13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
26
27
31
32

ВСЕ ЗАДАНИЯ

М. Ю. Демидова, В. А. Грибов,
А. И. Гиголо

ФИЗИКА

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА
КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ

ЕГЭ 500 ЗАДАЧ

С ОТВЕТАМИ И РЕШЕНИЯМИ

- Более 500 заданий по темам «Электродинамика», «Квантовая физика» и «Качественные задачи»
- Решения
- Ответы

ЕГЭ

950 ЗАДАЧ

М. Ю. Демидова
В. А. Грибов
А. И. Гиголо

ФИЗИКА

Электродинамика
Квантовая физика
Качественные задачи

500 ЗАДАЧ
С ОТВЕТАМИ И РЕШЕНИЯМИ

Более 500 заданий
по темам «Электродинамика»,
«Квантовая физика» и «Качественные задачи»
Решения
Ответы

Издательство
«ЭКЗАМЕН»
МОСКВА, 2021

УДК 372.8:53
ББК 74.262.22
Д30

Имена авторов, название и содержание произведений используются в данной книге в учебных целях в объёме, оправданном целью цитирования (ст. 1274 п. 1 части четвёртой Гражданского кодекса Российской Федерации).

Демидова М. Ю.

Д30 ЕГЭ. Физика. Электродинамика. Квантовая физика. Качественные задачи. 500 задач с решениями и ответами / М. Ю. Демидова, В. А. Грибов, А. И. Гиголо. — М. : Издательство «Экзамен», 2021. — 349, [3] с. (Серия «950 задач»)

ISBN 978-5-377-16433-3

Задания по физике, аналогичные заданиям из банка заданий ЕГЭ.

В серию входит два сборника, содержащие суммарно более 950 заданий Единого государственного экзамена по темам «Механика», «Молекулярная физика», «Электродинамика», «Квантовая физика» и «Качественные задачи».

В пособии приведены ответы ко всем заданиям, а также решения всех сложных задач, требующих развернутого ответа.

Пособие необходимо учителям, учащимся старших классов, их родителям, а также методистам и членам приемных комиссий.

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

УДК 372.8:53
ББК 74.262.22

Формат 60x90/16. Гарнитура «Школьная».
Бумага газетная. Уч.-изд. л. 12,83. Усл. печ. л. 22.
Тираж 10 000 экз. Заказ № 1320.

ISBN 978-5-377-16433-3

© Демидова М. Ю., Грибов В. А., Гиголо А. И., 2021
© Издательство «***ЭКЗАМЕН***», 2021

Содержание

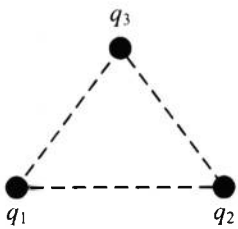
1. Электродинамика (Электричество) 4
1.1. Задачи с кратким ответом 4
Электростатика 4
Постоянный ток 12
1.2. Задания с развёрнутым ответом 16
2. Электродинамика (Электромагнитное поле) 48
2.1. Задачи с кратким ответом 48
Магнитное поле 48
Электромагнитная индукция 55
Электромагнитные колебания и волны 58
Оптика 61
2.2. Задания с развёрнутым ответом 67
3. Квантовая физика 99
3.1. Задачи с кратким ответом 99
3.2. Задания с развёрнутым ответом 109
4. Качественные задачи с развёрнутым ответом 126
Ответы 172
1. Электродинамика (Электричество) 172
1.1. Задачи с кратким ответом 172
1.2. Задачи с развёрнутым ответом 173
2. Электродинамика (Электромагнитное поле) 211
2.1. Задачи с кратким ответом 211
2.2. Задачи с развёрнутым ответом 212
3. Квантовая физика 261
3.1 Задачи с кратким ответом 261
3.2. Задания с развёрнутым ответом 262
4. Качественные задачи с развёрнутым ответом 294

1. Электродинамика (Электричество)

1.1. Задачи с кратким ответом

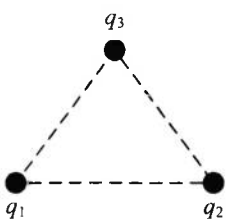
Электростатика

1. Три одинаковых маленьких медных шарика расположены в воздухе в вершинах правильного треугольника со стороной 20 см. Первый шарик несёт заряд $q_1 = 40$ нКл, второй $q_2 = 30$ нКл, а третий $q_3 = 80$ нКл. С какой силой третий шарик действует на первый?



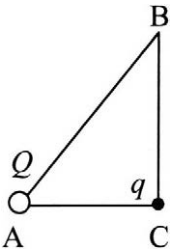
Ответ: _____ мН.

2. Три одинаковых маленьких медных шарика расположены в воздухе в вершинах правильного треугольника со стороной 20 см. Первый шарик несёт заряд $q_1 = 80$ нКл, второй $q_2 = 60$ нКл, а третий $q_3 = 20$ нКл. С какой силой второй шарик действует на третий?



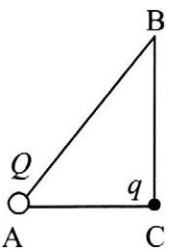
Ответ: _____ мН.

3. В треугольнике ABC угол C — прямой. В вершине A находится точечный заряд Q. Он действует с силой $2{,}5 \cdot 10^{-8}$ Н на точечный заряд q, помещённый в вершину C. Определите, с какой силой будут взаимодействовать заряды, если заряд q перенести в вершину B. Отношение сторон $\frac{AC}{AB} = 0{,}6$.



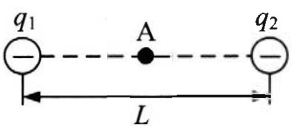
Ответ: _____ нН (наноньютонов).

4. В треугольнике ABC угол C — прямой. В вершине A находится точечный заряд Q. Он действует с силой $5 \cdot 10^{-8}$ Н на точечный заряд q, помещённый в вершину C. Если заряд q перенести в вершину B, то заряды будут взаимодействовать с силой $18 \cdot 10^{-9}$ Н. Найдите отношение $\frac{AC}{BC}$.



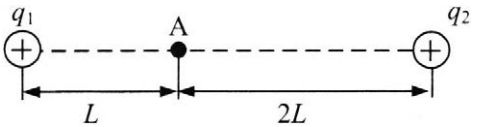
Ответ: _____ .

5. Два точечных отрицательных заряда: $q_1 = -80$ нКл и $q_2 = -160$ нКл находятся в вакууме на расстоянии $L = 3$ м друг от друга. Определите величину напряжённости электростатического поля этих зарядов в точке A, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на одинаковом расстоянии от обоих зарядов (см. рис.).



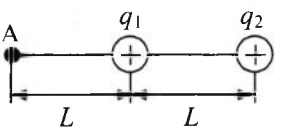
Ответ: _____ Н/Кл.

6. Два точечных положительных заряда $q_1 = 50$ нКл и $q_2 = 100$ нКл находятся в вакууме. Определите величину напряжённости электростатического поля этих зарядов в точке A, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии L от первого и $2L$ от второго заряда. $L = 0{,}75$ м (см. рис.).



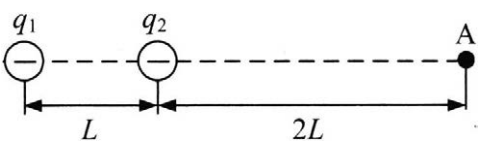
Ответ: _____ Н/Кл.

7. Два точечных положительных заряда: $q_1 = 340$ нКл и $q_2 = 560$ нКл находятся в вакууме на расстоянии $L = 4$ м друг от друга. Определите величину напряжённости электростатического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии L от первого заряда (см. рис.).



Ответ: _____ В/м.

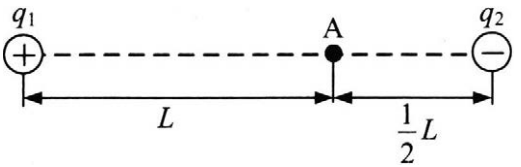
8. Два точечных отрицательных заряда: $q_1 = -120$ нКл и $q_2 = -40$ нКл находятся в вакууме на расстоянии $L = 1$ м друг от друга. Определите величину напряжённости электростатического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии $2L$ от второго заряда (см. рис.).



Ответ: _____ Н/Кл.

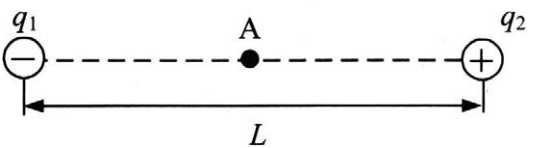
9. Два точечных заряда: положительный $q_1 = 7{,}5$ нКл и отрицательный $q_2 = -50$ нКл — находятся в вакууме. Определите

величину напряжённости электростатического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии L от первого и $\frac{1}{2}L$ от второго заряда. L = 1,5 м. (см. рис.).



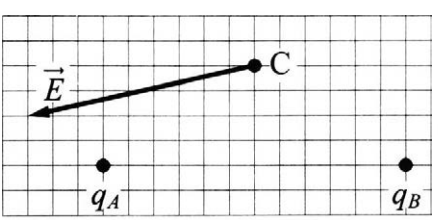
Ответ: _____ В/м.

10. Два точечных заряда: отрицательный q_1 = –80 нКл и положительный q_2 = 40 нКл — находятся в вакууме на расстоянии L = 3 м друг от друга. Определите величину напряжённости электростатического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на одинаковом расстоянии от обоих зарядов (см. рис.).



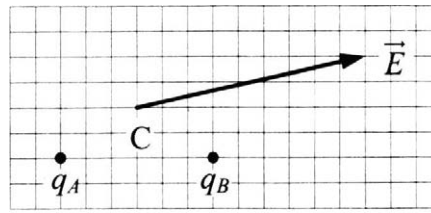
Ответ: _____ Н/Кл.

11. На рисунке показан вектор напряжённости $\vec{E}$ электростатического поля в точке С, созданного двумя точечными зарядами: q_A и q_B. Чему равен заряд q_B, если заряд q_A равен –2 нКл?



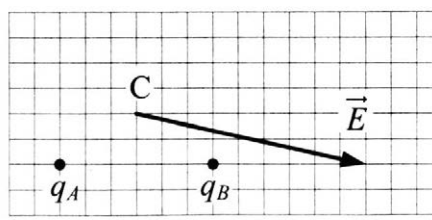
Ответ: _____ нКл.

12. На рисунке показан вектор напряжённости $\vec{E}$ электростатического поля в точке C, созданного двумя точечными зарядами q_A и q_B. Чему равен заряд q_B, если заряд q_A равен +2 нКл?



