. 1.14)?

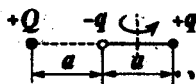


Рис. 1.14

## 1.2. Проводники и диэлектрики в электрическом поле

### Программа А.

- А.1. Два точечных заряда взаимодействуют между собой в вакууме с силой  $F_1 = 10^{-5} \text{ Н}$ , а на таком же расстоянии в некоторой среде - с силой  $F_2 = 4 \times 10^{-6} \text{ Н}$ . Чему равна диэлектрическая проницаемость среды?
- А.2. Два маленьких одинаковых металлических равнозаряженных шарика подвешены в одной точке на двух нитях равной длины. Изобразите их расположение, если: а) вся система находится в воздухе; б) вся система погружена в керосин (диэлектрик). Силой Архимеда пренебречь.
- А.3. Металлическая пластинка толщины  $d$  помещена в однородное электрическое поле перпендикулярно силовым линиям. Изобразите картину силовых линий. Чему равна напряженность поля внутри пластинки?
- А.4. Пластинка из диэлектрика ( $\epsilon = 2$ ) помещена в однородное электрическое поле напряженностью  $E_0$  перпендикулярно силовым линиям. Чему равна напряженность поля внутри диэлектрика? Изобразите картину силовых линий.



- A.5. Два шарика с зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$  соединяют тонкой проволокой. В какую сторону будет протекать по ней заряд, если  $Q_1 > Q_2$ , а потенциалы шаров находятся в соотношении:  $\varphi_2 > \varphi_1$ ?
- A.6. Два одинаково заряженных металлических шарика с радиусами  $R_1$  и  $R_2$  соединяют тонкой проволокой. В каком соотношении будут находиться заряды шаров, если проволоку убрать?

### Программа В.

- B.1. Металлический незаряженный шар помещен в однородное электрическое поле. Изобразите картину силовых линий и эквипотенциальных поверхностей.
- B.2. а) Чему равна диэлектрическая проницаемость металла?  
б) Как ведет себя вещество с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 1$  во внешнем электрическом поле?
- B.3. Как будет вести себя незаряженный проводящий шарик, помещенный в неоднородное электрическое поле (рис. 1.15)?
- B.4. Точечный заряд  $q$  находится на расстоянии  $a$  от бесконечной заземленной плоскости. Нарисуйте картину силовых линий. Чему равна сила взаимодействия между зарядом и плоскостью?
- B.5. Точечный заряд помещен в центре проводящей сферы. Как изменится потенциал и напряженность в некоторой точке вне сферы, если точечный заряд сместить из центра сферы в направлении этой точки?
- B.6. Имеются две проводящие концентрические сферы. В каком случае разность потенциалов между сферами будет больше, если: а) внутренней сфере сообщен заряд  $Q$ , а внешняя заземлена; б) внешней сфере сообщен заряд  $Q$ , а внутренняя заземлена?
- B.7. Постройте графики зависимости напряженности и потенциала электрического поля от расстояния для следующей сис-

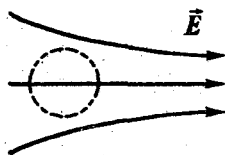


Рис. 1.15

темы: точечный заряд  $+Q$  находится в центре металлической сферической оболочки, к которой примыкает сферическая оболочка из диэлектрика (рис. 1.16).

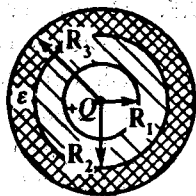


Рис. 1.16

- В.8.** Металлический заряженный шар окружат тонкой проводящей оболочкой большего радиуса. Если на короткое время соединить шар с оболочкой проводником, то потенциал шара станет равным  $\phi_1$ . Если вместо этого заземлить оболочку, то он станет равным  $\phi_2$ . Чему был равен первоначальный потенциал шара?

### Программа С.

- С.1.** Металлический незаряженный шар помещен на некотором расстоянии от точечного заряда. Будет ли он двигаться, если его предоставить самому себе? Зависит ли ответ от знака заряда?

- С.2.** Две параллельные металлические пластинки площадью  $S$  помещены в однородное электрическое поле напряженностью  $E$  перпендикулярно силовым линиям (рис. 1.17). Пластинки замыкают проводником коротко. Какой заряд протечет по проводнику после замыкания?

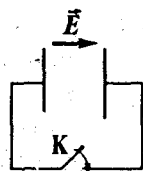


Рис. 1.17

- С.3.** Три бесконечные металлические пластины расположены параллельно друг другу. Средняя пластина заряжена с поверхностной плотностью  $\sigma$ , расстояния от нее до двух других незаряженных пластин равны  $d_1$  и  $d_2$ . Какой будет поверхностная плотность заряда на этих двух пластинах при их одновременном заземлении?

- С.4.** Металлическая незаряженная пластина площадью  $S$  и толщиной  $d$  помещена в однородное электрическое поле напряженностью  $E$  перпендикулярно силовым линиям. Какое количество теплоты выделится в пластине после выключения поля?

**С.5.** Пластина из диэлектрика толщины  $a$  с проницаемостью  $\epsilon$  помещена в однородное электрическое поле напряженностью  $E_0$ , перпендикулярно силовым линиям. Постройте графики напряженности и потенциала электрического поля в зависимости от расстояния, отсчитываемого от плоскости симметрии пластины.

**С.6.** В однородном электрическом поле находится проводник, суммарный заряд которого равен нулю. Как изменится поверхностная плотность заряда на соответствующих участках проводника, если все его размеры уменьшить в  $n$  раз?

### 1.3. Емкость. Конденсаторы

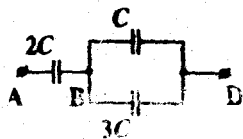
#### Программа А.

**А.1.** Размеры пластин плоского конденсатора уменьшили в два раза. Как следует изменить расстояние между пластинами, чтобы емкость конденсатора осталась прежней?

**А.2.** Воздушный конденсатор с квадратными пластинами заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4$ . Во сколько раз нужно изменить длину пластин, чтобы емкость конденсатора осталась прежней?

**А.3.** Два конденсатора соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения. Как соотносятся между собой напряжения на конденсаторах, если емкость одного из них в два раза больше емкости другого?

**А.4.** Определите емкость системы конденсаторов (рис. 1.18). На каком из участков:  $AB$  или  $BD$  разность потенциалов больше? Во сколько раз?



**А.5.** Два конденсатора соединены параллельно и подключены к источнику постоянного напряжения. Как соотносятся между собой заряды конденсаторов, если емкость одного из них в два раза больше емкости другого?

Рис. 1.18

- А.6. Известны формулы для расчета энергии заряженного конденсатора:  $W=CU^2/2$  и  $W=q^2/2C$ . При увеличении емкости согласно первой формуле энергия конденсатора увеличивается, а согласно второй формуле - уменьшается. Объясните противоречие.

### Программа В.

- В.1. Половину объема плоского конденсатора заполняют диэлектриком двумя различными способами (рис. 1.19). Нарисуйте картину силовых линий в каждом случае и определите, какой из способов выгоднее с точки зрения увеличения емкости.

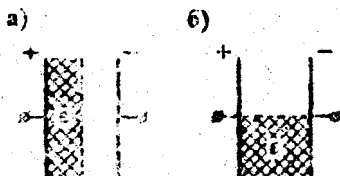


Рис. 1.19

- В.2. С какой силой притягиваются друг к другу обкладки плоского конденсатора, если площадь обкладок  $S$  и заряд конденсатора  $q$ .

- В.3. В пространство между обкладками плоского конденсатора вносят незаряженную металлическую пластину (рис. 1.20). Площадь пластины и обкладок конденсатора одинакова. Во сколько раз изменится емкость конденсатора, если толщина пластины составляет  $1/4$  часть от расстояния между обкладками.

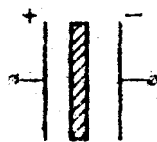


Рис. 1.20

- В.4. Как изменится емкость плоского воздушного конденсатора с обкладками размером  $a \times a$  и расстоянием  $d$  между ними, если в зазор между его обкладками внести металлическую пластину с размерами  $(a/2) \times (a/2)$  и толщиной  $d/2$  параллельно обкладкам? Изобразите картину силовых линий электрического поля в таком конденсаторе.
- В.5. Как изменится емкость конденсатора в условиях задачи В.3, если пластинка сделана из диэлектрика ( $\epsilon=2$ )?
- В.6. Конденсатор емкости  $C$  без диэлектрика имеет заряд  $q$ . Какое количество теплоты выделится в конденсаторе, если

его целиком заполнить веществом с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ ? Рассмотреть случаи, когда конденсатор:

- отключен от источника напряжения;
- подключен к тому же источнику напряжения, от которого он был заряжен.

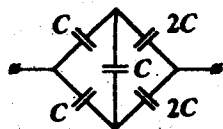


Рис. 1.21

### Программа С.

- Определите емкость системы конденсаторов (рис. 1.21).
- Чему равна электроемкость уединенной металлической сферы радиуса  $R$ , заполненной до половины жидкостью с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  (рис. 1.22)?

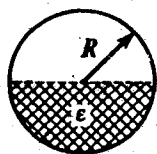


Рис. 1.22

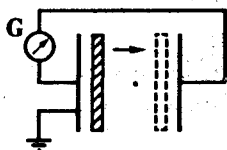


Рис. 1.23

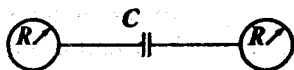


Рис. 1.24

- Одна из пластин плоского конденсатора емкости  $C$  имеет заряд  $+q$ , а другая  $+5q$ . Какая энергия запасена в таком конденсаторе? Какие заряды следует поместить на обкладки, чтобы при той же энергии в конденсаторе электрическое поле вне его не существовало?
- Обкладки конденсатора соединены друг с другом и заземлены (рис. 1.23). Между обкладками помещена пластинка с зарядом  $q$ . В какую сторону потечет ток через гальванометр, если пластинку перемещать так, как показано на рисунке?
- Два одинаковых проводящих шара радиуса  $R$  расположены далеко друг от друга и соединены с обкладками конденсатора емкости  $C$  (рис. 1.24). Отсоединив один из шаров, ему сообщают заряд  $q$ , а затем снова присоединяют. Какой заряд окажется на другом шаре?

- С.6. Как изменится емкость плоского конденсатора, если его поместить в металлическую коробку (рис. 1.25)?

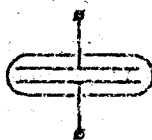


Рис. 1.25

### 1.4. Постоянный ток

#### Программа А.

- А.1. По данному графику зависимости силы тока

$I$  в проводнике от приложенного напряжения  $U$  определите сопротивление проводника (рис. 1.26).

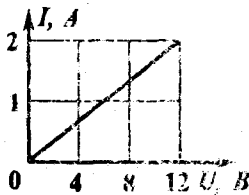


Рис. 1.26

- А.2. Каково эквивалентное сопротивление соединенных последовательно резисторов в  $2 \text{ Ом}$  и  $4 \text{ Ом}$ ? Соединенных параллельно?

- А.3. Как соотносятся между собой напряжения на двух последовательно соединенных резисторах с сопротивлениями  $R_1=2 \text{ Ом}$  и  $R_2=10 \text{ Ом}$ ?

- А.4. С помощью двух вольтметров измеряют напряжения  $U_1$  и  $U_2$  в цепи, изображенной на рисунке 1.27. Во сколько раз будут отличаться показания вольтметров?

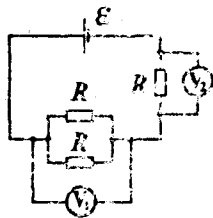


Рис. 1.27

- А.5. Чему равна ЭДС источника тока, если сторонние силы совершают работу  $10 \text{ Дж}$  при перемещении заряда  $5 \text{ Кл}$ ?

- А.6. На рисунке 1.28 представлена электрическая цепь. Покажите направление тока, если  $\mathcal{E}_1=10 \text{ В}$ , а  $\mathcal{E}_2=12 \text{ В}$ . Как соединены источники тока?

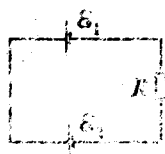


Рис. 1.28

- А.7. В каком случае можно считать, что мощность тока на участке цепи равна  $I^2 R$ ?

- А.8. КПД источника тока  $\eta=0,8$ . Чему равно отношение внешнего сопротивления к сопротивлению источника?

- А.9.** Можно ли использовать вольтметр в качестве амперметра? Что для этого нужно сделать?
- А.10.** Что нужно сделать, чтобы использовать амперметр в качестве вольтметра?

### Программа В.

**В.1.** Дан график зависимости заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, от времени (рис. 1.29). Какой вид имеет зависимость силы тока в проводнике от времени?

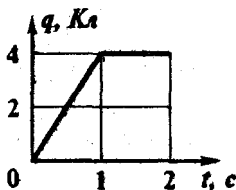


Рис. 1.29

**В.2.** На сколько равных частей надо разрезать проводник сопротивлением  $100 \text{ Ом}$ , чтобы при параллельном их соединении получить сопротивление  $1 \text{ Ом}$ ?

**В.3.** Найти сопротивление между точками  $A$  и  $B$  прямоугольного контура со сторонами  $a$  и  $b$  (рис. 1.30). Сопротивление единицы длины проволоки, из которой изготовлен контур, равно  $\lambda$ .

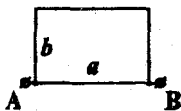


Рис. 1.30

**В.4.** Вольтметр с внутренним сопротивлением  $R_v$  может измерять напряжения вплоть до  $U_0$ . Что нужно сделать, чтобы увеличить предел измерений этого вольтметра в  $n$  раз?

**В.5.** Амперметр с внутренним сопротивлением  $R_A$  может измерять значения силы тока вплоть до  $I_0$ . Что нужно сделать, чтобы повысить предел измерений этого амперметра в  $n$  раз?