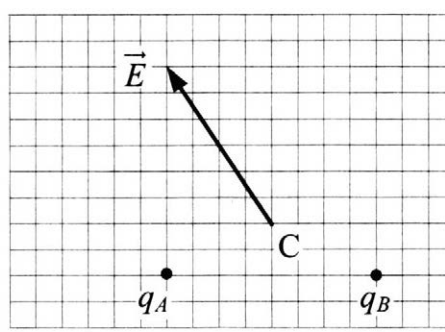
Ответ: _____ нКл.

13. На рисунке показан вектор напряжённости $\vec{E}$ электростатического поля в точке C, созданного двумя точечными зарядами q_A и q_B. Каков заряд q_B, если заряд q_A равен +1 нКл?



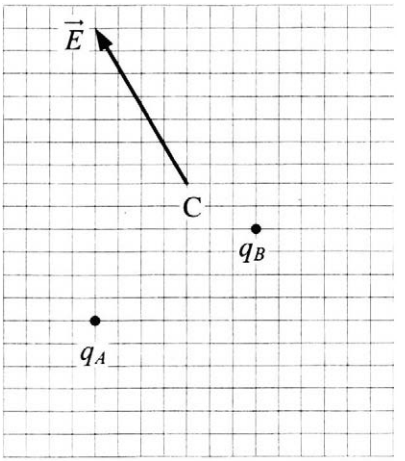
Ответ: _____ нКл.

14. На рисунке показан вектор напряжённости $\vec{E}$ электростатического поля в точке C, созданного двумя точечными зарядами q_A и q_B. Каков заряд q_B, если заряд q_A равен +1 нКл?



Ответ: _____ нКл.

15. На рисунке показан вектор напряжённости $\vec{E}$ электростатического поля в точке C, созданного двумя точечными зарядами q_A и q_B. Чему равен заряд q_B, если заряд q_A равен +2 нКл?



Ответ: _____ нКл.

16. Потенциал электростатического поля в точке A равен 250 В, а в точке B равен 150 В. Какую работу совершает электростатическое поле при перемещении положительного заряда 5 мКл из точки A в точку B?

Ответ: _____ Дж.

17. Разность потенциалов между точками, находящимися на расстоянии 10 см друг от друга на одной линии напряжённости однородного электростатического поля, равна 10 В. Чему равна напряжённость этого поля?

Ответ: _____ В/м.

18. При лечении электростатическим душем к электродам электрической машины прикладывается разность потенциалов 10 кВ. Какой заряд проходит между электродами за время процедуры, если известно, что электрическое поле совершает при этом работу, равную 3,6 кДж?

Ответ: _____ Кл.

19. В вертикальном однородном электрическом поле неподвижно висит пылинка, заряд которой 10^{-11} Кл. Масса пылинки 10^{-7} кг. Чему равна напряжённость электрического поля?

Ответ: _____ В/м.

20. В вертикальном однородном электрическом поле с напряжённостью 100 000 В/м, неподвижно висит пылинка, заряд которой 10 пКл. Чему равна масса пылинки?

Ответ: _____ мг.

21. Частица с зарядом $2 \cdot 10^{-11}$ Кл находится в однородном горизонтальном электрическом поле напряжённостью 5000 В/м. Какова масса частицы, если за 2 с она из состояния покоя переместилась по горизонтали на расстояние 0,4 м? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: _____ мг.

22. Частица с массой 1 мг и зарядом $2 \cdot 10^{-11}$ Кл находится в однородном горизонтальном электрическом поле напряжённостью 5000 В/м. За какое время частица переместится на расстояние 0,45 м по горизонтали, если её начальная скорость равна нулю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: _____ с.

23. Пылинка с зарядом 10^{-11} Кл влетела в однородное электрическое поле с напряжённостью 10^5 В/м вдоль его силовых линий с начальной скоростью 0,1 м/с и переместилась на расстояние 4 см. Какова масса пылинки, если её скорость увеличилась на 0,2 м/с? Действием силы тяжести пренебречь.

Ответ: _____ мг.

24. Пылинка с массой 10^{-6} кг влетела в однородное электрическое поле с напряжённостью 10^5 В/м вдоль его силовых линий с начальной скоростью 0,1 м/с и переместилась на расстояние 4 см. Каков заряд пылинки, если её скорость увеличилась на 0,2 м/с? Действием силы тяжести пренебречь.

Ответ: _____ пКл.

25. В однородное электрическое поле со скоростью $0{,}5 \cdot 10^7$ м/с влетает электрон и движется по направлению линий напряжённости поля. Какое расстояние пролетит электрон до полной остановки, если модуль напряжённости поля равен 3600 В/м? Ответ округлите до целых. Действием силы тяжести пренебречь.

Ответ: _____ см.

26. В однородное электрическое поле со скоростью $0{,}5 \cdot 10^7$ м/с влетает электрон и движется по направлению линий напряжённости поля. Каков модуль напряжённости поля, если до полной остановки электрон пролетает расстояние, равное 2 см? Ответ округлите до целых. Действием силы тяжести пренебречь.

Ответ: _____ В/м.

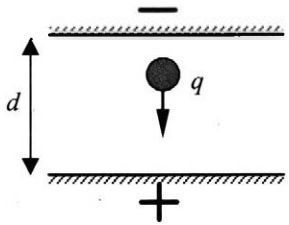
27. Две частицы с отношением зарядов $\frac{q_2}{q_1} = 2$ и масс $\frac{m_2}{m_1} = 4$ движутся в однородном электрическом поле. Начальная скорость у обеих частиц равна нулю. Определите отношение кинетических энергий этих частиц $\frac{W_2}{W_1}$ в один и тот же момент времени после начала движения. Действием силы тяжести пренебречь.

Ответ: _____ .

28. Две частицы с отношением зарядов $\frac{q_2}{q_1} = 2$ движутся в однородном электрическом поле. Начальная скорость у обеих частиц равна нулю. Определите отношение масс $\frac{m_2}{m_1}$ этих частиц, если отношение их кинетических энергий в один и тот же момент времени после начала движения $\frac{W_2}{W_1} = 2$. Действием силы тяжести пренебречь.

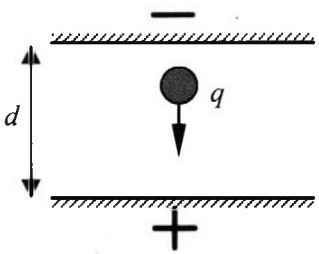
Ответ: _____ .

29. Пластины плоского конденсатора расположены горизонтально на расстоянии $d = 1$ см друг от друга. Размеры пластин много больше d. В пространстве между пластинами падает капля жидкости. Масса капли $4 \cdot 10^{-6}$ кг, её заряд $q = 8 \cdot 10^{-11}$ Кл. При каком напряжении на пластинах скорость капли будет постоянной? Влиянием воздуха на движение капли пренебречь.



Ответ: _____ В.

30. Пластины плоского конденсатора расположены горизонтально на расстоянии d друг от друга. Размеры пластин много больше d. Напряжение на пластинах конденсатора 5000 В. В пространстве между пластинами падает капля жидкости. Масса капли $4 \cdot 10^{-6}$ кг, её заряд $q = 8 \cdot 10^{-11}$ Кл. При каком расстоянии между пластинами скорость капли будет постоянной? Влиянием воздуха на движение капли пренебречь.



Ответ: _____ см.

Постоянный ток

31. Электрическая цепь состоит из источника тока с ЭДС 10 В и внутренним сопротивлением 1 Ом, а также резистора сопротивлением 4 Ом. Чему равна сила тока в цепи?

Ответ: _____ А.

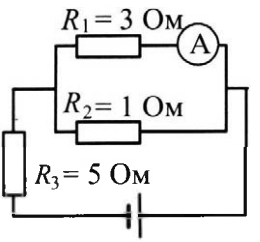
32. Резистор подключён к источнику тока с ЭДС 10 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Сила тока в электрической цепи равна 2 А. Каково сопротивление резистора?

Ответ: _____ Ом.

33. Каково внутреннее сопротивление источника тока с ЭДС 10 В, если при подключении к нему резистора сопротивлением 4 Ом в электрической цепи течёт ток 2 А?

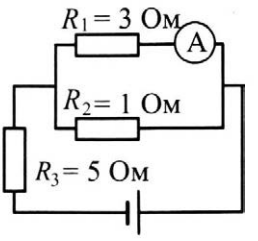
Ответ: _____ Ом.

34. В цепи, изображённой на рисунке, идеальный амперметр показывает 1 А. Чему равно напряжение на резисторе R_3?



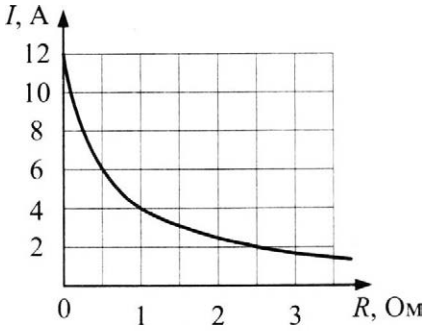
Ответ: _____ В.

35. В цепи, изображённой на рисунке, идеальный амперметр показывает 1 А. Чему равна ЭДС источника, если его внутреннее сопротивление 1 Ом?



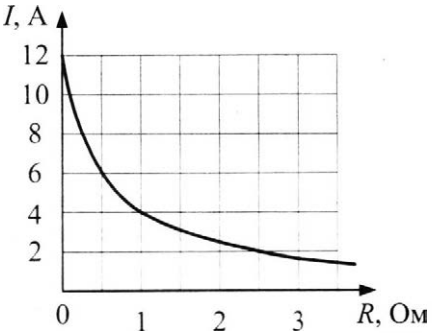
Ответ: _____ В.

36. К источнику тока с ЭДС 6 В подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?



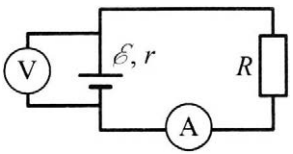
Ответ: _____ Ом.

37. К источнику тока с внутренним сопротивлением 0,5 Ом подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока в реостате от его сопротивления. Чему равна ЭДС источника тока?



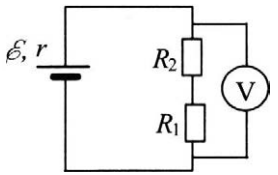
Ответ: _____ В.

38. В цепи, показанной на рисунке, ЭДС источника 5 В, а его внутреннее сопротивление 2 Ом. Источник нагружен на сопротивление 3 Ом. Какова сила тока в цепи?



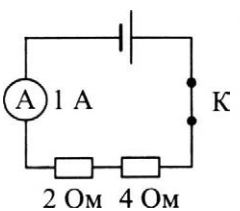
Ответ: _____ А.