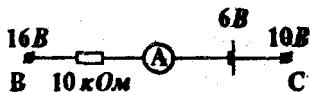


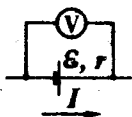
Рис. 1.31

**В.6.** Какой ток покажет амперметр (рис. 1.31)? Потенциалы точек  $B$  и  $C$  равны  $16 \text{ В}$  и  $10 \text{ В}$ , соответственно.

**В.7.** Что покажет идеальный вольтметр, подключенный к клеммам источника, через который течет ток  $I$ ? ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутреннее сопротивление  $r$  источника считать известными. Рас-

смотреть случаи, показанные на рисунках 1.32а и 1.32б.

В.8. Как изменится количество теплоты, выделяемое электроплиткой, если ее спираль укоротить?



б)

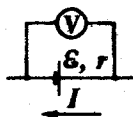


Рис. 1.32

В.9. При каком соединении спиралей двух нагревателей - параллельном или последовательном - воздух в комнате нагреется быстрее?

В.10. Для схемы, изображенной на рисунке 1.33, постройте зависимость мощности источника  $P$  от силы тока  $I$  в цепи. ЭДС источника  $\mathcal{E}=2\text{ В}$ , его внутреннее сопротивление  $r=0,5\text{ Ом}$ .

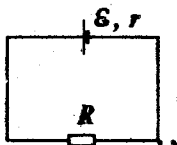


Рис. 1.33

В.11. Для схемы, изображенной на рисунке 1.33, постройте график зависимости КПД источника  $\eta$  от силы тока  $I$ . ЭДС источника  $\mathcal{E}=2\text{ В}$ , его внутреннее сопротивление  $r=0,5\text{ Ом}$ .

### Программа С.

С.1. На рисунке 1.34 представлена зависимость силы тока в проводнике от времени. Какой заряд прошел по проводнику за 4 с?

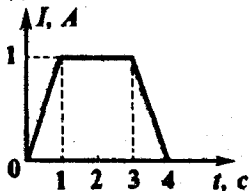


Рис. 1.34

С.2. Как измерить сопротивление резистора, имея источник

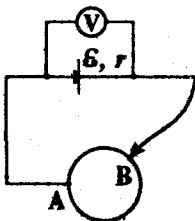


Рис. 1.35

тока с неизвестными характеристиками, вольтметр и амперметр с неизвестными внутренними сопротивлениями?

С.3. Внешнее сопротивление в замкнутой цепи представляет собой однородное проволочное кольцо с ползунком, обеспечивающим в точке В скользящий контакт (рис. 1.35). При каком положении ползунка показания вольтметра будут наи-



большими? Нарисуйте качественно зависимость показаний вольтметра от положения ползунка, выбрав за начало отсчета точку  $A$ . Сопротивлением проводов пренебречь.

- С.4. Определите направление тока на участке цепи, изображенном на рисунке 1.36. Потенциал точки  $A$   $\varphi_A = 20$  В, точки  $B$   $\varphi_B = 15$  В. ЭДС источника тока  $\mathcal{E} = 10$  В.

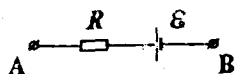


Рис. 1.36

- С.5. Две батареи с одинаковыми внутренними сопротивлениями соединить так, что ЭДС образовавшегося источника равна  $\mathcal{E}$ . ЭДС одной из батарей равна  $3\mathcal{E}/2$ . Изобразите все возможные схемы включения батарей и для каждой схемы определите ЭДС второй батареи.
- С.6. В цепь включены параллельно медная и стальная проволоки одинаковой длины и сечения. В какой из проволок выделяется большая тепловая мощность?

- С.7. В цепи, содержащей идеальный источник тока с ЭДС  $\mathcal{E}$ , резистор с неизвестным сопротивлением и заряженный до разности потенциалов  $U = 2\mathcal{E}$  конденсатор емкости  $C$ , замыкают ключ (рис. 1.37). Равно ли выделившееся в резисторе тепло изменению энергии конденсатора?

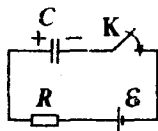


Рис. 1.37

- С.8. Вам необходимо зарядить аккумулятор с ЭДС  $\mathcal{E} = 12$  В и внутренним сопротивлением  $r = 0,5$  Ом, имея в наличии генератор на 14 В и набор резисторов. Предложите электрическую схему и рассчитайте ее параметры, если ток зарядки  $I = 2$  А.

## 1.5. Электромагнетизм

### Программа А.

- А.1.** Определите направление силы Ампера, действующей на прямой проводник с током, находящийся в магнитном поле (рис. 1.38).

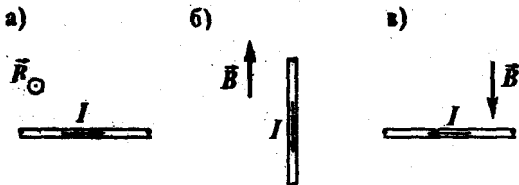


Рис. 1.38

- А.2.** Имеются два прямых провода. Первый провод лежит на столе, а второй находится в воздухе. Направление тока в первом проводе показано на рисунке 1.39. Как должен быть направлен ток во втором проводе, чтобы первый провод мог оторваться от стола?

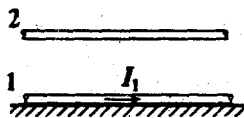


Рис. 1.39

- А.3.** Проводник длины  $l$  и массы  $m$  лежит на горизонтальном столе. Какой силы ток необходимо пропустить по проводнику, чтобы он сдвинулся с места, если индукция вертикального магнитного поля равна  $B$ , а коэффициент трения равен  $\mu$ ?

- А.4.** Определите направление силы, действующей на движущийся заряд  $q$  (рис. 1.40). Рассмотрите случаи: а)  $q > 0$ ; б)  $q < 0$ .



- А.5.** Известно, что если скорость  $v$  заряженной частицы перпендикулярна индукции однородного магнитного поля  $B$ , то она будет двигаться по окружности. Определите радиус этой окружности, если масса  $m$  и заряд  $q$  частицы известны.

Рис. 1.40

- А.6.** В условиях задачи А.5 определите период обращения частицы. Объясните, почему период обращения не зависит от скорости частицы.

- A.7. Чему равен поток магнитной индукции через контур площадью  $S$ , если угол между нормалью к контуру  $\vec{n}$  и магнитной индукцией  $\vec{B}$  равен: а)  $0^\circ$ ; б)  $30^\circ$ ; в)  $90^\circ$ ; г)  $180^\circ$ ?
- A.8. В катушку вставляют стержень из ферромагнетика. Как при этом изменится индуктивность катушки?
- A.9. В катушке с индуктивностью  $L=0,1$  Гн сила тока изменяется со временем так, как показано на рисунке 1.41. Чему равна ЭДС самоиндукции?

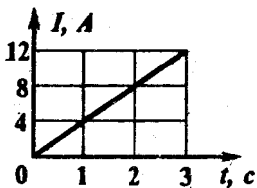


Рис. 1.41

### Программа В.

- B.1. Величину магнитной индукции в точке  $O$  можно представить в виде:  $B(O)=A\mu_0 I/R$ . Определите коэффициент пропорциональности для случаев, изображенных на рисунке 1.42.

- B.2. Чему равна сила взаимодействия проволочного кольца, по которому течет ток  $I_1$ , и прямого проводника с током  $I_2$ , расположенного на оси кольца (рис. 1.43)?

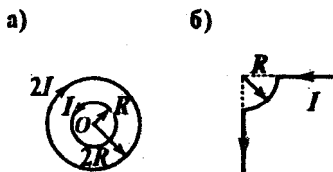


Рис. 1.42

- B.3. Притягивается или отталкивается от неподвижного постоянного магнита контур с током (рис. 1.44)? Как изменится ответ, если направление тока в контуре будет противоположно указанному на рисунке?

- B.4. Притягиваются или отталкиваются два проводящих кольца, по которым идут токи в направлениях, показанных на рисунке 1.45?

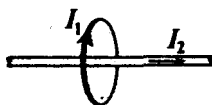


Рис. 1.43

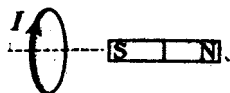


Рис. 1.44

- B.5. Определите ускорение электрона в точке, находящейся посередине между двумя прямыми длинными проводниками, по ко-

торым текут токи в одном направлении. Всеми силами, кроме магнитных, пренебречь.

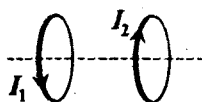


Рис. 1.45

В.6. Электрон вращается в однородном магнитном поле по круговой орбите. Чему равна работа силы Лоренца за период? За половину периода?

В.7. Заряженная частица влетает в полупространство, занятое магнитным полем, под углом  $\alpha$  к его границе (рис. 1.46). Нарисуйте траекторию ее движения, если а)  $q > 0$ ; б)  $q < 0$ .

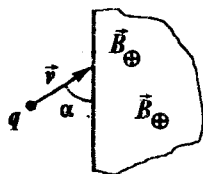


Рис. 1.46

В.8. Имеются расположенный в одной плоскости прямой проводник с током и прямоугольная рамка (рис. 1.47). Определите направление индукционного тока в рамке, если она: а) приближается к проводу; б) удаляется от провода.

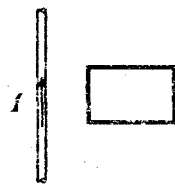


Рис. 1.47

В.9. Прямой проводник длины  $l$ , перпендикулярный линиям магнитной индукции, движется со скоростью  $v$  в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  так, что угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$  может изменяться от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Постройте график зависимости разности потенциалов, возникающей на концах проводника, от угла  $\alpha$ .

В.10. В катушку, замкнутую на амперметр, вдвигают магнит (рис. 1.48). Определите направление тока на участке  $BC$ .

В.11. В катушке с индуктивностью  $L=0.1$  Гн сила тока изменяется со временем

так, как показано на рисунке 1.49.

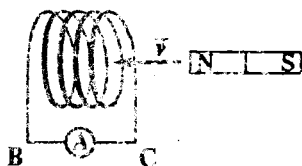


Рис. 1.48

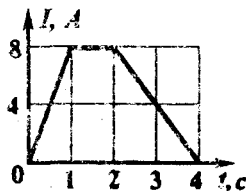


Рис. 1.49

Нарисуйте график зависимости ЭДС самоиндукции от времени.

### Программа С.

- С.1. В однородное магнитное поле влетает под углом  $\alpha$  к силовым линиям заряженная частица. По какой траектории она будет двигаться? Определите параметры этой траектории, если индукция магнитного поля  $B$ , а скорость частицы  $v$ . Заряд  $q$  и массу  $m$  частицы считать известными.
- С.2. Заряженная частица движется равномерно и прямолинейно во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях. Какова минимальная скорость частицы, если напряженность электрического поля  $E$ , индукция магнитного поля  $B$ ?
- С.3. В короткозамкнутую катушку один раз быстро, другой раз медленно вдвигают постоянный магнит: а) одинаковый ли заряд протекает по катушке? б) одинаковая ли совершается работа внешней силой?

- С.4. Замкнутый проводом металлический стержень  $AB$  перемещают в неоднородном магнитном поле так, что по нему идет ток от точки  $A$  к точке  $B$  (рис. 1.50). В какой из этих точек выше потенциал?

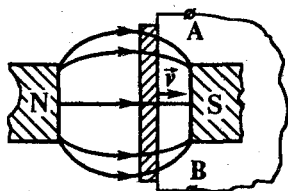


Рис. 1.50

- С.5. Индукция магнитного поля, силовые линии которого перпендикулярны плоскости тонкого проводящего кольца, изменяется так, как показано на рисунке 1.51. Нарисуйте график зависимости силы индукционного тока в кольце от времени. Радиус кольца  $r$ , его сопротивление  $R$ . Какое количество тепла выделится в кольце за время  $2t_0$ ?

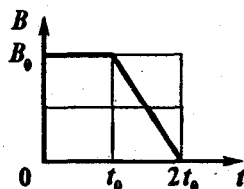


Рис. 1.51

- С.6. Имеются две катушки, расположенные коаксиально. Во внешней катушке под действием ЭДС источника сила тока изменяется со временем так, как показано на

рисунке 1.52. Как при этом изменяется сила тока во внутренней катушке?

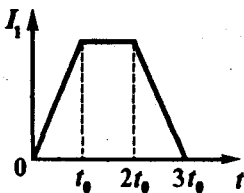


Рис. 1.52

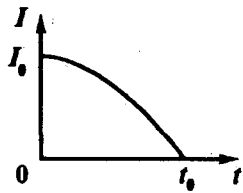


Рис. 1.53

- С.7. Зависимость силы тока в катушке индуктивности  $L$

является квадратичной функцией от времени (рис. 1.53). Как зависит ЭДС самоиндукции от времени?

- С.8. Нарисуйте примерный график тока в цепи от времени при распрямлении проволоки, из которой сделана катушка индуктивности (рис. 1.54).

- С.9. В однородное магнитное поле вносят тонкое стальное кольцо так, что его плоскость параллельна силовым линиям. Нарисуйте картину силовых линий.

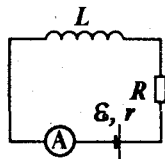


Рис. 1.54

## Глава 2. Колебания и волны

### 2.1. Механические колебания и волны

#### Программа А.

- А.1. Смещение материальной точки описывается уравнением:  $x(t) = 5 \cos(\pi t + \pi/2)$ , где  $x$  - в метрах,  $t$  - в секундах. а) В какой точке траектории частица находилась в начальный момент времени? б) Чему равна амплитуда  $A$ , циклическая частота  $\omega$  и начальная фаза  $\varphi_0$  колебаний? в) Какова максимальная скорость  $v_m$  частицы?

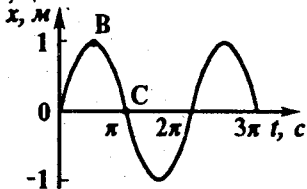


Рис. 2.1

- А.2. На рисунке 2.1 представлена зависимость координаты  $x$  колеблющегося тела от времени. а) Чему равна циклическая частота колеба-

ний? б) Напишите закон движения тела  $x(t)$ . в) Определите зависимость проекции скорости  $v_x$  тела от времени. г) В какой из точек: В или С ускорение тела больше?

- А.3. К пружине поочередно подвешивают два различных груза и измеряют периоды малых колебаний. Для груза массой  $m_1=1$  кг период колебаний  $T_1=1$  с. Чему равна масса второго груза, если период его колебаний  $T_2=2$  с?
- А.4. В каких пределах изменяется вес тела массы  $m$ , совершающего малые вертикальные колебания с амплитудой  $A$  на пружине жесткостью  $k$ ? При каких значениях амплитуды колебаний тело в некоторые моменты времени испытывает невесомость?
- А.5. За одно и то же время первый математический маятник делает 1 колебание, а второй - 3. У какого из них короче нить и во сколько раз?

- А.6. Чему равна энергия гармонических колебаний груза массы  $m$  (рис. 2.2)? Амплитуда колебаний  $A$ , жесткость пружины  $k$ . Изменится ли полученное Вами выражение, если груз будет подвешен на пружине к потолку?

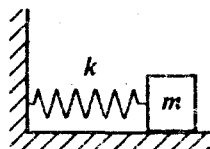


Рис. 2.2

- А.7. На рисунке 2.3 изображена зависимость кинетической энергии колеблющегося тела от времени. Чему равен период колебаний тела?

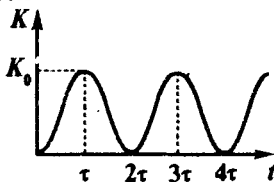


Рис. 2.3

- А.8. Чему равен период колебаний математического маятника с длиной нити  $l$ , находящегося на борту искусственного спутника Земли? Чему равен период пружинного маятника (жесткость пружины  $k$ , масса груза  $m$ ), прикрепленного к потолку спутника?
- А.9. Собственная частота колебаний моста равна  $\nu$ . С какой скоростью не следует идти по мосту, если длина Вашего шага  $l$ ?
- А.10. Поперечная волна распространяется в среде со скоростью  $v=100$  м/с (рис. 2.4). Чему равна длина волны  $\lambda$ ? Каков пе-

риод колебаний частиц среды?  
Нарисуйте профиль волны через  $1/4$  периода.

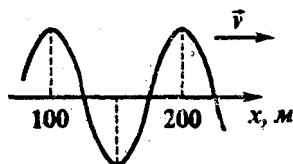


Рис. 2.4

**Программа В.**

- В.1.** На рисунке 2.5 представлен график зависимости фазы колебаний от времени. Амплитуда колебаний  $A=1$  см. Напишите уравнение колебаний тела (зависимость смещения  $x$  от времени), если они происходят по закону косинуса.
- В.2.** Подвешенное на пружине тело совершает малые вертикальные колебания. Максимальное значение скорости тела  $v_m$ , максимальное значение ускорения  $a_m$ . Определите амплитуду и циклическую частоту колебаний.
- В.3.** На рисунке 2.6 представлен график зависимости проекции скорости колеблющегося тела от смещения. а) Определите циклическую частоту колебаний. б) В начальный момент времени состояние движения тела выражается точкой  $B$ . Какой точкой будет выражено состояние движения тела через  $\pi$  секунд?
- В.4.** Тело, способное совершать гармонические колебания, отвели от положения равновесия и придали ему некоторую скорость, направленную: а) к положению равновесия; б) от положения равновесия. Величина скорости и начального отклонения в обоих случаях одинакова. В каком случае амплитуда колебаний будет больше?
- В.5.** К свободному концу прикрепленной к потолку легкой пружины подвешивают груз (пружина не деформирована) и отпускают без начальной скорости. Определите период колебаний, если их амплитуда равна  $A$ .

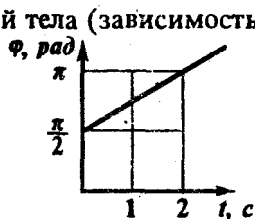


Рис. 2.5

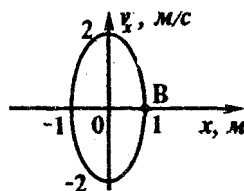


Рис. 2.6



В.6. На одном и том же резиновом шнуре подвешивают один и тот же груз двумя способами (рис. 2.7). Найдите отношение частот малых колебаний в первом и во втором случае.

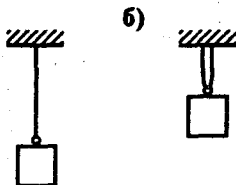


Рис. 2.7

- В.7. Период малых колебаний поплавка на поверхности воды  $T_1 = 1$  с. Каким будет период колебаний того же поплавка на поверхности жидкости с плотностью  $\rho = 4$  г/см<sup>3</sup>?
- В.8. Точке подвеса математического маятника длины  $l$  сообщают горизонтальное ускорение  $a$ . Чему будет равен период колебаний? Изменится ли положение равновесия маятника?
- В.9. Чему равна энергия горизонтальных колебаний тела на пружине (рис. 2.2), если его отводят на расстояние  $\Delta x$  от положения равновесия и отпускают, причем в этот момент со стороны пружины на него действует сила  $F$ ?
- В.10. Пружинный маятник массы  $M$  совершает малые свободные колебания на гладком горизонтальном столе. В некоторый момент времени на него падает сверху пластилиновый шарик массы  $m$  и прилипает. Считая соударение абсолютно неупругим, определите, как изменится энергия колебаний, если соударение произошло: а) при прохождении положения равновесия; б) в момент наибольшего отклонения.
- В.11. Шарик массы  $m$ , закрепленный на нити длины  $l$ , отклонили от положения равновесия на небольшой угол  $\alpha$  и отпустили. Чему равна энергия колебаний? Какова будет работа силы тяжести в тот момент, когда шарик обладает скоростью  $v \neq 0$ ?
- В.12. Амплитуда затухающих колебаний маятника за время уменьшилась вдвое. Как за это время изменилась механическая энергия маятника? В какой вид энергии она перешла?
- В.13. Источник звука излучает плоскую волну с частотой  $\nu$ , которая распространяется в двух различных средах (рис. 2.8). Пунктирными линиями отмечены плоскости, все точки которых в данный момент времени проходят положение равно-

веса. В какой из сред скорость распространения волны больше?

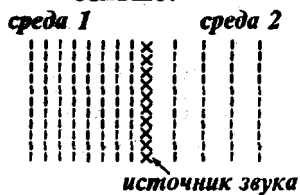


Рис. 2.8

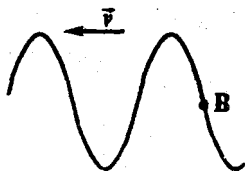


Рис. 2.9

**В.14.** Поперечная волна движется влево (рис. 2.9). Определите направление движения точки *B*.

### Программа С.

**С.1.** На рисунке 2.10 представлена зависимость проекции ускорения гармонического колеблющегося тела от смещения. Определите максимальную величину скорости.

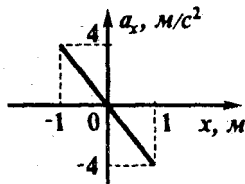


Рис. 2.10

**С.2.** Математический маятник совершает свободные малые колебания с периодом  $T$ . Каким будет период колебаний того же маятника, если в положении равновесия он будет испытывать абсолютно упругие соударения с вертикальной стенкой? Изобразите зависимости смещения  $x(t)$  и проекции скорости  $v_x(t)$  для этого случая. Как изменился бы период колебаний, если соударение не было бы абсолютно упругим?

**С.3.** При прохождении положения равновесия математический маятник, совершающий малые колебания, имеет ускорение  $a$ . Какое ускорение он будет иметь в верхней точке траектории?

**С.4.** Математический маятник прикреплен к потолку автомобиля, движущегося с постоянной скоростью  $v$  по: а) выпуклому мосту; б) вогнутому мосту. Сравните периоды колебаний маятника при прохождении автомобилем середин мостов, если радиус кривизны  $R$  мостов одинаков.

- С.5. Решите задачу В.8 для случая, когда ускорение  $a$  точки подвеса составляет угол  $\alpha$  с горизонтом.
- С.6. Частота малых колебаний жидкости в  $U$ -образной трубке (рис. 2.11) равна  $\omega$ . Чему будет равна частота колебаний, если при том же объеме жидкости наклонить трубку на угол  $\alpha$ ?

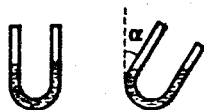


Рис. 2.11

- С.7. Два одинаковых по размеру кубика из разных материалов полностью погружают в воду так, чтобы их верхняя грань совпала с поверхностью воды, и отпускают. Плотность первого кубика  $\rho_1 = 0,8 \text{ г/см}^3$ , второго  $\rho_2 = 0,5 \text{ г/см}^3$ , плотность воды  $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$ . Определите отношение частот и энергий колебаний кубиков. Колебания кубиков считать гармоническими.

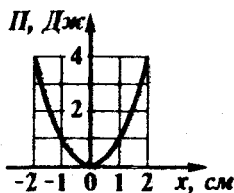


Рис. 2.12

- С.8. На рисунке 2.12 представлен график зависимости потенциальной энергии некоторого тела от координаты  $x$ . Постройте график зависимости проекции квазиупругой силы от координаты  $x$  и определите частоту колебаний, если масса тела  $m = 2 \text{ кг}$ .

- С.9. На рисунке 2.13 показаны три зависимости потенциальной

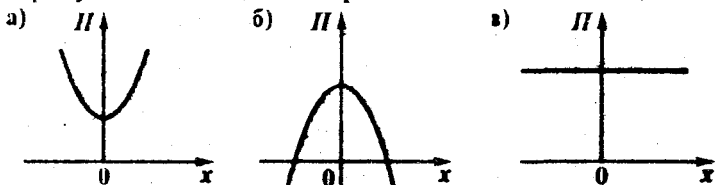


Рис. 2.13

энергии тела от координаты  $x$ . В начальный момент времени тело находится в точке с координатой  $x=0$  и имеет некоторую скорость  $v_x \neq 0$ . Опишите дальнейший характер движений в каждом из трех случаев.

- С.10.** На рисунке 2.14 представлена зависимость смещения тела от времени. Постройте схематично график зависимости проекции силы сопротивления от времени. Определите работу сил сопротивления за время  $\tau$ , если начальная энергия колебаний (при  $t=0$ ) равна  $E_0$ .

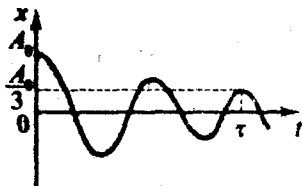


Рис. 2.14

- С.11.** Математический маятник совершает малые колебания в одной плоскости с амплитудой  $A$  и частотой  $\omega$ . В момент максимального отклонения шарик маятника сообщают небольшую скорость  $v$  перпендикулярно плоскости колебаний. По какой траектории будет двигаться шарик?
- С.12.** В шнуре с двумя закрепленными концами можно возбудить стоячие волны: а) с тремя пучностями; б) с четырьмя пучностями. Найти отношение частот колебаний точек шнура, соответствующих случаям а) и б).

## 2.2. Переменный ток. Электромагнитные колебания и волны

### Программа А.

- А.1.** Зависимость силы тока в цепи от времени имеет вид:  $I=1,41\sin(\pi t)$  где  $I$  - в Амперах, а  $t$  - в секундах. а) Чему равны амплитуда и действующее значение силы тока? б) Какой силы ток будет в цепи при  $t=1$  с?
- А.2.** В условиях задачи А.1 определите, какое количество теплоты выделится в цепи за время  $\tau=100$  с, если ее активное сопротивление  $R=2$  Ом.
- А.3.** Колебательный контур, состоящий из конденсатора и катушки индуктивности, настроен на прием волн с длиной  $\lambda$ . На какую длину волны будет настроен контур, если емкость конденсатора увеличить в 8 раз, а индуктивность катушки уменьшить в 2 раза?
- А.4.** Колебательный контур состоит из конденсатора емкости  $C$  и катушки индуктивности  $L$ . Определите максимальное значение ЭДС индукции в катушке, если максимальный заряд

на конденсаторе  $q_m$ . Чему равна энергия колебаний?

- А.5. Заряженный до напряжения  $U$  конденсатор емкости  $C$  подключают через ключ к катушке индуктивности  $L$  (рис. 2.15). Где будет сосредоточена энергия колебаний через  $1/8$ ,  $1/4$ ,  $1/2$  периода?

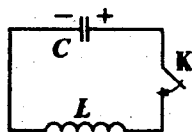


Рис. 2.15

### Программа В.

- В.1. В цепь переменного тока включают лампочку последовательно: а) с конденсатором; б) с катушкой индуктивности (рис. 2.16). Как изменится накал лампочки, если: а) увеличить емкость конденсатора; б) увеличить индуктивность катушки?

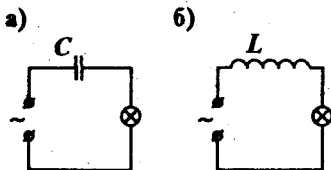


Рис. 2.16

- В.2. Два одинаковых электромотора включают в сеть с одинаковым напряжением. Один мотор вращается вхолостую, а другой совершает некоторую полезную механическую работу. Который из них скорее нагреется?
- В.3. Силу тока в первичной обмотке трансформатора равномерно увеличивают по линейному закону. По какому закону меняется напряжение во вторичной обмотке?

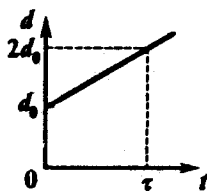


Рис. 2.17

- В.4. Расстояние между обкладками воздушного конденсатора в колебательном контуре изменяют по линейному закону (рис. 2.17). Постройте график зависимости частоты колебательного контура от времени, если площадь пластин  $S$ , а индуктивность катушки  $L$ .