39. В схеме, показанной на рисунке, ЭДС источника тока равна 5 В, его внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом, а сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = 2$ Ом. Какое напряжение показывает идеальный вольтметр?



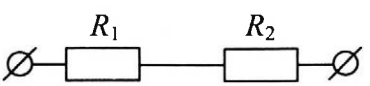
Ответ: _____ В.

40. Какое количество теплоты выделится во внешней части цепи, представленной на рисунке, при протекании тока в течение 10 минут? Необходимые данные указаны на схеме. Амперметр считать идеальным.



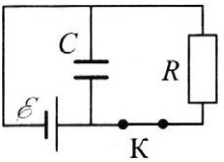
Ответ: _____ Дж.

41. По участку цепи, состоящему из резисторов $R_1 = 1$ кОм и $R_2 = 3$ кОм (см. рис.), протекает постоянный ток I. За время $t_1 = 1$ мин на резисторе R_1 выделяется количество теплоты $Q_1 = 2{,}4$ кДж. За какое время на резисторе R_2 выделится количество теплоты $Q_2 = 6{,}0$ кДж?



Ответ: _____ с.

42. Конденсатор ёмкостью $C = 2$ мкФ присоединён к батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 10$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом. В начальный момент времени ключ К был замкнут (см. рис.). Какой станет энергия конденсатора через длительное время (не менее 1 с) после размыкания ключа К, если сопротивление резистора $R = 10$ Ом?



Ответ: _____ мкДж.

1.2. Задания с развёрнутым ответом

1. Полый шарик массой $m = 0{,}4$ г с зарядом $q = 8$ нКл движется в горизонтальном однородном электрическом поле, напряжённость которого $E = 500$ кВ/м. Какой угол α образует с вертикалью траектория шарика, если его начальная скорость равна нулю?

2. Полый шарик массой $m = 0{,}3$ г с зарядом $q = 6$ нКл движется в однородном горизонтальном электрическом поле из состояния покоя. Траектория шарика образует с вертикалью угол $\alpha = 45°$. Чему равен модуль напряжённости электрического поля E?

3. Конденсатор состоит из двух неподвижных, вертикально расположенных, параллельных, разноимённо заряженных пластин. Пластины расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Напряжённость поля внутри конденсатора равна $E = 10^5$ В/м. Между пластинами, на равном расстоянии от них, помещён шарик с зарядом $q = 10^{-9}$ Кл и массой $m = 0{,}2$ г. После того как шарик отпустили, он начинает падать и через некоторое время ударяется об одну из пластин. Оцените время падения Δt шарика до удара о пластину.

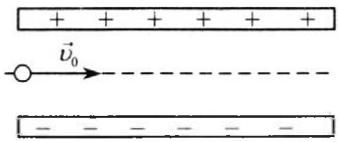
4. Конденсатор состоит из двух неподвижных, вертикально расположенных, параллельных, разноимённо заряженных пластин. Пластины расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Напряжённость поля внутри конденсатора равна $E = 10^5$ В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещён шарик с зарядом $q = 10^{-9}$ Кл и массой $m = 0{,}2$ г. После того как шарик отпустили, он начинает падать и ударяется об одну из пластин. На какую величину Δh уменьшится высота, на которой находится шарик, к моменту его удара об одну из пластин?

5. Конденсатор состоит из двух неподвижных, вертикально расположенных, параллельных, разноимённо заряженных пластин. Пластины расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Между пластинами на равном расстоянии от них помещён шарик с зарядом $q = 10^{-9}$ Кл и массой $m = 0{,}2$ г. После того как шарик отпустили, он начинает падать и ударяется об одну из пластин. К моменту удара высота, на которой находится шарик, уменьшилась на $\Delta h = 50$ см. Определите напряжённость поля внутри конденсатора.

6. Отрицательно заряженная пластина, создающая вертикально направленное однородное электрическое поле напряжённостью $E = 10^5$ В/м, укреплена на горизонтальной плоскости. На неё с высоты $h = 10$ см падает шарик массой $m = 0{,}2$ г, имеющий положительный заряд $q = 10^{-8}$ Кл. Начальная скорость шарика равна нулю. Какой импульс шарик передаст пластине при абсолютно упругом ударе?

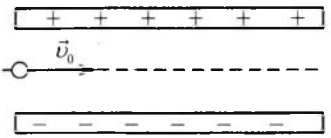
7. Горизонтальная отрицательно заряженная пластина создаёт поле напряжённостью $E = 10^5$ В/м. На неё с некоторой высоты h падает шарик малого размера массой 0,2 г, имеющий заряд $q = +10^{-8}$ Кл. Начальная скорость шарика равна нулю. С какой высоты падал шарик, если при абсолютно упругом ударе он передал пластине импульс 10^{-3} кг · м/с?

8. Электрон влетает в плоский конденсатор со скоростью υ_0 ($\upsilon_0 << c$), параллельно пластинам (см. рис.), расстояние между которыми d. На какой угол отклонится при вылете из конденсатора вектор скорости электрона от первоначального направления, если конденсатор заряжен до разности потенциалов $\Delta\varphi$? Длина пластин L ($L >> d$). Поле внутри конденсатора считать однородным, силой тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.

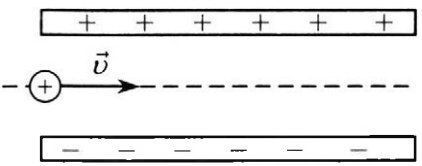


9. Электрон влетает в плоский конденсатор со скоростью υ_0 ($\upsilon_0 << c$), параллельно пластинам (см. рис.), расстояние между которыми d. Какова разность потенциалов между

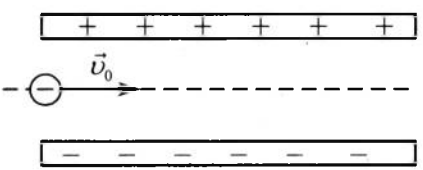
пластинами конденсатора, если при вылете из конденсатора вектор скорости электрона отклоняется от первоначального направления на угол α? Длина пластин L ($L >> d$). Поле внутри конденсатора считать однородным, силой тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.



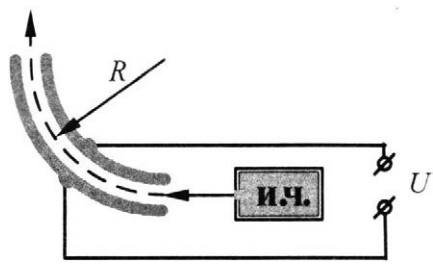
10. Протон влетает в электрическое поле конденсатора параллельно его пластинам в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рис.). Минимальная скорость υ, с которой протон должен влететь в конденсатор, чтобы затем вылететь из него, равна 350 км/с. Длина пластин конденсатора 5 см, напряжённость электрического поля конденсатора 5200 В/м. Каково расстояние между пластинами конденсатора? Поле внутри конденсатора считать однородным, силой тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.



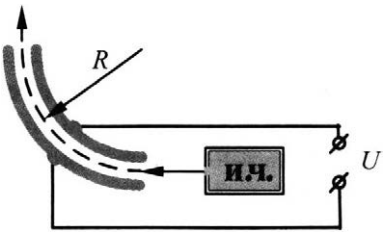
11. Пылинка, имеющая массу 10^{-8} г и заряд $(-1{,}8) \cdot 10^{-14}$ Кл, влетает в электрическое поле конденсатора в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рис.). Чему должна быть равна минимальная скорость, с которой влетает пылинка в конденсатор, чтобы она смогла пролететь его насквозь? Длина пластин конденсатора 10 см, расстояние между пластинами 1 см, напряжение на пластинах конденсатора 5000 В. Поле внутри конденсатора считать однородным. Силой тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.



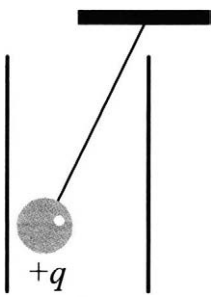
12. На рисунке показана схема устройства для предварительного отбора заряженных частиц для последующего детального исследования. Устройство представляет собой конденсатор, пластины которого изогнуты дугой радиуса $R \approx 50$ см. Предположим, что в промежуток между обкладками конденсатора из источника заряженных частиц (и. ч.) влетают ионы с зарядом $-e$, как показано на рисунке. Напряжённость электрического поля в конденсаторе по модулю равна 50 кВ/м. Скорость ионов $2 \cdot 10^5$ м/с. При какой массе иона он пролетит сквозь конденсатор, не коснувшись его пластин? Считать, что расстояние между обкладками конденсатора мало, напряжённость электрического поля в конденсаторе всюду одинакова по модулю, а вне конденсатора электрическое поле отсутствует. Влиянием силы тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.



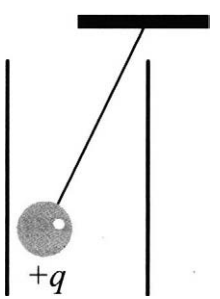
13. На рисунке показана схема устройства для предварительного отбора заряженных частиц для последующего детального исследования. Устройство представляет собой конденсатор, пластины которого изогнуты дугой радиуса $R \approx 50$ см. Предположим, что в промежуток между обкладками конденсатора из источника заряженных частиц (и. ч.) влетает электрон, как показано на рисунке. Напряжённость электрического поля в конденсаторе по модулю равна 500 В/м. При каком значении скорости электрон пролетит сквозь конденсатор, не коснувшись его пластин? Считать, что расстояние между обкладками конденсатора мало, напряжённость электрического поля в конденсаторе всюду одинакова по модулю, а вне конденсатора электрическое поле отсутствует. Влиянием силы тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.



14. Полый шарик с зарядом $q = 4 \cdot 10^{-7}$ Кл и массой 3 г, подвешенный на невесомой нити с коэффициентом упругости 100 Н/м, находится между вертикальными пластинами плоского воздушного конденсатора. Расстояние между обкладками конденсатора 10 см. Какова разность потенциалов между обкладками конденсатора, если удлинение нити 0,5 мм?



15. Полый заряженный шарик массой 3 г, подвешенный на невесомой нити с коэффициентом упругости 100 Н/м, находится между вертикальными пластинами плоского воздушного конденсатора. Расстояние между обкладками конденсатора 10 см, разность потенциалов между обкладками конденсатора 10 кВ. Каков заряд шарика, если удлинение нити 0,5 мм?

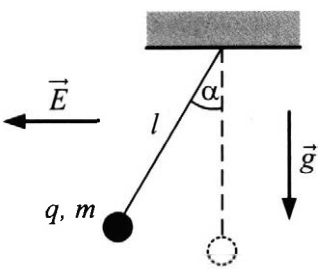


16. Полый металлический шарик массой 2 г подвешен на шёлковой нити длиной 50 см. Шарик имеет положительный заряд 10^{-8} Кл и находится в однородном электрическом поле напряжённостью 10^6 В/м, направленном вертикально вниз. Каков период малых колебаний шарика?

17. Полый металлический шарик массой 2 г подвешен на шёлковой нити и помещён над положительно заряженной плоскостью, создающей однородное вертикальное электрическое поле напряжённостью 10^6 В/м. Шарик имеет положительный заряд 10^{-8} Кл. Период малых колебаний шарика 1 с. Какова длина нити?

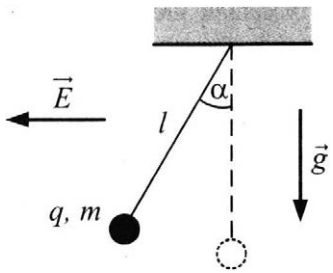
18. Полый металлический шарик массой 3 г подвешен на шёлковой нити длиной 50 см над положительно заряженной плоскостью, создающей однородное электрическое поле напряжённости $2 \cdot 10^6$ В/м. Электрический заряд шарика отрицателен и по модулю равен $6 \cdot 10^{-8}$ Кл. Определите циклическую частоту свободных гармонических колебаний данного маятника.

19. Маленький шарик массой m с зарядом $q = 5$ нКл, подвешенный к потолку на лёгкой шёлковой нитке длиной $l = 1$ м, находится в горизонтальном однородном электростатическом поле $\vec{E}$ с модулем напряжённости поля $E = 300$ кВ/м (см. рис.). Шарик отпускают с нулевой начальной скоростью из положения (на рисунке показано пунктиром), в котором нить вертикальна. В момент, когда нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30°$, модуль скорости шарика $\upsilon = 0{,}9$ м/с. Чему равна масса шарика m? Сопротивлением воздуха пренебречь.

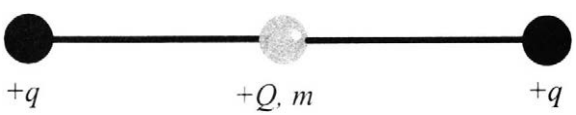


20. Маленький шарик массой $m = 0{,}5$ г с зарядом $q = 16$ нКл, подвешенный к потолку на лёгкой шёлковой нитке длиной $l = 1$ м, находится в горизонтальном однородном электростатическом

поле $\vec{E}$ (см. рис.). Шарик отпускают с нулевой начальной скоростью из положения (на рисунке показано пунктиром), в котором нить вертикальна. В момент, когда нить образует с вертикалью угол $\alpha = 60°$, модуль скорости шарика $\upsilon = 1{,}5$ м/с. Чему равен модуль напряжённости электростатического поля E? Сопротивлением воздуха пренебречь.

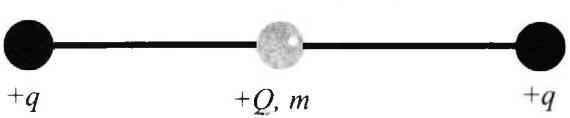


21. По гладкой горизонтальной направляющей длины $2l$ скользит бусинка с положительным зарядом $Q > 0$ и массой m. На концах направляющей находятся положительные заряды $q > 0$ (см. рис.). Бусинка совершает малые колебания относительно положения равновесия, период которых равен T.



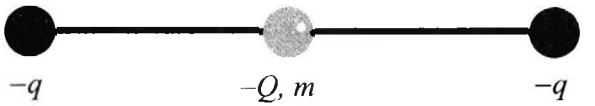
Чему будет равен период колебаний бусинки, если её заряд увеличить в 2 раза?

22. По гладкой горизонтальной направляющей длины $2l$ скользит бусинка с положительным зарядом $Q > 0$ и массой m. На концах направляющей находятся положительные заряды $q > 0$ (см. рис.). Бусинка совершает малые колебания относительно положения равновесия, период которых равен T.



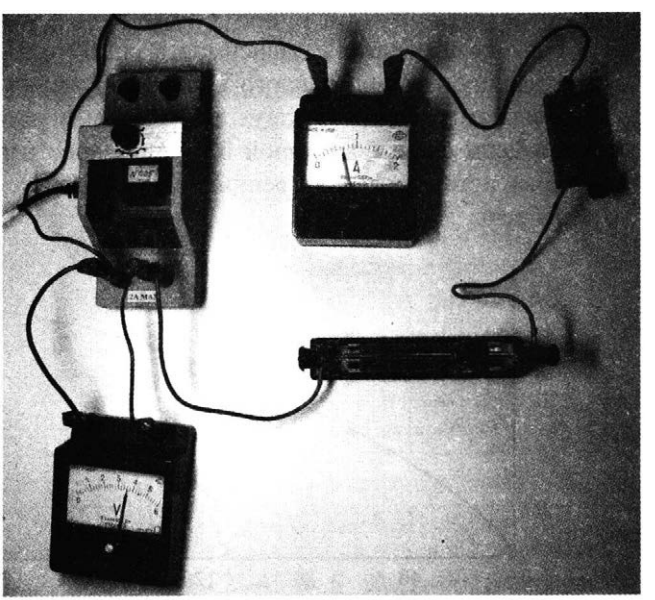
Чему будет равен период колебаний бусинки, если её заряд уменьшить в 2 раза?

23. По гладкой горизонтальной направляющей длины $2l$ скользит бусинка с отрицательным зарядом $Q < 0$ и массой m. На концах направляющей находятся отрицательные заряды $q < 0$ (см. рис.). Бусинка совершает малые колебания относительно положения равновесия, период которых равен T.

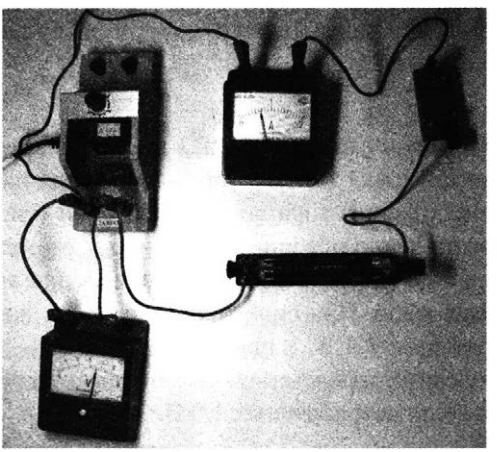


Чему будет равен период колебаний бусинки, если её заряд увеличить в 4 раза?

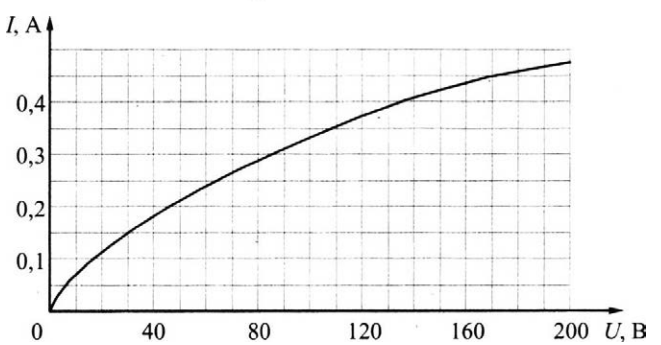
24. При изучении закона Ома для полной электрической цепи ученик исследовал зависимость напряжения на полюсах источника тока от силы тока во внешней цепи (см. рис.). Внутреннее сопротивление источника не зависит от силы тока. Сопротивление вольтметра велико, сопротивление амперметра пренебрежимо мало. При силе тока в цепи 1 А вольтметр показывал напряжение 4,4 В, а при силе тока 2 А — напряжение 3,3 В. Определите, какую силу тока покажет амперметр при показаниях вольтметра, равных 1,0 В.



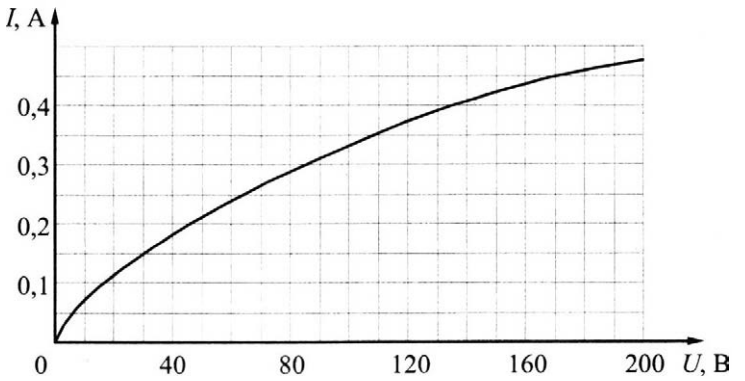
25. При изучении закона Ома для полной электрической цепи ученик исследовал зависимость напряжения на полюсах источника тока от силы тока во внешней цепи (см. рис.). Внутреннее сопротивление источника не зависит от силы тока. Сопротивление вольтметра велико, сопротивление амперметра пренебрежимо мало. При силе тока в цепи 1 А вольтметр показывал напряжение 4,4 В, а при силе тока 4,1 А — напряжение 1,0 В. Определите, какую силу тока покажет амперметр при показаниях вольтметра, равных 3,3 В.



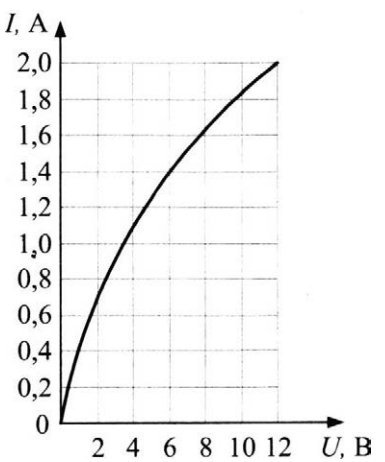
26. На рисунке изображена зависимость силы тока через лампу накаливания от приложенного к ней напряжения. При последовательном соединении двух таких ламп и источника сила тока в цепи оказалась равной 0,35 А. Каково напряжение на клеммах источника? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



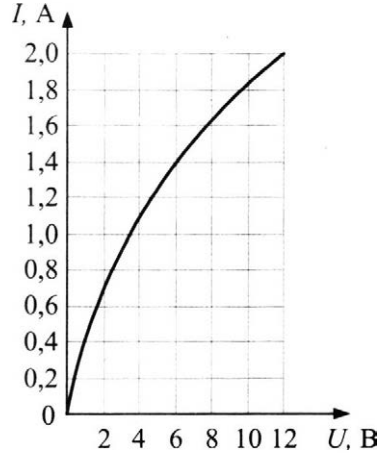
27. На рисунке изображена зависимость силы тока через лампу накаливания от приложенного к ней напряжения. При параллельном соединении двух таких ламп и источника сила тока в цепи оказалась равной 0,7 А. Каково напряжение на клеммах источника? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



28. Вольт-амперная характеристика лампы накаливания изображена на рисунке. При напряжении источника 12 В температура нити лампы равна 3100 К. Сопротивление нити прямо пропорционально её температуре. Какова температура нити накала при напряжении источника 6 В?