- В.5. В изображенной на рисунке 2.18 цепи конденсатор емкости  $C$  заряжен до напряжения  $U$ . Сначала замыкают ключ

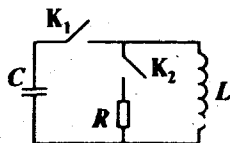


Рис. 2.18

$K_1$ . При достижении максимального значения тока через катушку замыкают ключ  $K_2$  и размыкают  $K_1$ . Каково наибольшее значение напряжения на сопротивлении  $R$ ? Какое количество теплоты выделится на нем к моменту прекращения тока в цепи?

### Программа С.

С.1. Определите действующее значение переменного тока, зависимость которого от времени представлена на рисунке 2.19.

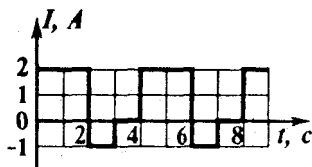


Рис. 2.19

С.2. Два одинаковых идеальных трансформатора с коэффициентом трансформации  $k$  соединяют следующим образом: первичные обмотки последовательно друг с другом, а вторичные - параллельно друг другу. Каков коэффициент трансформации получившегося трансформатора?

С.3. Вал ненагруженного электродвигателя вращается с угловой скоростью  $\omega_0$ . При какой угловой скорости вращения вала мотор будет развивать максимальную полезную мощность? Моментом сил сопротивления на оси двигателя пренебречь.

С.4. В колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивности и конденсатора, зависимость силы тока от

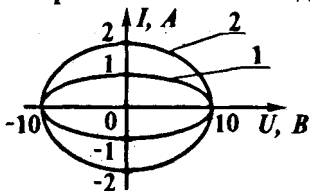


Рис. 2.20

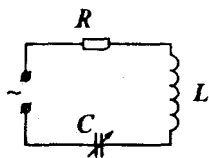


Рис. 2.21

напряжения на конденсаторе выражается кривой 1 (рис. 2.20). При замене конденсатора другим получена кривая 2. Определите, во сколько раз была изменена емкость конденсатора.

С.5. На  $RLC$  - контур с перестраиваемой емкостью (рис. 2.21) подается напряжение, изменяющееся со временем по закону:

$U = U_m \cos \omega t$ . При каком значении емкости в контуре будет выделяться максимальная мощность? Чему она равна? Активное сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$ .

## Глава 3. Оптика

### 3.1. Геометрическая оптика

#### Программа А.

- A.1. Расстояние между светящейся точкой и плоским зеркалом равно 20 см. Каково расстояние между точкой и ее изображением?
- A.2. Угол между падающим и отраженным лучами равен  $40^\circ$ . Каким будет угол отражения, если угол падения увеличится на  $15^\circ$ ?
- A.3. Чему равен показатель преломления вещества, если предельный угол полного внутреннего отражения равен  $30^\circ$ ?
- A.4. Где находится изображение предмета, расположенного в фокальной плоскости собирающей линзы?
- A.5. Всегда ли в рассеивающей линзе получается мнимое изображение предмета, расположенного на главной оптической оси?
- A.6. Каким должно быть расстояние между предметом и собирающей линзой, чтобы его изображение было: а) прямым и увеличенным; б) перевернутым и уменьшенным; в) перевернутым и увеличенным?
- A.7. Постройте изображение точек  $S_1$  и  $S_2$  в тонкой собирающей линзе (рис. 3.1).
- A.8. Постройте изображение точек  $S_1$  и  $S_2$  в тонкой рассеивающей линзе (рис. 3.2).

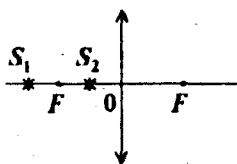


Рис. 3.1

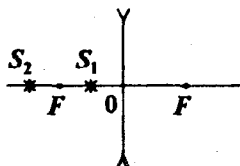


Рис. 3.2

### Программа В.

- В.1.** Постройте изображение стрелки  $AB$  в плоском зеркале (рис. 3.3).
- В.2.** Плоское зеркало, на которое падает световой луч, поворачивают на угол  $\varphi$  вокруг оси, лежащей в плоскости зеркала перпендикулярно лучу. На какой угол повернется при этом отраженный луч (относительно прежнего положения)?
- В.3.** Постройте изображение точки в двугранном зеркале (рис. 3.4).

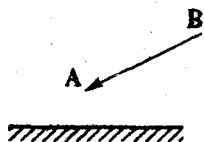


Рис. 3.3



Рис. 3.4

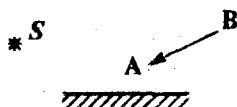


Рис. 3.5

- В.4.** Определите области полной и частичной видимости стрелки  $AB$  и точки  $S$  в плоском зеркале (рис. 3.5).
- В.5.** Луч падает из среды с показателем преломления  $n_1=2,5$  на границу раздела со средой, показатель преломления которой  $n_2=1$ . Постройте дальнейший ход луча, если угол падения  $\alpha=30^\circ$  (рис. 3.6).

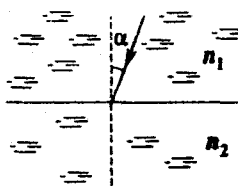


Рис. 3.6

- В.6.** Постройте изображение светящейся точки  $S$ , находящейся в воздухе над стеклянной пластинкой.

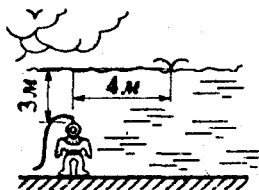


Рис. 3.7

- В.7.** Увидит ли водолаз чайку, пролетающую вблизи поверхности воды (рис. 3.7)? Показатель преломления воды  $n=1,3$ .

- В.8.** Постройте ход луча через призму (рис. 3.8). Рассмотрите случаи, когда показатель преломления призмы: а)  $n=1,6$ ; б)  $n=1,3$ .



- В.9. Луч света переходит из среды с показателем преломления  $n_1$  в среду с показателем преломления  $n_2 > n_1$ . Чему равен тангенс угла падения, если угол между отраженным и преломленным лучами равен  $90^\circ$ ?

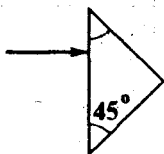


Рис. 3.8

- В.10. Собирающая линза находится в воздухе. Как сделать эту линзу рассеивающей? Подходит ли предложенный Вами метод для рассеивающей (в воздухе) линзы?
- В.11. Дан ход луча после прохождения собирающей и рассеивающей линз (рис. 3.9). Постройте падающий луч.

- В.12. На собирающую а)

линзу падает сходящийся пучок лучей. Постройте ход лучей. Как будет выглядеть формула линзы,

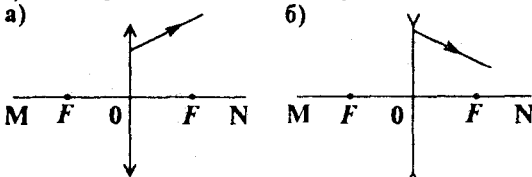


Рис. 3.9

если продолжения падающих лучей пересекают главную оптическую ось на расстоянии  $d$  от центра линзы?

- В.13. На рисунке 3.10 показаны две тонкие собирающие линзы, сделанные из стекла. Как соотносятся между собой оптические силы этих линз?

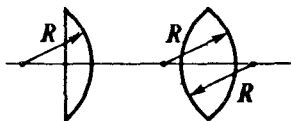


Рис. 3.10

### Программа С.

- С.1. Светящаяся точка приближается к плоскому зеркалу со скоростью  $v$ . Определите относительную скорость точки и ее изображения, если направление движения точки: а) перпендикулярно зеркалу; б) составляет угол  $\alpha$  с плоскостью зеркала.
- С.2. Два плоских зеркала образуют прямой двугранный угол (рис. 3.11). Определите область, из которой наблюдатель может видеть все изображения точки  $S$ .

С.3. В стекле с показателем преломления  $n=1,5$  имеется сферическая полость, заполненная воздухом (рис. 3.12). Нарисуйте дальнейший ход луча.

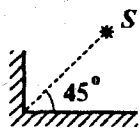


Рис. 3.11

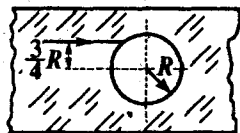


Рис. 3.12

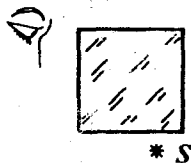


Рис. 3.13

С.4. Вблизи нижней грани стеклянного куба с коэффициентом преломления  $n=1,5$  находится светящаяся точка (рис. 3.13). Увидит ли ее человек, смотрящий со стороны боковой грани?

С.5. Луч света падает из среды с показателем преломления  $n_1$  на границу раздела со средой, показатель преломления которой  $n_2$ . Постройте график зависимости угла преломления  $\beta$  от угла падения  $\alpha$ . Рассмотрите случаи:

а)  $n_1 < n_2$ ; б)  $n_1 > n_2$ .

С.6. Светящаяся точка движется вдоль главной оптической оси собирающей линзы к ее центру со скоростью  $v$ . Постройте график зависимости проекции скорости изображения этой точки на главную оптическую ось от расстояния между точкой и центром линзы. Фокусное расстояние линзы равно  $F$ .

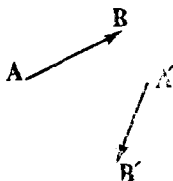


Рис. 3.14

С.7. На рисунке 3.14 показана спица  $AB$  и ее изображение в линзе  $A'B'$ . Определите положение линзы и ее фокусов.

С.8. Найти построением тип линзы, ее оптический центр и фокус (рис. 3.15а,б).  $S$  - светящаяся точка,  $S'$  - ее изоб-

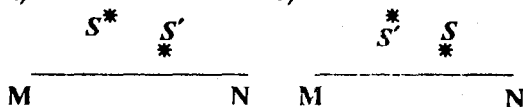


Рис. 3.15

ражение.  $MN$  - главная оптическая ось линзы.

- С.9. Построить изображение тонкой спицы, расположенной на главной оптической оси собирающей линзы так, как показано на рисунке 3.16.
- С.10. Две тонкие линзы с фокусными расстояниями  $F_1$  и  $F_2$  сложили вместе. Какова оптическая сила такой системы?
- С.11. Двояковогнутая стеклянная линза помещена в оправу (рис. 3.17). Как изменится оптическая сила, если в оправу налить воду? Показатели преломления стекла и воды равны  $n_c$  и  $n_w$ , соответственно.

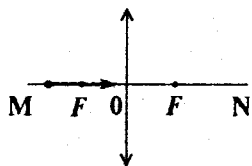


Рис. 3.16

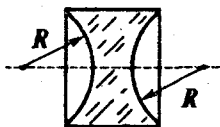


Рис. 3.17

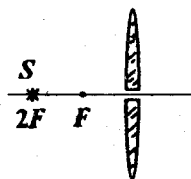


Рис. 3.18

- С.12. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы находится светящаяся точка. Линзу разрезали на две половинки и раздвинули на некоторое расстояние (рис. 3.18). Постройте изображение светящейся точки.

### 3.2. Волновые и квантовые свойства света

#### Программа А.

- А.1. Чему равна скорость распространения света в стекле с показателем преломления  $n=1,5$ ? Скорость света в вакууме  $c=3 \times 10^8$  м/с.
- А.2. Меняется ли частота света при его распространении из одной среды в другую?
- А.3. На белом листе бумаги черными чернилами прочерчена линия. Останется ли линия черной, если на нее посмотреть через стеклянную призму? Что увидит наблюдатель?

А.4. Во сколько раз отличаются энергии фотонов красного и фиолетового цветов? Принять, что длина волны красного цвета  $\lambda_{\text{к}} = 700 \text{ нм}$ , фиолетового цвета  $\lambda_{\text{ф}} = 400 \text{ нм}$ .

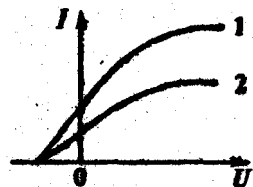


Рис. 3.19

А.5. На рисунке 3.19. представлены две вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента, полученные при двух различных значениях светового потока. В каком случае световой поток был меньше?

### Программа В.

В.1. Как должны соотноситься между собой толщины слоев двух жидкостей с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$ , чтобы времена распространения светового луча в них были одинаковы? Считать, что луч падает перпендикулярно поверхности жидкостей.

В.2. Два луча 1 и 2 с длиной волны  $\lambda_1 = 400 \text{ нм}$  и  $\lambda_2 = 700 \text{ нм}$  падают из воздуха в воду под углом  $\alpha = 30^\circ$ . Для какого из лучей угол преломления будет больше?

В.3. Длина волны красного света в воде равна длине волны зеленого луча в воздухе. Вода освещена красным светом. Какой цвет увидит при этом человек, если откроет глаза под водой?

В.4. Почему не наблюдается интерференционная картина на потолке комнаты, если его осветить двумя лампочками накаливания?

В.5. Источник света может испускать фотоны с различной длиной волны  $\lambda$ . Постройте график зависимости числа фотонов, испускаемых в единицу времени, от длины волны, считая мощность источника  $P$  одинаковой для всех длин волн.

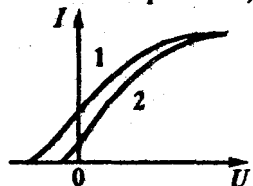


Рис. 3.20

В.6. Для катода с известной работой выхода нарисуйте зависимость скорости вырванных электронов от частоты света.

В.7. На рисунке 3.20 представлены две

вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента, полученные при двух значениях частоты света. В каком случае частота света была больше?

### Программа С.

- С.1. Как известно, призму можно использовать для разложения белого света на семь основных цветов. С помощью какой призмы можно получать неокрашенные изображения предметов?
- С.2. Два когерентных источника света  $S_1$  и  $S_2$  создают на экране интерференционную картину в виде чередующихся светлых и темных полос (рис. 3.21). Как будет изменяться эта картина, если: а) уменьшать расстояние между источниками света; б) удалять экран от источников света; в) уменьшать частоту световых волн, испускаемых источником?
- С.3. Почему давление света на черную поверхность в два раза меньше, чем на белую?
- С.4. На рисунке 3.22 приведены зависимости задерживающей разности потенциалов от частоты  $\nu$  света для двух различных катодов вакуумного фотоэлемента. В каком случае больше работа выхода?