29. Вольт-амперная характеристика лампы накаливания изображена на рисунке. При напряжении источника 6 В температура нити лампы равна 2210 К. Сопротивление нити прямо пропорционально её температуре. Какова температура нити накала при напряжении источника 12 В?



30. Одни и те же элементы соединены в электрическую цепь сначала по схеме 1, а затем по схеме 2 (см. рис.). Сопротивление резистора равно R, сопротивление амперметра $\frac{1}{100}R$, сопротивление вольтметра $9R$. В первой схеме показания амперметра равны I_1. Каковы его показания во второй схеме? Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов пренебречь.

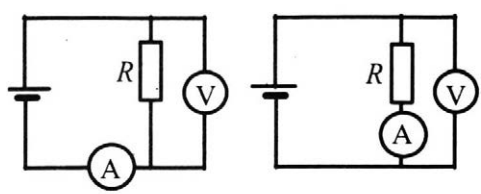


Схема 1 Схема 2

31. Одни и те же элементы соединены в электрическую цепь сначала по схеме 1, а затем по схеме 2 (см. рис.). Сопротивление резистора равно R, сопротивление амперметра $\frac{1}{10}R$, сопро-

тивление вольтметра $9R$. Каковы показания вольтметра в первой схеме, если во второй схеме они равны U_2? Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов пренебречь.

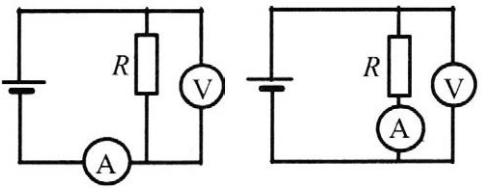
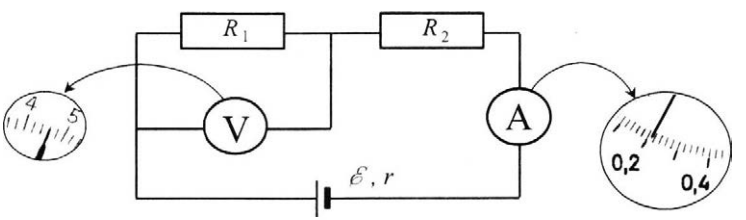
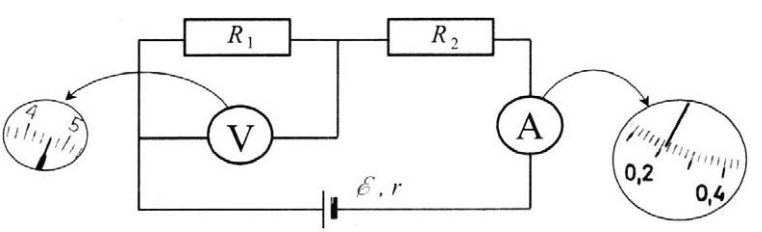


Схема 1 Схема 2

32. При проведении лабораторной работы ученик собрал электрическую цепь по схеме на рисунке. Сопротивления R_1 и R_2 равны 20 Ом и 150 Ом соответственно. Сопротивление вольтметра равно 10 кОм, а амперметра — 0,4 Ом. ЭДС источника равна 36 В, а его внутреннее сопротивление — 1 Ом. На рисунке показаны шкалы приборов с показаниями, которые получил ученик. Исправны ли приборы или же какой-то из них даёт неверные показания?

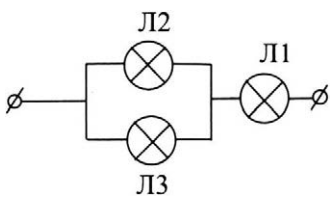


33. При проведении лабораторной работы ученик собрал электрическую цепь по схеме на рисунке. Сопротивления R_1 и R_2 равны 20 Ом и 150 Ом соответственно. Сопротивление вольтметра равно 10 кОм, а амперметра — 0,4 Ом. ЭДС источника равна 36 В, а его внутреннее сопротивление — 6 Ом.

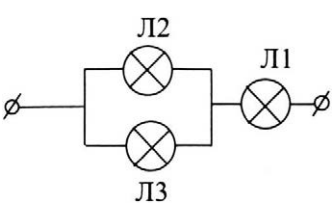


На рисунке показаны шкалы приборов с показаниями, которые получил ученик. Исправны ли приборы или же какой-то из них даёт неверные показания?

34. Вольт-амперные характеристики газовых ламп Л1, Л2 и Л3 при достаточно больших токах хорошо описываются квадратичными зависимостями $U_1 = \alpha I^2$, $U_2 = 3\alpha I^2$, $U_3 = 6\alpha I^2$, где α — некоторая известная размерная константа. Лампы Л2 и Л3 соединили параллельно, а лампу Л1 — последовательно с ними (см. рис.). Определите зависимость напряжения на концах участка цепи от силы тока, текущего через такой участок цепи, если токи через лампы таковы, что выполняются вышеуказанные квадратичные зависимости.

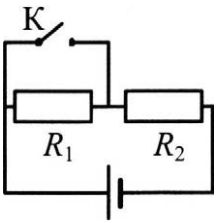


35. Вольт-амперные характеристики газовых ламп Л1, Л2 и Л3 при достаточно больших токах хорошо описываются квадратичными зависимостями $U_1 = \alpha I^2$, $U_2 = 2\alpha I^2$, $U_3 = 4\alpha I^2$, где α — некоторая известная размерная константа. Лампы Л2 и Л3 соединили параллельно, а лампу Л1 — последовательно с ними (см. рис.). Определите зависимость напряжения на концах участка цепи от силы тока, текущего через такой участок цепи, если токи через лампы таковы, что выполняются вышеуказанные квадратичные зависимости.

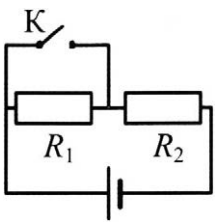


36. Источник тока, два резистора и ключ включены в цепь, как показано на рисунке. При разомкнутом ключе на резисторе R_1

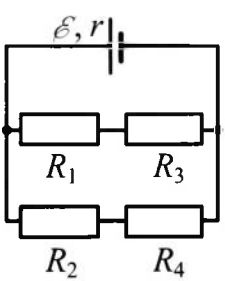
выделяется мощность $P_1 = 2$ Вт, а на резисторе R_2 — мощность $P_2 = 1$ Вт. Какая мощность будет выделяться на резисторе R_2 после замыкания ключа К? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



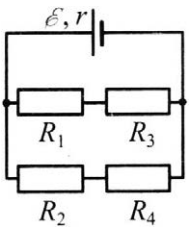
37. Источник тока, два резистора и ключ включены в цепь, как показано на рисунке. При разомкнутом ключе на резисторе R_1 выделяется мощность 1 Вт, а на резисторе R_2 — мощность 2 Вт. Какая мощность будет выделяться на резисторе R_2 после замыкания ключа К? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



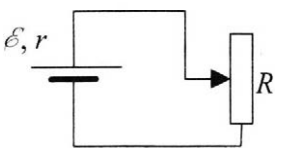
38. В схеме, изображённой на рисунке, сопротивления резисторов $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 9$ Ом, ЭДС батареи $\mathscr{E} = 20$ В, её внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом. Определите мощность, выделяемую на резисторе R_3.

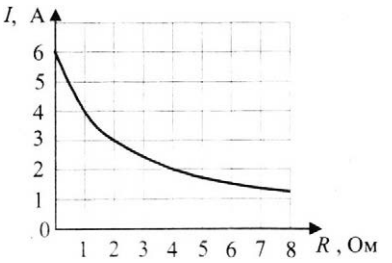


39. В схеме, изображённой на рисунке, сопротивления резисторов $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 9$ Ом, ЭДС батареи $\mathcal{E} = 20$ В, её внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом. Определите мощность, выделяемую на резисторе R_2.

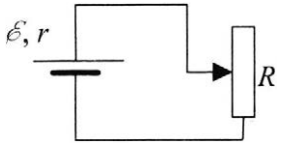


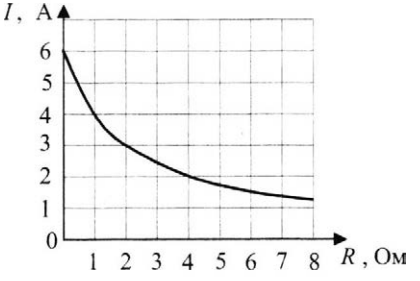
40. Реостат R подключён к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r (см. рис.). Зависимость силы тока в цепи от сопротивления реостата представлена на графике. Найдите сопротивление реостата, при котором мощность тока, выделяемая на внутреннем сопротивлении источника, равна 8 Вт.



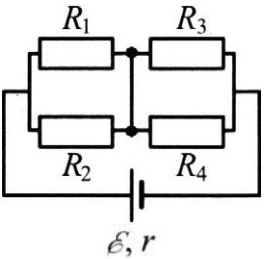


41. Реостат R подключён к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r (см. рис.). Зависимость силы тока в цепи от сопротивления реостата представлена на графике. Найдите сопротивление реостата, при котором мощность тока, выделяемая на внутреннем сопротивлении источника, равна 18 Вт.

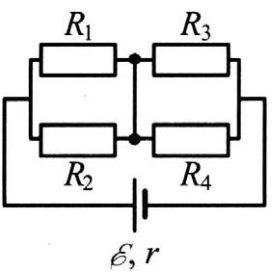




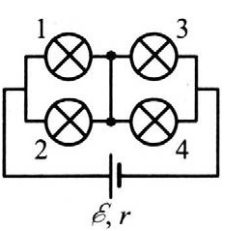
42. Какая тепловая мощность будет выделяться на резисторе R_1 в схеме, изображённой на рисунке, если резистор R_2 перегорит (превратится в разрыв цепи)? Все резисторы, включенные в схему, имеют одинаковое сопротивление $R = 20$ Ом. Внутреннее сопротивление источника $r = 2$ Ом; его ЭДС $\mathscr{E} = 110$ В.



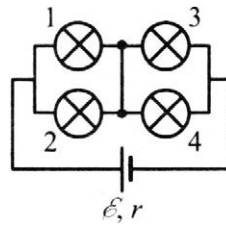
43. Какая тепловая мощность будет выделяться на резисторе R_3 в схеме, изображённой на рисунке, если резистор R_4 перегорит (превратится в разрыв цепи)? Все резисторы, включенные в схему, имеют одинаковое сопротивление 40 Ом. Внутреннее сопротивление источника $r = 2$ Ом; его ЭДС 50 В.



44. Какая тепловая мощность выделяется на лампе 4 в цепи, собранной по схеме, изображённой на рисунке? Сопротивление ламп 1 и 2 $R_1 = 20$ Ом, ламп 3 и 4 $R_2 = 10$ Ом. Внутреннее сопротивление источника $r = 5$ Ом, его ЭДС $\mathscr{E} = 100$ В.



45. Какая тепловая мощность выделяется на лампе 2 в цепи, собранной по схеме, изображённой на рисунке? Сопротивление ламп 1 и 2 $R_1 = 20$ Ом, ламп 3 и 4 $R_2 = 10$ Ом. Внутреннее сопротивление источника $r = 5$ Ом, его ЭДС $\mathscr{E} = 100$ В.



46. Электрическая цепь состоит из источника тока и реостата. ЭДС источника $\mathscr{E} = 6$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом. Сопротивление реостата можно изменять в пределах от 1 Ом до 5 Ом. Чему равна максимальная мощность тока, выделяемая на реостате?

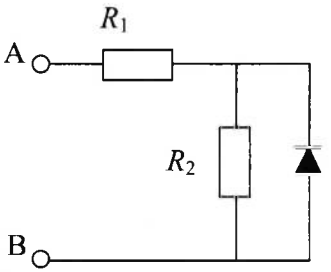
47. Электрическая цепь состоит из источника тока с конечным внутренним сопротивлением и реостата. Сопротивление реостата можно изменять в пределах от 1 Ом до 5 Ом. Максимальная мощность тока P_{max}, выделяющаяся на реостате, равна 4,5 Вт и достигается при сопротивлении реостата $R = 2$ Ом. Какова ЭДС источника?

48. Электрическая цепь состоит из источника тока и реостата. ЭДС источника $\mathscr{E} = 12$ В. Максимальная мощность тока P_{max}, выделяемая на реостате, достигается при промежуточном значении его сопротивления и равна 4,5 Вт. Чему равно внутреннее сопротивление источника?

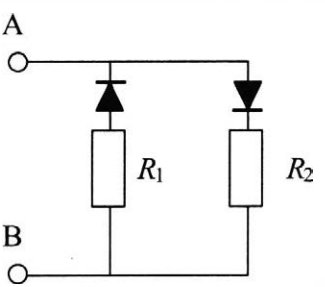
49. Электрическая цепь состоит из источника тока и реостата. ЭДС источника $\mathscr{E} = 12$ В. Максимальная мощность тока P_{max}, выделяемая на реостате, достигается при промежуточном значении его сопротивления и равна 4,5 Вт. Определите силу тока, протекающего через источник при коротком замыкании.

50. В цепи, изображённой на рисунке, сопротивление диода в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном — многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке А — положительного, а к точке В — отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо

малым внутренним сопротивлением, потребляемая мощность равна 4,8 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 14,4 Вт. Укажите условия протекания тока через диод и резисторы в обоих случаях и определите сопротивление резисторов в этой цепи.



51. В цепи, изображённой на рисунке, сопротивление диодов в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном — многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке A — положительного, а к точке B — отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением, потребляемая мощность равна 7,2 Вт. При изменении полярности подключения батареи потребляемая мощность оказалась равной 14,4 Вт.



Укажите условия протекания тока через диоды и резисторы в обоих случаях и определите сопротивление резисторов в этой цепи.

52. На рисунке 1 изображена зависимость силы тока через светодиод D от приложенного к нему напряжения, а на рисунке 2 — схема его включения. На рисунке 1 видно, что напряжение на светодиоде практически не зависит от силы тока через него в интервале значений 0,05 А $< I <$ 0,2 А. Этот светодиод соединён последовательно с резистором R и подключён к источнику

с ЭДС $\mathscr{E}_1$ = 6 В. При этом сила тока в цепи равна 0,1 А. Какова сила тока, текущего через светодиод, при замене источника на другой с ЭДС $\mathscr{E}_2$ = 4,5 В? Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

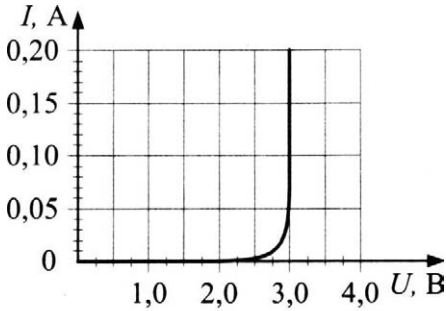


Рис. 1

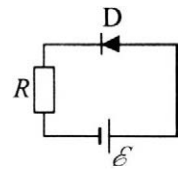


Рис. 2

53. На рисунке 1 изображена зависимость силы тока через светодиод D от приложенного к нему напряжения, а на рисунке 2 — схема его включения. На рисунке 1 видно, что напряжение на светодиоде практически не зависит от силы тока через него в интервале значений 0,05 А < I < 0,2 А. Этот светодиод соединён последовательно с резистором R и подключён к источнику с ЭДС $\mathscr{E}_1$ = 4,5 В. При этом сила тока в цепи равна 0,15 А. При замене источника на другой сила тока, текущего через светодиод, составила 0,1 А. Определите ЭДС другого источника. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

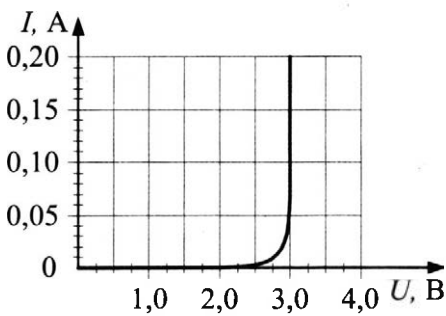


Рис. 1

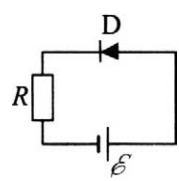
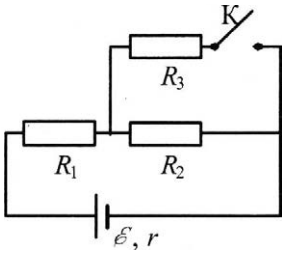
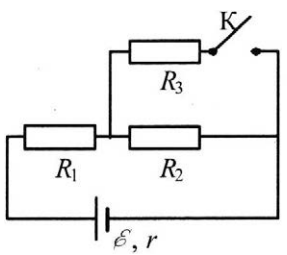


Рис. 2

54. Во сколько раз увеличится мощность, выделяемая на резисторе R_1, при замыкании ключа К (см. рис.), если $R_1 = R_2 = R_3 = 1$ Ом, $r = 0{,}5$ Ом?



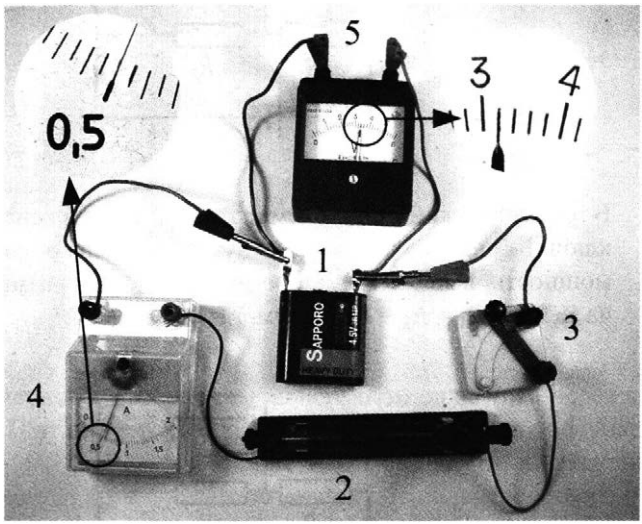
55. В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, ключ К первоначально замкнут. Во сколько раз изменится мощность, выделяемая на резисторе R_1, при размыкании ключа К, если $R_1 = R_2 = R_3 = 1$ Ом, $r = 0{,}5$ Ом?

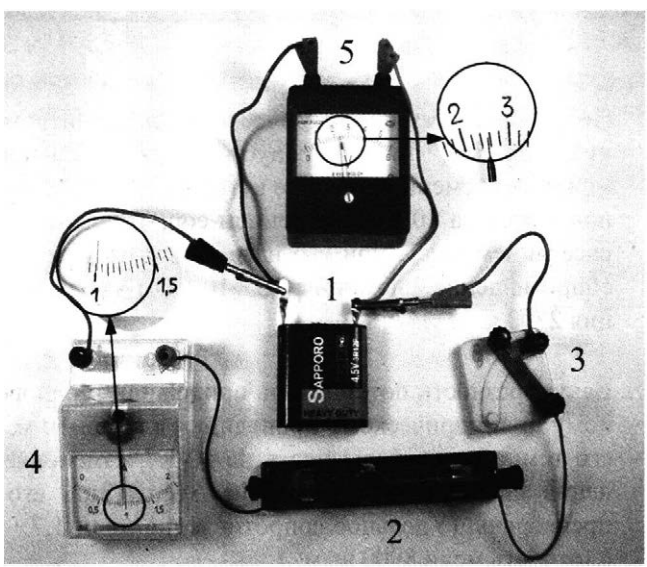


56. По однородному цилиндрическому алюминиевому проводнику сечением $2 \cdot 10^{-6}$ м^2 пропустили ток 10 А. Определите промежуток времени, в течение которого температура проводника повысится на 10 К. Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании пренебречь. (Удельное сопротивление алюминия $2{,}5 \cdot 10^{-8}$ Ом · м, плотность алюминия 2700 кг/м^3.)

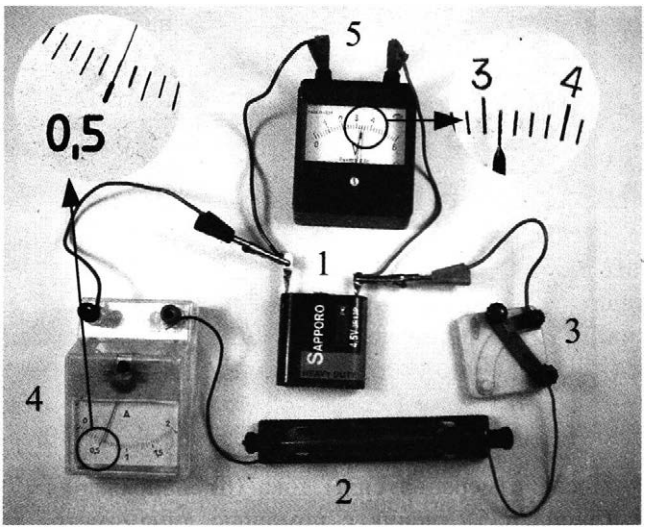
57. Какую разность потенциалов приложили к однородному медному цилиндрическому проводнику длиной 10 м, если за 15 с его температура повысилась на 10 К? Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании пренебречь. (Удельное сопротивление меди $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м, плотность меди 8900 кг/м^3.)