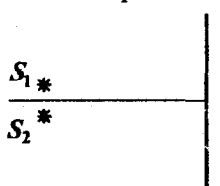


Рис. 3.21

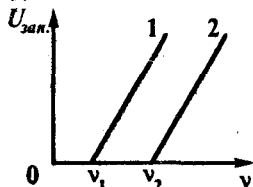


Рис. 3.22

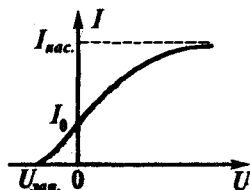


Рис. 3.23

- С.5. На рисунке 3.23 представлена зависимость силы фототока от приложенного напряжения  $U$  (вольтамперная характеристика). Определите максимальное число электронов, вырываемых с катода в единицу времени.

# ОТВЕТЫ

## Глава 1. Электричество и магнетизм.

### 1.1. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Потенциал

#### Программа А.

- А.1. а) См. рис. 1.1а. Сила  $\vec{F}$  равна векторной сумме сил  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$  ( $F_1=F_2$ ), действующих со стороны зарядов, расположенных в вершинах  $D$  и  $C$ , соответственно. б) Изменится. См.рис. 1.1б.

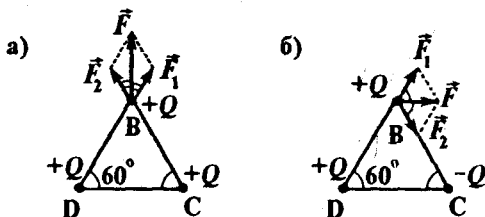


Рис. 1.1

- А.2.  $F=2F_1\cos 30^\circ=F_1\sqrt{3}$ , где  $F_1=Q^2/(4\pi\epsilon_0 a^2)$ .
- А.3. а) Вправо; б) влево: Заряд будет двигаться с постоянным ускорением. *Указание.* Сила, действующая на заряд:  $\vec{F}=q\vec{E}$ .
- А.4. Нет, т.к. напряженность поля  $\vec{E}\neq\text{const}$ . Заряд будет двигаться с переменным ускорением.
- А.5. С постоянным ускорением вдоль силовых линий (рис. 1.2).
- А.6.  $\varphi_B=kQ/a+(-kQ/a)=0$ ;  
 $\varphi_C=kQ/3a+(-kQ/a)=-2kQ/3a$ .  
Здесь  $k=1/4\pi\epsilon_0$ .
- А.7. а)  $A=kq^2(1/r_2-1/r_1)$ ; б)  $A=kq^2(1/r_1-1/r_2)$ .  
В случае б) работа отрицательна.
- А.8.  $|\varphi_A-\varphi_B|=Ed$ ;  $|\varphi_A-\varphi_C|=Ed\cos\alpha$ .



Рис. 1.2

### Программа В.

- В.1.  $\omega = (|e|/(4\pi\epsilon_0 m_e)^{1/2}) R^{-3/2}$ . Указание. Запишите второй закон Ньютона для вращающегося электрона.
- В.2. Параллельно оси  $OX$ ; в точке  $A$  - вправо, в точке  $B$  - влево. Указание. Вектор ускорения направлен противоположно векторной сумме напряженностей, создаваемых в данной точке каждым из зарядов.
- В.3. Если вектор начальной скорости частицы сонаправлен с напряженностью поля  $\vec{E}$ .
- В.4. См. рис. 1.3. Для а) и б) одинаковые зависимости. Не изменится.
- В.5.  $E=0$ ; потенциал в 4 раза уменьшится.
- В.6.  $\varphi_1 - \varphi_2 = -8$  В. Например, три параллельные плоскости с зарядами  $q/2$ ,  $-q$  (в точке  $x=0$ ) и  $q/2$ . Указание. Разность потенциалов между точками 1 и 2 равна площади под графиком  $E_x(x)$  в пределах от  $x_1$  до  $x_2$ .
- В.7. Не могут, т.к. при перемещении заряда вдоль силовых линий поле совершает работу, а его работа по замкнутому контуру равна 0.
- В.8.  $\varphi = \varphi_0 - m_e v_0^2 / (2|e|)$ .
- В.9.  $A = -(7/2) k q^2$ ,  $k = 1/(4\pi\epsilon_0 a)$ . Указание. Необходимо совершить работу, равную потенциальной энергии взаимодействия данной системы зарядов. В данном случае работа отрицательна, поскольку в системе преобладают силы притяжения.
- В.10.  $v = (Qe/2\pi\epsilon_0 R m_e)^{1/2}$ .

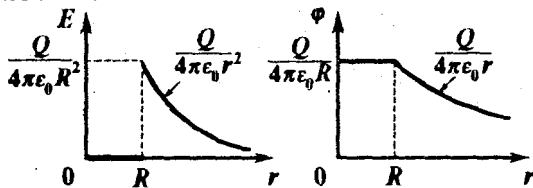


Рис. 1.3

### Программа С.

- С.1.  $|\Delta\varphi| = m_e a l / |e|$ .
- С.2.  $t = (\pi/2)(m/k)^{1/2}(1+2n)$ ,  $n=0,1,2,\dots$ . Указание. Максимальная разность потенциалов возникает в моменты времени, когда

стержень имеет максимальное ускорение, т.е. при максимальном отклонении от положения равновесия.

С.3. См.рис. 1.4;  $\varphi_B > \varphi_A$ ,  $E_A > E_B$ .

С.4.  $|\vec{E}| = E_0$ ;  $\varphi = \varphi_0/2$ .

С.5. См.рис. 1.5. Например, в точке  $O$  - положительно заряженная плоскость; между  $x_1$  и  $x_2$  - незаземленная металлическая плита; справа от нее - диэлектрик. Указание. Проекция напряженности электрического поля равна взятому с обратным знаком тангенсу угла наклона графика зависимости  $\varphi(x)$  к оси  $OX$ .

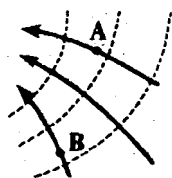


Рис. 1.4

С.6.  $qE \geq mg$ .

С.7. Кольцо начнет вращаться вокруг оси. Скорость увеличится в  $\sqrt{2}$  раз. Указание. Равномерно заряженное кольцо с зазором эквивалентно сплошному равномерно заряженному кольцу, имеющему в точке  $A$  дополнительный заряд противоположного знака, величина которого пропорциональна размеру зазора.

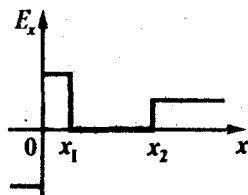


Рис. 1.5

С.8. Во втором случае скорость в  $\sqrt{2}$  раз больше.

С.9.  $A = qQ/(4\pi\epsilon_0 a)$ . Указание. Работа равна изменению потенциальной энергии системы трех зарядов.

## 1.2. Проводники и диэлектрики в электрическом поле

### Программа А.

А.1.  $\epsilon = F_1/F_2 = 2,5$ .

А.2. См.рис.1.6.

А.3. См.рис.

1.7. Равна нулю.

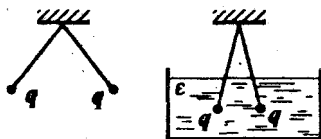


Рис. 1.6

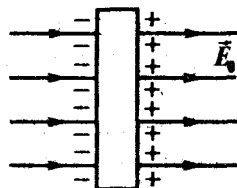


Рис. 1.7



А.4. См.рис. 1.8.  $E=E_0/2$ .

А.5. От второго шарика к первому.

А.6.  $Q_1/Q_2=R_1/R_2$ . Указание. После соединения проволокой потенциалы шаров будут равны:  $Q_1/(4\pi\epsilon_0 R_1)=Q_2/(4\pi\epsilon_0 R_2)$ .

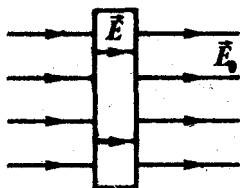


Рис. 1.8

### Программа В.

В.1. См.рис. 1.9. Указание. Эквипотенциальные поверхности перпендикулярны силовым линиям.

В.2. а)  $\epsilon=\infty$ ; б) поле не оказывает на него никакого влияния.

В.3. Шарик будет двигаться в направлении увеличения модуля напряженности, т.е. вправо.

В.4. См.рис. 1.10.  $F=q^2/(16\pi\epsilon_0 a^2)$ .

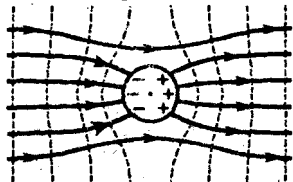


Рис. 1.9

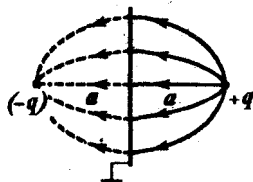


Рис. 1.10

В.5. Не изменится.

В.6. В случае а)  $\Delta\phi$  больше, чем в случае б). Указание. Заряд на внешней сфере не создает разности потенциалов между сферами, поэтому  $\Delta\phi$  больше в том случае, когда величина заряда на внутренней сфере больше.

В.7. См.рис. 1.11.

В.8.  $\phi=\phi_1+\phi_2$ . Указание. Во всех случаях потенциал шара равен сумме потенциалов от заряда на шаре и на сфере, причем в случае соединения шара с оболочкой весь заряд перетекает к оболочке, а в случае заземления оболочки на

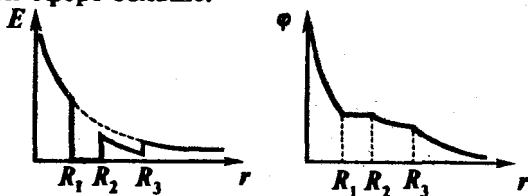


Рис. 1.11

ней индуцируется заряд, численно равный и противоположный по знаку заряду на шаре.

### Программа С.

- С.1. Будет двигаться в сторону точечного заряда независимо от его знака.
- С.2.  $q = \epsilon_0 ES$ . *Указание.* Пластины будут иметь такие заряды, чтобы разность потенциалов между ними во внешнем поле была равна нулю.
- С.3.  $\sigma_1 = \sigma d_2 / (d_1 + d_2)$ ;  $\sigma_2 = \sigma d_1 / (d_1 + d_2)$ .
- С.4.  $Q = \epsilon_0 E^2 S d / 2$ . *Указание.* Выделившееся количество теплоты равно энергии электрического поля, созданного индуцированными зарядами на поверхностях пластины для компенсации внешнего поля. После выключения поля в пластине протекает ток.
- С.5. См. рис. 1.12.
- С.6. Не изменится. *Указание.* Любую поверхность можно представить в виде совокупности бесконечно малых плоских участков, которые, будучи заряженными, создают электрическое поле напряженности  $E$ , зависящей только от поверхностной плотности заряда.

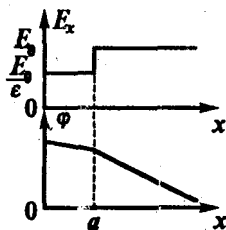


Рис. 1.12

## 1.3. Электроемкость. Конденсаторы

### Программа А.

- А.1. Уменьшить в два раза. *Указание.* Емкость плоского конденсатора  $C = \epsilon \epsilon_0 S / d$ .
- А.2. Уменьшить в два раза. См. указание к задаче А.1.
- А.3.  $U_1 / U_2 = C_2 / C_1 = 1/2$ . *Решение.* Пусть  $U_1$  и  $U_2$  напряжения на конденсаторах  $C_1$  и  $C_2$ , соответственно, а  $U$  — напряжение источника. Так как конденсаторы соединены последовательно, то их заряд одинаков:  $C_1 U_1 = C_2 U_2$ , а  $U_1 + U_2 = U$ . Отсюда напряжения на конденсаторах:  $U_1 = UC_2 / (C_1 + C_2)$ ,  $U_2 = UC_1 / (C_1 + C_2)$ . По условию задачи  $C_1 = 2C_2$ . Тогда  $U_1 / U_2 = C_2 / C_1 = 1/2$ .

- A.4.  $C'=(4/3)C$ ;  $\Delta\varphi_{AB}/\Delta\varphi_{BD}=2$ . *Указание.* Воспользуйтесь решением задачи A.3 с учетом, что  $C_1=2C$ , а  $C_2=C/3C=4C$ .
- A.5.  $q_1/q_2=C_1/C_2=2$ . *Указание.* При параллельном соединении напряжения на конденсаторах одинаковы:  $q_1/C_1=q_2/C_2$ .
- A.6. В первом случае конденсатор подключен к источнику питания (постоянно напряжение  $U$ ), а во втором случае - отключен (постоянен заряд).

### Программа В.

- B.1. См.рис. 1.13. Для  $\epsilon > 2$  выгоден способ б).  
*Указание.* а)  $C'=2C\epsilon/(1+\epsilon)$ ;  
 б)  $C'=C(1+\epsilon)/2$ , где  $C$  - емкость конденсатора без диэлектрика.

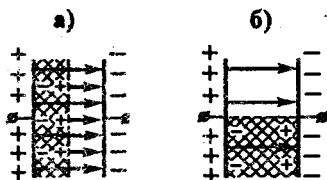


Рис. 1.13

- B.2.  $F=q^2/(2\epsilon_0 S)$ . *Решение.* На каждый элементарный заряд  $\Delta q$  одной из пластин действует сила

$\Delta F=\Delta qE$ , где  $E=\sigma/2\epsilon_0=q/2\epsilon_0 S$  - напряженность поля, созданного другой пластиной. Тогда  $\Delta F=\Delta q q/2\epsilon_0 S$ . Суммируя по всем  $\Delta q$ , получаем  $F=q^2/(2\epsilon_0 S)$  - силу, с которой одна обкладка конденсатора притягивает другую.

- B.3. Емкость увеличивается в  $4/3$  раза. *Указание.* Толщина воздушного промежутка после введения пластины составит  $d'=d-d/4=3d/4$ .

- B.4. Емкость увеличится в 1,5 раза. См.рис. 1.14.

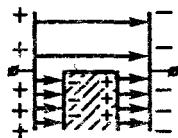


Рис. 1.14

- B.5. Емкость увеличится в  $8/7$  раза. *Указание.* Полученный после введения пластины конденсатор можно рассматривать как два последовательно соединенных конденсатора с емкостями  $C_1=4\epsilon_0 S/3d$  и  $C_2=4\epsilon_0 S/d$ .

- B.6. а)  $Q=(q^2/2C)(1-1/\epsilon)$ ; б)  $Q=(q^2/2C)(1-\epsilon)$ . *Указание.* В случае а) заряд на конденсаторе остается постоянным, равным  $q$ , а в случае б) неизменно напряжение, равное  $q/C$ . Тепло  $Q=-\Delta W$ , где  $\Delta W$  - изменение энергии конденсатора. В случае

а)  $Q > 0$ , тепло выделяется. В случае б)  $Q < 0$ , тепло поглощается.

### Программа С.

- С.1.  $C' = (4/3)C$ . *Указание.* При подключении схемы к любому источнику постоянного напряжения разность потенциалов на среднем конденсаторе  $C$  равна нулю, поэтому его обкладки можно замкнуть накоротко, не изменяя емкости системы.
- С.2.  $C = 2\pi\epsilon_0 R(1 + \epsilon)$ . *Указание.* Рассмотрите систему как параллельное соединение двух полусфер: с диэлектриком и без диэлектрика.
- С.3.  $W = 2q^2/C$ ;  $q_1 = -q_2 = 2q$ . *Указание.* Энергия конденсатора есть энергия электрического поля в объеме  $V$  конденсатора:  
 $W = \epsilon_0 E^2 V / 2$ .
- С.4. Ток потечет от правой пластины к левой.
- С.5.  $q' = Q / (2 + 4\pi\epsilon_0 R/C)$ . *Указание.* Используйте закон сохранения заряда и тот факт, что разность потенциалов между шарами должна стать равной напряжению на конденсаторе.
- С.6. Емкость увеличится. *Указание.* Рассмотрите влияние индуцированных на поверхностях коробки зарядов на разность потенциалов между обкладками конденсатора.

## 1.4. Постоянный ток

### Программа А.

- А.1. Сопротивление проводника  $R = U/I = 12/2 = 6 \text{ Ом}$ .
- А.2. При последовательном соединении  $R = 2 + 4 = 6 \text{ Ом}$ , при параллельном соединении  $R = 2 \times 4 / (2 + 4) = 4/3 \text{ Ом}$ .
- А.3. Ток через резисторы одинаковый, поэтому  
 $U_2/U_1 = IR_2/IR_1 = R_2/R_1 = 5$ .
- А.4.  $U_2/U_1 = R/(R/2) = 2$  (см. задачи А.2 и А.3).
- А.5.  $A_{\text{ст}} = q\mathcal{E}$ , откуда  $\mathcal{E} = A_{\text{ст}}/q = 2 \text{ В}$ .
- А.6. Направление тока - по часовой стрелке. Источники соединены последовательно.
- А.7. Если этот участок цепи представляет собой активное сопротивление.

A.8. КПД источника тока равен отношению мощности, выделяющейся во внешней цепи, к полной мощности:

$$\eta = P_{\text{внеш}} / P_{\text{полн}} = I^2 R / I^2 (R+r) = R / (R+r) = 1 / (1+r/R).$$

Отсюда  $R/r = \eta / (1-\eta) = 4$ .

A.9. Можно. Для точных измерений амперметр должен иметь малое сопротивление. Так как вольтметр обладает большим внутренним сопротивлением  $R_B$ , необходимо параллельно вольтметру подключить резистор с небольшим сопротивлением  $R$ . Сопротивление амперметра будет равно

$$R_A = R_B R / (R_B + R) \approx R, \text{ если } R \ll R_B.$$

A.10. Можно. Для точных измерений вольтметр должен обладать большим сопротивлением. Так как амперметр обладает малым сопротивлением  $R_A$ , необходимо последовательно с амперметром включить резистор с большим сопротивлением  $R$ . Сопротивление вольтметра будет равно  $R_B = R_A + R \approx R$ .

### Программа В.

B.1. См.рис. 1.15.

B.2. Проводник надо разрезать на  $n = \sqrt{100} = 10$  частей.

B.3.  $R = \lambda a(a+2b) / 2(a+b)$ .

B.4. Последовательно с вольтметром необходимо включить резистор с сопротивлением  $R_A = (n-1)R_B$ .

B.5. Параллельно с амперметром необходимо включить резистор с сопротивлением  $R_{\text{ш}} = R_A / (n-1)$ .

B.6. Амперметр покажет ноль. Указание. Воспользуйтесь законом Ома для неоднородного участка цепи.

B.7. а)  $U = \mathcal{E} - Ir$ ; б)  $U = \mathcal{E} + Ir$ .

B.8. Увеличится. Указание. Количество теплоты  $Q = U^2 / R$ , где  $R = \rho l / S$ .

B.9. При параллельном:

$$Q_{\text{парал}} / Q_{\text{доск}} = 2R / (R/2) = 4.$$

B.10. См.рис. 1.16.  $P = I\mathcal{E} - I^2 r$ ,  $P_{\text{max}} = \mathcal{E}^2 / 4r$ .

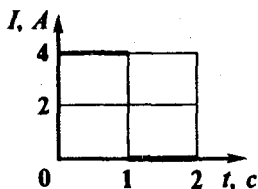


Рис. 1.15

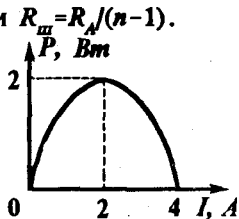


Рис. 1.16

В.11. См.рис. 1.17.

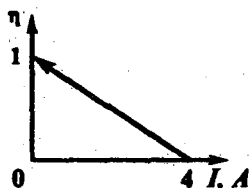


Рис. 1.17

**Программа С.**

С.1.  $q=3$  Кл. Указание. Заряд численно равен площади под графиком  $I(t)$ .

С.2. Необходимо собрать две схемы (рис. 1.18) и по показаниям амперметра и вольтметра в каждой из них определить неизвестное сопротивление:  $R=U/I_1-(U_2-U_1)/I_2$ . Здесь  $U_1$  и  $I_1$ ,  $U_2$  и  $I_2$  - показания вольтметра и амперметра в схемах а) и б), соответственно.

С.3. Если дуга  $AB$  - половина окружности длины  $l$ . См.рис. 1.19.

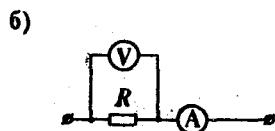
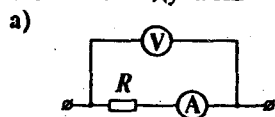


Рис. 1.18

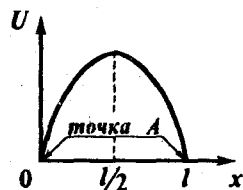


Рис. 1.19

С.4. Ток течет от  $B$  к  $A$ . Указание. Воспользуйтесь законом Ома для неоднородного участка цепи.

С.5. См.рис. 1.20.

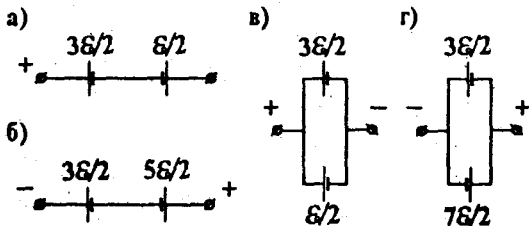


Рис. 1.20

С.6. В медной проволоке, т.к. ее удельное сопротивление меньше.

- С.7. Нет:  $Q=C\mathcal{E}^2/2$ ,  $\Delta W=-3C\mathcal{E}^2/2$ . Указание. Работа сторонних сил в источнике равна приращению энергии конденсатора и количеству выделившегося тепла:  $A_{\text{ист.}}=Q+\Delta W$ .
- С.8. См.рис. 1.21. Сопротивление резистора  $R=7 \text{ Ом}$ .

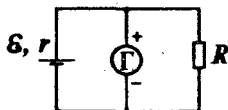


Рис. 1.21

### 1.5. Электромагнетизм

#### Программа А.

- А.1. а) Вертикально вниз; б) сила Ампера равна нулю; в) "на нас". Указание. Воспользуйтесь правилом левой руки.
- А.2. Вправо. Указание. Если ток течет по параллельным проводам в одном направлении, то они притягиваются.
- А.3.  $I > \mu mg / Bl$ .
- А.4. а) Вертикально вверх; б) вертикально вниз.
- А.5.  $R = mv / |q| B$ .
- А.6.  $T = 2\pi m / |q| B$ .
- А.7. а)  $\Phi = BS$ ; б)  $\Phi = BS\sqrt{3}/2$ ; в)  $\Phi = 0$ ; г)  $\Phi = -BS$ .
- А.8. Увеличится.
- А.9.  $|\mathcal{E}_{\text{ин}}| = 0,4 \text{ В}$ .

#### Программа В.

- В.1. а)  $A=0$ ; б)  $A=1/8$ . Указание. Воспользуйтесь принципом суперпозиции магнитных полей.
- В.2. Нулю.
- В.3. Отталкивается. При изменении направления тока контур будет притягиваться, Указание. Контур с током можно заметить постоянным магнитом (рис. 1.22).
- В.4. Отталкиваются. См.указание к задаче В.3.
- В.5. Ускорение равно нулю. См.указание к задаче В.1.
- В.6. Равна нулю за любой промежуток времени. Указание. Сила Лоренца перпендикулярна скорости заряженной частицы.

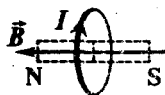


Рис. 1.22

В.7. См.рис. 1.23.

В.8. Согласно правилу Ленца: а) против часовой стрелки; б) по часовой стрелке. *Указание.* Индукция магнитного поля прямого провода с током  $B = \mu_0 I / (2\pi r)$ , где  $r$  - кратчайшее расстояние до провода.

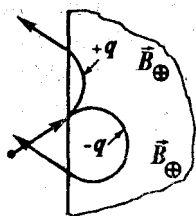


Рис. 1.23

В.9. См.рис. 1.24.

В.10. Согласно правилу Ленца: от В к С.

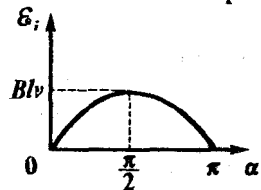


Рис. 1.24

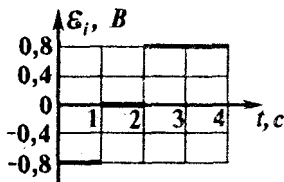


Рис. 1.25

В.11. См.рис. 1.25.

### Программа С.

С.1. По спирали. Радиус спирали  $R = mv \sin \alpha / |q|B$ , шаг спирали  $h = 2\pi mv \cos \alpha / |q|B$ .

С.2.  $v_{\min} = E/B$ .

С.3. а) Одинаковый; б) в первом случае больше. *Указание.* Прощедший заряд определяется изменением магнитного потока, а работа - ЭДС самоиндукции.

С.4. Потенциал точки В выше. *Указание.* Утверждение "ток течет от точки с большим потенциалом к точке с меньшим потенциалом" справедливо только для однородного участка цепи.

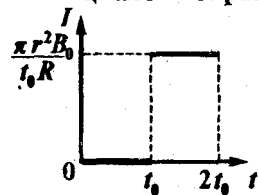


Рис. 1.26

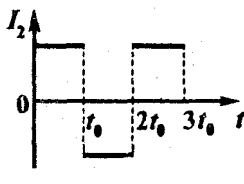


Рис. 1.27

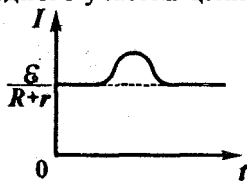


Рис. 1.28



- С.5. См.рис. 1.26.  $Q=(\pi r^2 B_0)^2/(Rl_0^2)$ .  
 С.6. См.рис. 1.27.  
 С.7.  $\mathcal{E}_i = -Ldl/dt = 2LI_0/t_0^2$ .  
 С.8. См.рис. 1.28.  
 С.9. См.рис. 1.29.

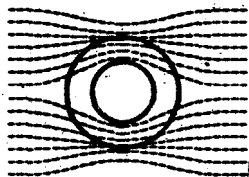


Рис. 1.29

## Глава 2. Колебания и волны

### 2.1. Механические колебания и волны

#### Программа А.

- А.1. а)  $x(0)=5\cos(\pi/2)=0$ ; б)  $A=5$  м,  $\omega=\pi$  рад/с,  $\varphi_0=\pi/2$ ;  
 в)  $v_m=A\omega=5\pi$  м/с.  
 А.2. а)  $\omega=2\pi/T=2\pi/2\pi=1$  рад/с; б)  $x(t)=\sin t$ ; в)  $v_x=\cos t$ ; по абсолютной величине в точке В.  
 А.3.  $m_2=4$  кг. Указание. Период колебаний пружинного маятника  $T=2\pi\sqrt{(m/k)}$ , где  $k$  - жесткость пружины.  
 А.4.  $mg-kA < P < mg+kA$ . Невесомость при  $A \geq mg/k$ .  
 А.5. У второго короче в 9 раз. Указание. Частота колебаний математического маятника  $\nu=(1/2\pi)\sqrt{(g/l)}$ , где  $l$  - длина нити.  
 А.6.  $E=kA^2/2$ . Не изменится.  
 А.7.  $T=4\tau$ .  
 А.8. Математический маятник не колеблется:  $T=\infty$ ; пружинный колеблется с периодом  $T=2\pi\sqrt{(m/k)}$ . Указание. Система отсчета, связанная со спутником, является неинерциальной; она движется с ускорением свободного падения относительно Земли.  
 А.9. При  $\nu=\nu l$  амплитуда колебаний моста резко возрастает. Указание. Рассмотрите явление резонанса, в котором шаги человека являются периодической вынуждающей силой.