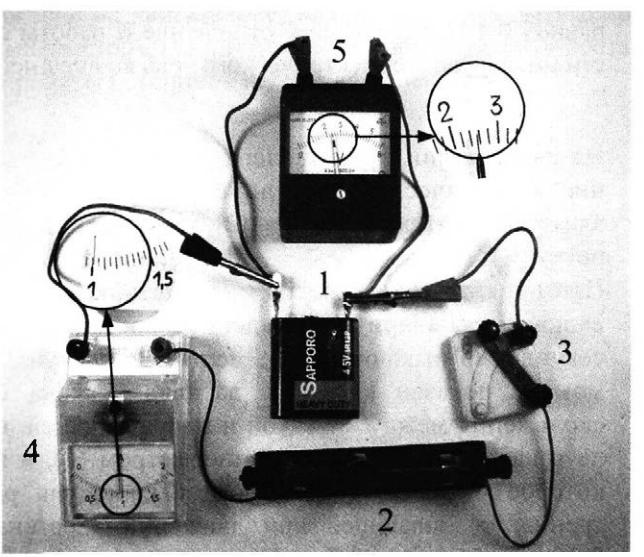
58. Ученик собрал электрическую цепь, состоящую из батарейки (1), реостата (2), ключа (3), амперметра (4) и вольтметра (5). После этого он измерил напряжение на полюсах источника тока и силу тока в цепи при различных положениях ползунка реостата (см. фотографии). Определите КПД источника тока в первом опыте.



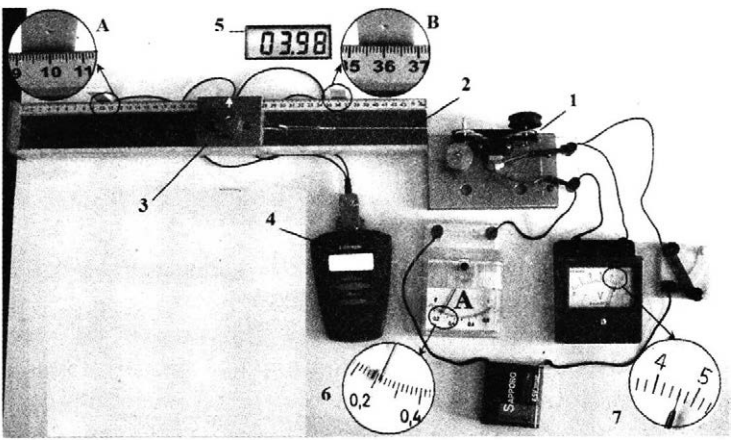


59. Ученик собрал электрическую цепь, состоящую из батарейки (1), реостата (2), ключа (3), амперметра (4) и вольтметра (5). После этого он измерил напряжение на полюсах источника тока и силу тока в цепи при различных положениях ползунка реостата (см. фотографии). Определите количество теплоты, выделяющееся внутри батарейки за 1 мин во втором опыте.



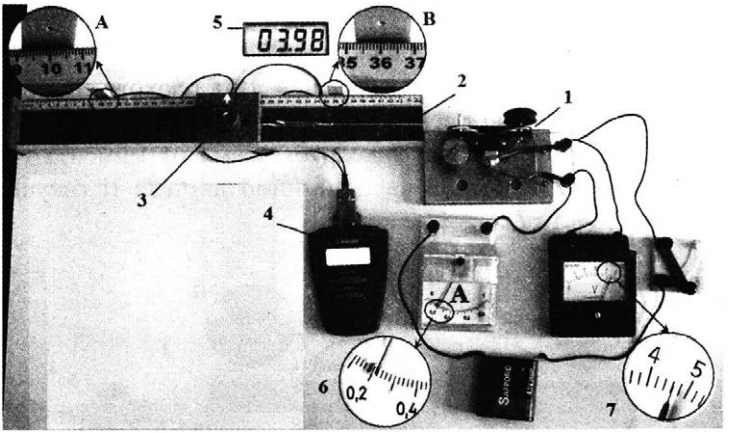


60. На фотографии представлена установка, в которой электродвигатель (1) с помощью нити (2) равномерно перемещает каретку (3) вдоль направляющей горизонтальной линейки. При прохождении каретки мимо датчика А секундомер (4) включается, а при прохождении каретки мимо датчика В секундомер выключается.

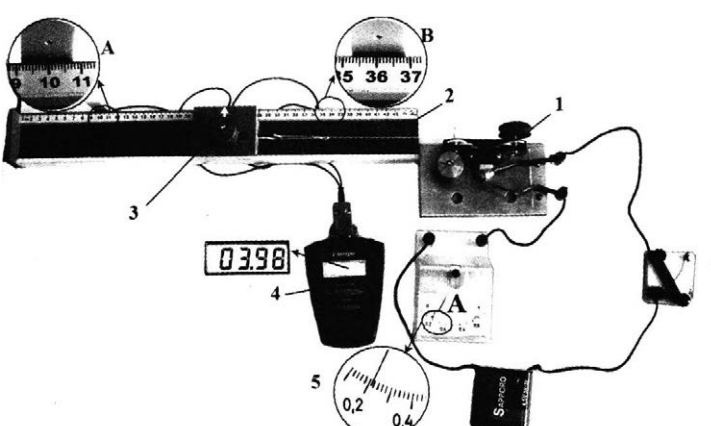


После измерения силы тока (6), напряжения (7) и времени (дисплей 5) ученик с помощью динамометра измерил силу трения скольжения каретки по направляющей. Она оказалась равной 0,4 Н. Рассчитайте отношение α работы силы упругости нити к работе электрического тока во внешней цепи.

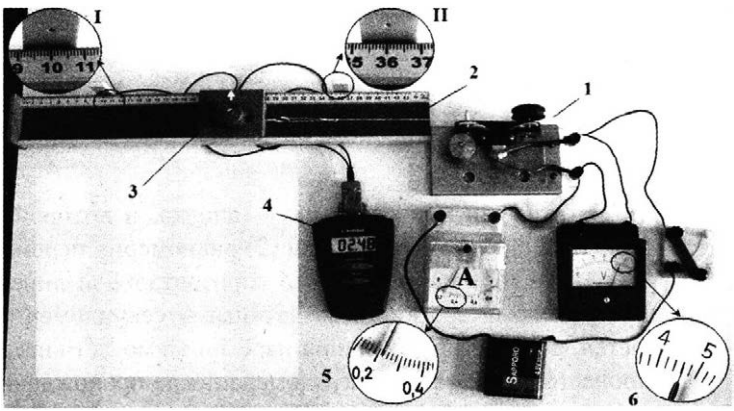
61. На фотографии представлена установка для преобразования электрической энергии в механическую с помощью электродвигателя (1). Нить (2) равномерно перемещает каретку (3) вдоль направляющей горизонтальной линейки. При прохождении каретки мимо датчика А секундомер (4) включается, а при прохождении каретки мимо датчика В секундомер выключается. Дисплей (5) секундомера в этот момент показан слева от датчика. Какова сила трения скольжения между кареткой и направляющей, если при силе тока, зафиксированной амперметром (6), и напряжении, которое показывает вольтметр (7), модуль работы силы трения, возникающей при движении каретки, составляет 0,05 от работы электрического тока?



62. На фотографии представлена установка, в которой электродвигатель (1) с помощью нити (2) равномерно перемещает каретку (3) вдоль направляющей горизонтальной линейки. При прохождении каретки мимо датчика А секундомер (4) включается, а после прохождения каретки мимо датчика В — выключается. Показания секундомера после прохождения датчика В показаны на дисплее рядом с секундомером. Сила трения скольжения каретки по направляющей была измерена с помощью динамометра. Она оказалась равной 0,4 Н. Чему равно напряжение на двигателе, если при силе тока, зафиксированной амперметром (5), работа силы упругости нити составляет 5% от работы источника тока во внешней цепи?

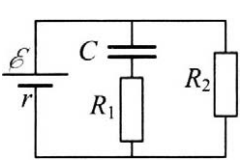


63. На фотографии представлена установка, в которой электродвигатель (1) с помощью нити (2) равномерно перемещает каретку (3) вдоль направляющей. При прохождении каретки (3) мимо датчика I секундомер (4) включается и при дальнейшем движении каретки фиксирует время от момента включения. При прохождении каретки мимо датчика II секундомер выключается.

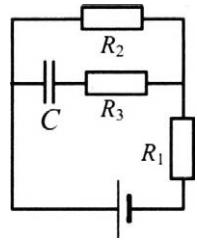


После измерения силы тока амперметром (5) и напряжения вольтметром (6) ученик измерил с помощью динамометра силу трения скольжения каретки по направляющей. Она оказалась равной 0,4 Н. Какими будут показания секундомера при прохождении каретки мимо второго датчика, если работа силы упругости нити составляет 0,03 от работы источника тока во внешней цепи?

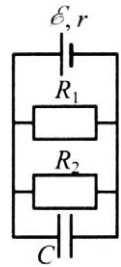
64. Напряжённость электрического поля плоского конденсатора (см. рис.) равна 24 кВ/м. Внутреннее сопротивление источника $r = 10$ Ом, ЭДС $\mathcal{E} = 30$ В, сопротивления резисторов $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 40$ Ом. Найдите расстояние между пластинами конденсатора.



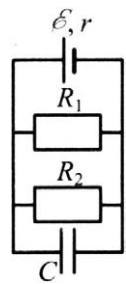
65. Конденсатор ёмкостью 2 мкФ присоединён к источнику постоянного тока с ЭДС 3,6 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Сопротивления резисторов $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 7$ Ом, $R_3 = 3$ Ом. Каков заряд на левой обкладке конденсатора?



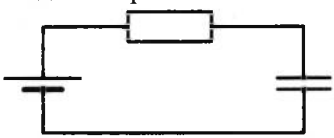
66. Источник постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 10$ В и внутренним сопротивлением $r = 0{,}4$ Ом подсоединён к параллельно соединённым резисторам $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом и конденсатору. Определите ёмкость конденсатора C, если энергия электрического поля конденсатора равна $W = 60$ мкДж.



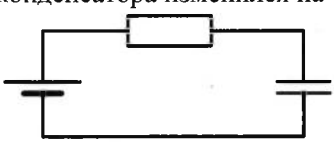
67. Источник постоянного тока с внутренним сопротивлением $r = 0{,}4$ Ом подсоединён к параллельно соединённым резисторам $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 2$ Ом и конденсатору ёмкости $C = 5$ мкФ. Определите ЭДС источника $\mathcal{E}$, если энергия электрического поля конденсатора $W = 10$ мкДж.