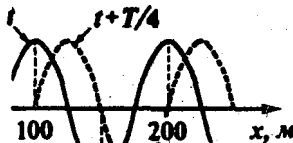


Рис. 2.1

- А.10.  $\lambda=100$  м;  $T=\lambda/\nu=1$  с. См.рис. 2.1.

### Программа В.

- В.1.  $x(t) = 0,01 \cos(\pi t/4 + \pi/2) = -0,01 \sin(\pi t/4)$ .
- В.2.  $\omega = a_m/v_m$ ;  $A = v_m^2/a_m$ .
- В.3. а)  $\omega = 2 \text{ рад/с}$ ; б) точкой В. *Указание.* а) Воспользуйтесь графиком  $v_x(x)$  для нахождения максимальных значений смещения и скорости, а также ответом к задаче В.2. б) Период колебания тела  $T = 2\pi/\omega = \pi$  секунд.
- В.4. Амплитуда одинакова в обоих случаях.
- В.5.  $T = 2\pi\sqrt{A/g}$ .
- В.6.  $v_2/v_1 = 2$ .
- В.7.  $T = 0,5 \text{ с}$ . *Решение.* Поплавок совершает гармонические колебания под действием квазиупругой силы  $F = F_A - mg = (\rho g S x + mg) - mg = \rho g S x$ , возникающей при погружении поплавка на  $x$  (здесь  $S$  - сечение поплавка массы  $m$ ). Отсюда коэффициент квазиупругой силы  $k = \rho g S$ , а период колебаний поплавка  $T_2 = 2\pi\sqrt{m/k} = 2\pi\sqrt{m/\rho g S}$ . Учитывая, что  $T_1 = 2\pi\sqrt{m/\rho_s g S}$ , получим  $T_2 = T_1\sqrt{\rho_s/\rho} = 0,5 \text{ с}$ .
- В.8.  $T = 2\pi\sqrt{l/\sqrt{a^2 + g^2}}$ . Изменится.
- В.9.  $E = F\Delta x/2$ .
- В.10. а)  $E = ME_0/(M+m)$ ; б)  $E = E_0$ , где  $E_0$  - энергия колебаний до падения шарика. *Указание.* Воспользуйтесь законом сохранения горизонтальной проекции импульса; примите также во внимание изменение массы колеблющейся системы.
- В.11.  $E = mgl\alpha^2/2$ ;  $A = mv^2/2$ .
- В.12. Уменьшилась в 4 раза; перешла во внутреннюю энергию колеблющегося тела и окружающей среды.
- В.13.  $v_1 < v_2$ . *Указание.* Расстояние между соседними штриховыми линиями равно длине волны, которая при одинаковой частоте источника прямо пропорциональна скорости распространения волны в данной среде.
- В.14. Вниз (см.рис. 2.2).

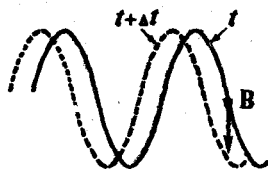


Рис. 2.2

### Программа С.

С.1.  $v_m = 2$  м/с. Указание. Проекция ускорения и смещение точки связаны соотношением  $a_x = -\omega^2 x$ . Воспользуйтесь графиком для отыскания  $\omega$  и по значениям  $\omega$  и  $x_m$  определите  $v_m$ .

С.2. См.рис. 2.3.  $T' = T/2$  в обоих случаях.

С.3.  $a' = \sqrt{ag}$ .

С.4.  $T_0 / T_a = \sqrt{(g - v^2/R)} / \sqrt{(g + v^2/R)}$ .

С.5.  $T = 2\pi \sqrt{(l/\sqrt{(a^2 + g^2 - 2agsin\alpha)})}$ .

С.6.  $\omega' = \omega / \sqrt{\cos\alpha}$ .

С.7.  $\omega_1 / \omega_2 = \sqrt{(\rho_2 / \rho_1)}$ ;

$E_1 / E_2 = (\rho_2 - \rho_1)^2 / (\rho_2 + \rho_1)^2$ . Указание. Из решения задачи В.7 видно, что  $k_1 = k_2$ , но  $m_1 \neq m_2$ . Кроме того, амплитуды колебаний двух кубиков различны, поскольку в равновесии различна высота погруженной части.

С.8. См.рис. 2.4.  $\omega = 100$  рад/с.

С.9. а) Гармонические колебания; б) удаление от положения неустойчивого равновесия с возрастающим ускорением; в) равномерное прямолинейное движение.

С.10. См.рис. 2.5.  $A_c = -(8/9)E_0$ .

С.11. См.рис. 2.6.

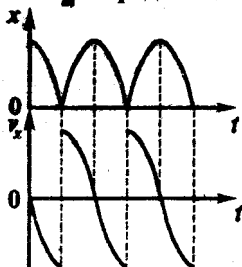


Рис. 2.3

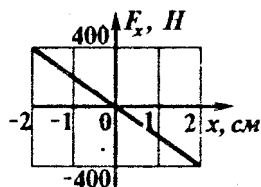


Рис. 2.4

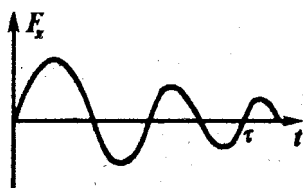


Рис. 2.5

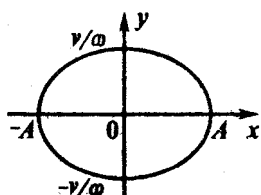


Рис. 2.6

С.12.  $v_2 / v_1 = 4/3$ . Указание. Так как скорость распространения волн в обоих случаях одинакова, то длина волны пропорциональна частоте, а количество пучностей равно числу полуволин, укладываемых на длине шнура.

## 2.2. Переменный ток. Электромагнитные колебания и волны

### Программа А.

- A.1. а)  $I_A = 1,41 \text{ А}$ ,  $I_A = I_A / \sqrt{2} = 1 \text{ А}$ ; б)  $I = 0$ .
- A.2.  $Q = I_A^2 R \tau = 200 \text{ Дж}$ .
- A.3.  $\lambda = 2\lambda_0$ . *Указание.* Период электромагнитных колебаний в контуре  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ . Длина волны  $\lambda = \nu T$ , где  $\nu$  - скорость распространения электромагнитных волн.
- A.4.  $\mathcal{E}_1 = q_m / C$ ;  $E = q_m^2 / 2C$ . *Указание.* Максимальные значения напряжения на конденсаторе и катушке индуктивности равны друг другу. Энергия колебаний равна максимальной энергии конденсатора.
- A.5. В конденсаторе и катушке; в катушке; в конденсаторе.

### Программа В.

- B.1. а) Увеличится; б) уменьшится. *Указание.* Емкостное сопротивление конденсатора  $X_C = 1/\omega C$ , индуктивное сопротивление катушки  $X_L = \omega L$ , где  $\omega$  - частота переменного тока.
- B.2. Тот, который совершает полезную работу, т.к. его частота вращения и, следовательно, ЭДС индукции, меньше. Сила тока в обмотке мотора пропорциональна разности между напряжением в цепи и ЭДС индукции.
- B.3.  $U_2 = \text{const}$  (со временем не изменяется). *Указание.* Напряжение во вторичной обмотке пропорционально скорости изменения магнитного потока в сердечнике, т.е. скорости изменения тока в первичной обмотке.
- B.4. См. рис. 2.7.  $v = v_0 \sqrt{1 + t/\tau}$ , где  $v_0 = (1/2\pi) \sqrt{(d_0 / LS \epsilon_0)}$ .
- B.5.  $U_m = RU \sqrt{C/L}$ ;  $Q = CU^2/2$ . *Указание.* Максимальное напряжение на резисторе будет в момент замыкания ключа К2:  $U_m = RI_m$ , где  $I_m$  - максимальный ток через катушку. Энергия, запасенная к этому моменту в катушке, выделится в виде тепла на резисторе.

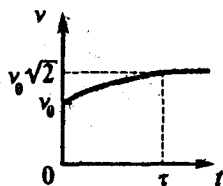


Рис. 2.7

### Программа С.

- С.1.  $I_n = 1,5 \text{ A}$ .
- С.2.  $k^1 = k/2$ .
- С.3.  $\omega' = \omega/2$ . *Указание.* Найдите зависимость механической мощности  $P = \mathcal{E}I$  от угловой скорости вращения вала  $\omega$  с учетом того, что ЭДС индукции пропорциональна  $\omega$ ,  $I = (U - \mathcal{E})/R$  и  $P(\omega = \omega_0) = 0$ . Затем с помощью производной найдите максимум функции  $P(\omega)$ .
- С.4. Емкость была увеличена в 4 раза.
- С.5.  $C = 1/(\omega^2 L)$ ;  $P_m^2 = U_m^2/2R$ .

## Глава 3.

### 3.1. Геометрическая оптика

#### Программа А.

- А.1. 40 см.
- А.2.  $35^\circ$ .
- А.3.  $n = 1/\arcsin(30^\circ) = 2$ .
- А.4. На бесконечности.
- А.5. Всегда.
- А.6. а)  $d < F$ ; б)  $d > 2F$ ; в)  $F < d < 2F$ .
- А.7. См. рис. 3.1.

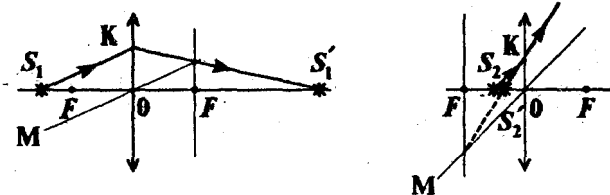


Рис. 3.1

А.8. См.рис. 3.2.

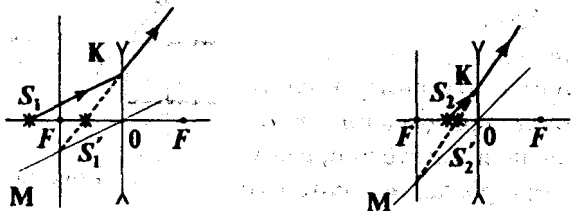


Рис. 3.2

Программа В.

В.1. См.рис. 3.3.

В.2.  $2\varphi$ .

В.3. См.рис. 3.4.

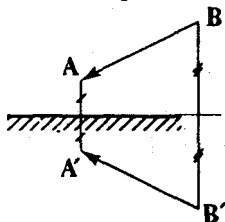


Рис. 3.3

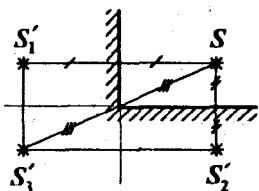


Рис. 3.4

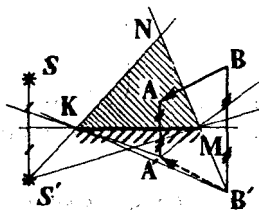


Рис. 3.5

В.4. См.рис. 3.5. Треугольник  $KNM$  - область полной видимости.

В.5. См.рис. 3.6. Указание. Так как  $\sin 30^\circ > 1/2,5$ , то на границе раздела сред луч света испытывает полное внутреннее отражение.

В.6. См.рис. 3.7.

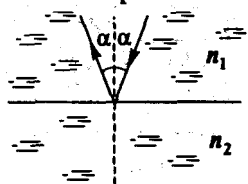


Рис. 3.6

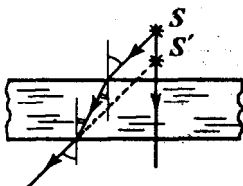


Рис. 3.7

В.7. Не увидит.

В.8. См.рис. 3.8.

В.9.  $\operatorname{tg} \alpha = n_2 / n_1$ .

В.10. Надо поместить линзу в среду, показатель преломления которой больше показателя преломления материала, из которого изготовлена линза. Подходит.

В.11. См.рис. 3.9.

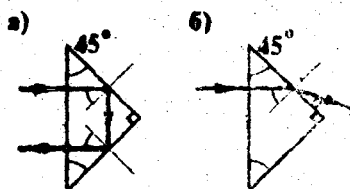


Рис. 3.8

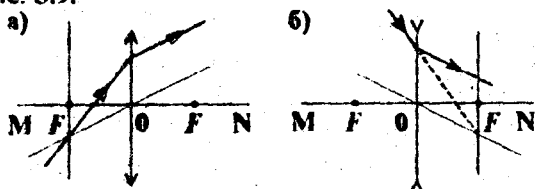


Рис. 3.9

В.12.  $-1/d + 1/f = 1/F$ .

В.13. Оптическая сила двояковыпуклой линзы в два раза больше.

### Программа С.

С.1. а)  $v_{\text{отн}} = 2v$ ; б)  $v_{\text{отн}} = 2v \sin \alpha$ .

С.2. См.рис. 3.10.

С.3. См.рис. 3.11. Указание. На границе раздела стекло-воздух луч будет испытывать полное внутреннее отражение.

С.4. Нет.

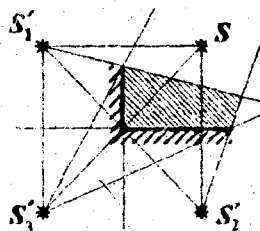


Рис. 3.10

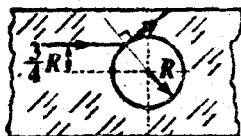


Рис. 3.11

С.5. См.рис. 3.12.

С.6. См.рис. 3.13.

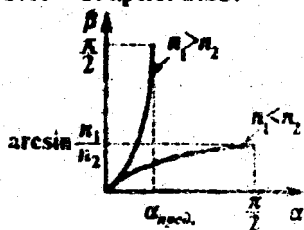


Рис. 3.12

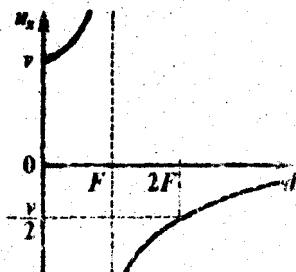


Рис. 3.13

С.7. См.рис. 3.14.

С.8. См.рис. 3.15.

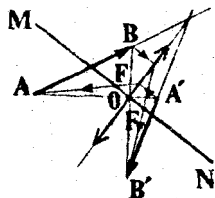


Рис. 3.14

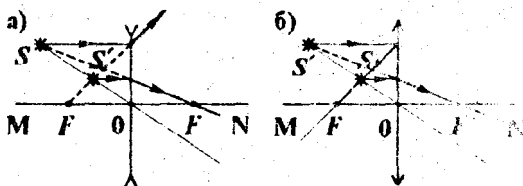


Рис. 3.15

С.9. См.рис. 3.16.

С.10.  $D = D_1 + D_2 = (F_1 + F_2) / F_1 F_2$ .

С.11. Оптическая сила получившейся системы  $D = -(2/R)(n_c - n_b)$ .

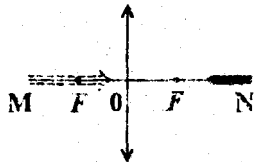


Рис. 3.16

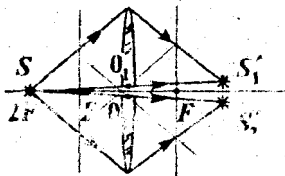


Рис. 3.17

С.12. См.рис. 3.17.



### 3.2. Волновые и квантовые свойства света

#### Программа А.

- А.1.  $v=c/n=2 \times 10^8$  м/с.
- А.2. Нет; меняется только длина волны.
- А.3. Нет; будет видна спектральная полоса, включающая цвета от красного до фиолетового.
- А.4. Энергия фотонов красного света меньше:  
 $E_{\text{кп}}/E_{\text{ф}} = h\nu_{\text{кп}}/h\nu_{\text{ф}} = \lambda_{\text{ф}}/\lambda_{\text{кп}} = 4/7$ .
- А.5. Во втором случае.

#### Программа В.

- В.1.  $l_1/l_2 = n_2/n_1$ .
- В.2. С длиной волны  $\lambda_1 = 400$  нм. Указание. С увеличением длины волны показатель преломления уменьшается.
- В.3. Красный. См. задачу А.2.
- В.4. Световые волны, излучаемые лампочками, не являются когерентными.
- В.5. См. рис. 3.18.  $N = P\lambda/hc$ .
- В.6. См. рис. 3.19.  $v = \sqrt{(2(h\nu - A_{\text{вых}})/m)}$ .

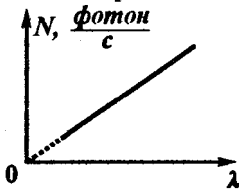


Рис. 3.18

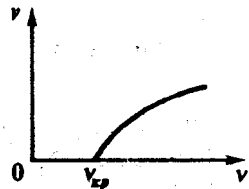


Рис. 3.19

- В.7. В первом случае. Указание. Воспользуйтесь уравнением Эйнштейна для фотоэффекта.

#### Программа С.

- С.1. С помощью призмы полного отражения.
- С.2. Во всех случаях ширина полос будет увеличиваться. Указание. Ширина интерференционных полос в опыте Юнга  $\Delta x = \lambda/d$ .

Здесь  $l$  - расстояние от источников волн до экрана;  $d$  - расстояние между источниками;  $\lambda$  - длина волны.

С.3. Черная поверхность практически целиком поглощает свет.  
*Указание.* Проведите аналогию с абсолютно упругим и абсолютно неупругим соударениями шарика с поверхностью.

С.4. Во втором.

С.5.  $N = I_{\text{вас.}} / |e|$ .

**ПРИЛОЖЕНИЕ**  
Основные величины и соотношения

Величина или соотношение	Формула	Пояснения
Закон Кулона	$ \vec{F}  = \frac{ q_1  \times  q_2 }{4\pi\epsilon_0 r^2}$ $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н} \times \text{м}^2)$	$\vec{F}$ - сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме; $r$ - расстояние между зарядами
Напряженность электрического поля	Определение: $\vec{E} = \vec{F}/q$ Точечный заряд $Q$ : $E = kQ/\epsilon r^2$ Сфера или проводящий шар: $E = 0, r < R$ $E = kQ/4\epsilon r^2, r \geq R$	$r$ - расстояние от точечного заряда или от центра сферы (шара); $\epsilon$ - относительная диэлектрическая проницаемость среды; $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \times 10^9 \text{ Н} \times \text{м}^2/\text{Кл}^2$
Потенциал электрического поля	Точечный заряд $Q$ : $\phi = kQ/(\epsilon r)$ Сфера или проводящий шар: $\phi = kQ/\epsilon R, r < R$ $\phi = kQ/\epsilon r, r \geq R$	$R$ - радиус сферы (шара)
Работа сил электрического поля	$A_{\text{сил поля}} = q(\phi_{\text{нач}} - \phi_{\text{кон}})$	$\phi_{\text{нач}}$ и $\phi_{\text{кон}}$ - начальный и конечный потенциалы точек поля
Связь между напряженностью поля и разностью потенциалов	Координатная форма: $E_x = -(\phi_{\text{кон}} - \phi_{\text{нач}})/(x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}})$ Связь между величинами: $ \vec{E}  = U/d$	Используется, как правило, при построении графиков $U =  \phi_{\text{кон}} - \phi_{\text{нач}} ; \quad d =  x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}} $
Емкость	Уединенный проводник: $C = q/\phi$ Два проводника: $C = q/U$ Плоский конденсатор: $C = \epsilon\epsilon_0 S/d$	$\phi$ - потенциал проводника $U$ - разность потенциалов между проводниками; $S$ - площадь пластины; $d$ - расстояние между пластинами
Соединение конденсаторов (эквивалентная емкость)	Последовательное: $1/C_{\text{вкл}} = \sum 1/C_i; \quad q_1 = q_2 = \dots = q_n$ Параллельное: $C_{\text{вкл}} = \sum C_i; \quad U_1 = U_2 = \dots = U_n$	Заряд конденсаторов одинаковый  Напряжение на конденсаторах одинаковое
Энергия конденсатора	$W = qU/2 = CU^2/2 = q^2/2C$	

Сила тока	Средняя: $I = \Delta q / \Delta t$	Мгновенная: $I = dq / dt$	$\Delta q$ - заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время $\Delta t$
Плотность тока	$j = I / S$		$S$ - площадь поперечного сечения проводника
Сопротивление проводника	$R = \rho l / S$ Зависимость от температуры: $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$		$\rho$ - удельное сопротивление проводника длины $l$ ( $\rho_0$ при $0^\circ\text{C}$ ); $\alpha$ - термический коэффициент сопротивления
Закон Ома для участка цепи	$I = U / R$		$U$ - разность потенциалов на концах участка сопротивлением $R$
Соединение проводников (эквивалентное сопротивление)	Последовательное: $R_{\text{экв}} = \sum R_i$ ; $I_1 = I_2 = \dots = I_n$ Параллельное: $1/R_{\text{экв}} = \sum 1/R_i$ ; $U_1 = U_2 = \dots = U_n$		Сила тока в проводниках одинакова  Напряжение на всех проводниках одинаково
ЭДС источника тока	$\mathcal{E} = A_{\text{ст.}} / \Delta q$		$A_{\text{ст.}}$ - работа сторонних сил по перемещению заряда $\Delta q$

Закон Ома для замкнутой цепи	$I = \mathcal{E} / (R + r)$ Ток короткого замыкания: $I_{\text{к.з.}} = \mathcal{E} / r$		$R$ - внешнее сопротивление цепи; $r$ - внутреннее сопротивление источника
Закон Ома для неоднородного участка цепи	$\Phi_{\text{ввч}} + \sum (\pm \mathcal{E}_i) + \sum (\pm I R_i) + \sum (\pm I r_i) = \Phi_{\text{кон}}$		Знак "+" у $\mathcal{E}_i$ , если ток "входит" в отрицательную обкладку источника; Знак "+" у $I R_i$ или $I r_i$ , если направление тока и обхода от $\Phi_{\text{ввч}}$ к $\Phi_{\text{кон}}$ противоположны
Мощность тока	$P = IU$		
Закон Джоуля-Ленца	$Q = I^2 R t$		$Q$ - количество теплоты, выделившейся в проводнике за время $t$
КПД источника тока	$\eta = P_{\text{внеш.}} / P_{\text{ист.}} = I^2 R / I \mathcal{E}$		$P_{\text{внеш.}}$ - мощность во внешней цепи; $P_{\text{ист.}}$ - мощность источника
Закон Фарадея для электролиза	$m = 1/F \times A / n \times \Delta q$ $F = 96,5 \times 10^3 \text{ Кл/моль}$		$m$ - масса выделившегося вещества; $A$ - его атомная масса; $n$ - валентность

Индукция магнитного поля	Прямой проводник с током: $B(r) = \mu_0 I / (2\pi r)$ Круговой ток: $B(0) = \mu_0 I / (2R)$ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Н/А}^2$	$r$ - расстояние от проводника  $B(0)$ - индукция в центре кольца радиуса $R$
Сила Ампера	$ \vec{F}_A  = IB\Delta l \sin\alpha$	$I$ - ток в проводнике длины $\Delta l$ ; $\alpha$ - угол между $\vec{B}$ и направлением тока
Сила Лоренца	$ \vec{F}_L  =  q vB \sin\alpha$	$\alpha$ - угол между скоростью $\vec{v}$ заряда и индукцией поля $\vec{B}$
Правило "левой руки"	Направление сил Ампера и Лоренца (для $q > 0$ ) определяется по правилу "левой руки": магнитные силовые линии входят в ладонь, четыре пальца - по направлению тока (скорости), отогнутый большой палец показывает направление силы	
Магнитный поток	$\Phi = BS \cos\alpha$	$\alpha$ - угол между нормалью $\vec{n}$ к площадке $S$ и $\vec{B}$
ЭДС индукции	Средняя: $\mathcal{E}_i = -\Delta\Phi / \Delta t$	Мгновенная: $\mathcal{E}_i = -d\Phi/dt$  $\Delta\Phi = \Phi_{\text{кон}} - \Phi_{\text{нач}}$ - изменение магнитного потока за время $\Delta t$  $\beta$ - угол между $\vec{v}$ и $\vec{B}$
	В движущемся проводнике: $ \mathcal{E}_i  = Blv \sin\beta$	

ЭДС самоиндукции	Средняя: $\mathcal{E}_s = -L(\Delta I / \Delta t)$	Мгновенная: $\mathcal{E}_s = -L(dI/dt)$	$L$ - индуктивность цепи (контура); $\Delta I$ - изменение тока в цепи (контуре) за время $\Delta t$
Уравнение гармонических колебаний	Смещение: $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ Скорость: $v_x = dx/dt = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$		$A$ - амплитуда колебаний; $\omega$ - циклическая частота; $\varphi_0$ - начальная фаза
Период колебаний	$T = 2\pi / \omega$ Математический маятник: $T = 2\pi \sqrt{l/g}$ Пружинный маятник: $T = 2\pi \sqrt{m/k}$		$l$ - длина нити $m$ - масса тела; $k$ - жесткость пружины
Энергия гармонических колебаний	$E = m\omega^2 A^2 / 2$		
Длина волны	$\lambda = vT$		$v$ - скорость распространения волны
Колебательный контур	Период колебаний: $T = 2\pi \sqrt{LC}$ Энергия колебаний: $W = q_m^2 / 2C = LI_m^2 / 2$		$L, C$ - индуктивность и емкость контура $q_m$ - максимальный заряд конденсатора; $I_m$ - максимальный ток в катушке

Переменный ток	Сила тока: $I = I_m \sin(\omega t + \varphi_0)$ Действующее значение: $I_x = I_m / \sqrt{2}$	$I_m$ - амплитудное значение силы тока
Показатель преломления	$n = c/v$	$c, v$ - скорость света в вакууме и в среде
Закон преломления лучей	$\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1 \equiv n_{21}$	$\alpha$ - угол падения; $\beta$ - угол преломления; $n_2$ и $n_1$ - показатели преломления
Предельный угол	$\sin \alpha_{\text{пред}} = n_2 / n_1$	Условие: $n_1 > n_2$
Формула тонкой линзы	Собирающая линза: $1/d + 1/ f  = 1/F, d > F$ $1/d - 1/ f  = 1/F, d < F$ Рассеивающая линза: $1/d - 1/ f  = -1/ F $	$d, f$ - расстояния от линзы до предмета и изображения; $F$ - фокусное расстояние линзы
Увеличение линзы	$\Gamma =  f/d $	Отношение линейных размеров изображения и предмета
Оптическая сила линзы	$D = 1/F$	

Энергия фотона	$E = h\nu = hc/\lambda$ Постоянная Планка $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Дж} \times \text{с}$	$\nu$ - частота колебаний световой волны; $\lambda$ - длина волны
Импульс фотона	$p = h\nu/c$	
Фотоэффект	Уравнение: $hc/\lambda = mv_m^2/2 + A_{\text{вых}}$ Красная граница: $hc/\lambda_{\text{кр}} = A_{\text{вых}}$	$A_{\text{вых}}$ - работа выхода электрона; $v_m$ - максимальная скорость электрона
Энергия ионизации атома водорода	$E_i = 13,6 \text{ эВ}$	$1 \text{ эВ} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж}$

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Глава 1. Электричество и магнетизм .....	5
1.1. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Потенциал .....	5
1.2. Проводники и диэлектрики в электрическом поле .....	9
1.3. Электроемкость. Конденсаторы .....	12
1.4. Постоянный ток .....	15
1.5. Электромагнетизм .....	19
Глава 2. Колебания и волны .....	23
2.1. Механические колебания и волны .....	23
2.2. Переменный ток. Электромагнитные колебания и волны .....	29
Глава 3. Оптика .....	32
3.1. Геометрическая оптика .....	32
3.2. Волновые и квантовые свойства света .....	36
Ответы .....	39
Приложение .....	60