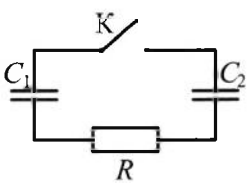
68. Источник постоянного напряжения с ЭДС 100 В подключён через резистор к конденсатору переменной ёмкости, расстояние между пластинами которого можно изменять (см. рис.). Пластины медленно раздвинули. Какая работа была совершена против сил притяжения пластин, если за время движения пластин на резисторе выделилось количество теплоты 10 мкДж и заряд конденсатора изменился на 1 мкКл?



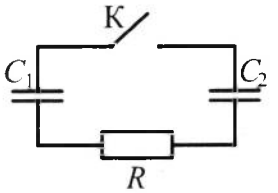
69. Источник постоянного напряжения с ЭДС 100 В подключён через резистор к конденсатору переменной ёмкости, расстояние между пластинами которого можно изменять (см. рис.). Пластины медленно раздвинули. Какое количество теплоты выделилось на резисторе за время движения пластин, если против сил притяжения пластин была совершена работа 60 мкДж и заряд конденсатора изменился на 1 мкКл?



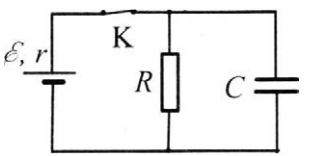
70. Заряженный конденсатор C_1 = 1 мкФ включён в последовательную цепь из резистора R = 300 Ом, незаряженного конденсатора C_2 = 2 мкФ и разомкнутого ключа К (см. рис.). После замыкания ключа в цепи выделяется количество теплоты Q = 30 мДж. Чему равно первоначальное напряжение на конденсаторе C_1?



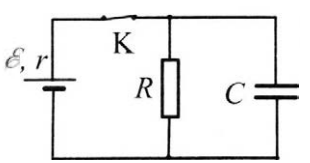
71. Заряженный конденсатор C_1 = 1 мкФ включён в последовательную цепь из резистора R = 300 Ом, незаряженного конденсатора C_2 = 2 мкФ и разомкнутого ключа К (см. рис.). Какое количество теплоты выделяется в цепи после замыкания ключа, если первоначальное напряжение на конденсаторе C_1 равно 300 В?



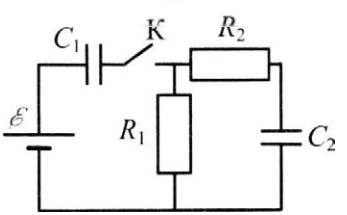
72. В электрической схеме, показанной на рисунке, ключ К замкнут. ЭДС батарейки $\mathscr{E} = 24$ В, сопротивление резистора $R = 25$ Ом, заряд конденсатора 2 мкКл. После размыкания ключа К в результате разряда конденсатора на резисторе выделяется количество теплоты 20 мкДж. Найдите внутреннее сопротивление батарейки r.



73. В электрической схеме, показанной на рисунке, ключ К замкнут. ЭДС батарейки $\mathscr{E} = 12$ В, ёмкость конденсатора $C = 0{,}2$ мкФ. После размыкания ключа К в результате разряда конденсатора на резисторе выделяется количество теплоты $Q = 10$ мкДж. Найдите отношение внутреннего сопротивления батарейки к сопротивлению резистора $\frac{r}{R}$.

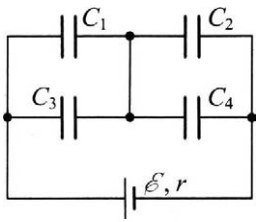


74. В цепи, изображённой на рисунке, ЭДС батареи равна 100 В, сопротивления резисторов $R_1 = 10$ Ом и $R_2 = 6$ Ом, а ёмкости конденсаторов $C_1 = 60$ мкФ и $C_2 = 100$ мкФ.

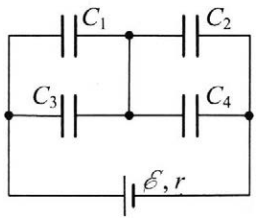


В начальном состоянии ключ К разомкнут, а конденсаторы не заряжены. Через некоторое время после замыкания ключа в системе установится равновесие. Какое количество теплоты выделится в цепи к моменту установления равновесия? Внутреннее сопротивление батареи пренебрежимо мало.

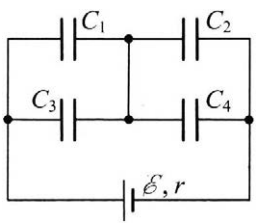
75. Батарея из четырёх конденсаторов электроёмкостью $C_1 = 3C$, $C_2 = 2C$, $C_3 = C$ и $C_4 = 4C$ подключена к источнику постоянного тока с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением r (см. рис.). Определите энергию конденсатора C_1.



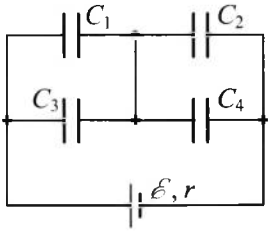
76. Батарея из четырёх конденсаторов электроёмкостью $C_1 = 3C$, $C_2 = 2C$, $C_3 = C$ и $C_4 = 4C$ подключена к источнику постоянного тока с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением r (см. рис.). Определите энергию конденсатора C_4.



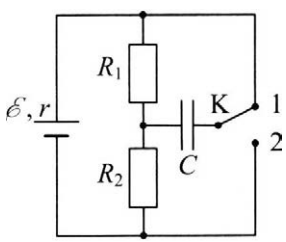
77. Батарея из четырёх конденсаторов электроёмкостью $C_1 = C$, $C_2 = 2C$, $C_3 = 3C$ и $C_4 = 4C$ подключена к источнику постоянного напряжения с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением r (см. рис.). На сколько и как изменится общая энергия, запасённая в батарее, если в конденсаторе C_3 возникнет пробой?



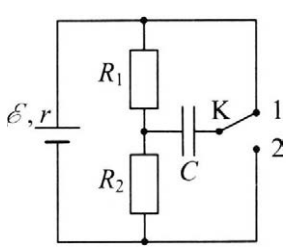
78. Батарея из четырёх конденсаторов электроёмкостью $C_1 = C$, $C_2 = 2C$, $C_3 = 3C$ и $C_4 = 4C$ подключена к источнику постоянного напряжения с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением r (см. рис.). На сколько и как изменится общая энергия, запасённая в батарее, если в конденсаторе C_2 возникнет пробой?



79. В электрической цепи, показанной на рисунке, $r = 1$ Ом, $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 8$ Ом, $C = 0{,}1$ мкФ, ключ К длительное время находится в положении 1. За длительное время после перевода ключа К в положение 2 изменение заряда на правой обкладке конденсатора $\Delta q = -0{,}52$ мкКл. Найдите ЭДС источника $\mathscr{E}$.

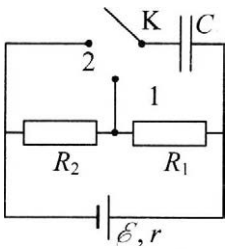


80. В электрической цепи, показанной на рисунке, $r = 1$ Ом, $R_1 = 7$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, ключ К длительное время находится в положении 1. За длительное время после перевода ключа К в положение 2 изменение заряда на правой обкладке конденсатора $\Delta q = -0{,}85$ мкКл. Найдите электроёмкость конденсатора C, если ЭДС источника $\mathscr{E} = 4{,}5$ В.



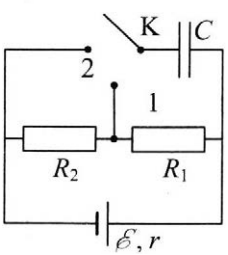
81. В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, конденсатор C изначально не заряжен, а отношение $\frac{R_2}{R_1}=3$.

Ключ К переводят в положение 1. Затем, спустя большой промежуток времени, ключ переводят в положение 2 и снова ждут в течение большого промежутка времени. В какое число раз n увеличится энергия конденсатора в результате перевода ключа в положение 2?

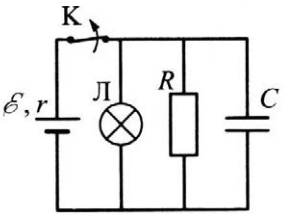


82. В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, конденсатор C изначально не заряжен, а отношение $\frac{R_1}{R_2}=2$.

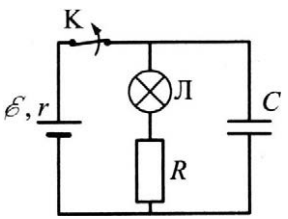
Ключ К переводят в положение 1. Затем, спустя большой промежуток времени, ключ переводят в положение 2 и снова ждут в течение большого промежутка времени. В какое число раз n уменьшится энергия конденсатора в результате перевода ключа в положение 2?



83. К аккумулятору с ЭДС 45 В и внутренним сопротивлением 3 Ом подключили лампу сопротивлением 30 Ом и резистор сопротивлением 20 Ом, а также конденсатор ёмкостью 250 мкФ (см. рис.). Спустя длительный промежуток времени ключ К размыкают. Какое количество теплоты выделится после этого на резисторе?



84. К аккумулятору с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 5 Ом подключили лампу сопротивлением 15 Ом и резистор сопротивлением 10 Ом, а также конденсатор ёмкостью 400 мкФ (см. рис.). Спустя длительный промежуток времени ключ К размыкают. Какое количество теплоты выделится после этого на лампе?



2. Электродинамика (Электромагнитное поле)

2.1. Задачи с кратким ответом

Магнитное поле

1. Прямолинейный проводник длиной $l = 0{,}4$ м, по которому течёт ток $I = 2$ А, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}3$ Тл и расположен параллельно вектору $\vec{B}$. Каков модуль силы, действующей на проводник со стороны магнитного поля?

Ответ: _____ Н.

2. Прямолинейный проводник длиной $l = 0{,}2$ м, по которому течёт ток, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}2$ Тл и расположен под углом 90° к вектору $\vec{B}$. Какова сила тока, если сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, равна 0,2 Н?

Ответ: _____ А.

3. Прямолинейный проводник длиной $l = 0{,}2$ м, по которому течёт ток $I = 2$ А, расположен в однородном магнитном поле под углом 90° к вектору $\vec{B}$. Каков модуль индукции магнитного поля B, если сила, действующая на проводник со стороны магнитного поля, равна 0,4 Н?

Ответ: _____ Тл.

4. Прямолинейный проводник длиной 0,5 м, по которому течёт ток, равный 6 А, расположен в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}4$ Тл под углом 30° к вектору $\vec{B}$. Каков модуль силы, действующей на проводник со стороны магнитного поля?

Ответ: _____ Н.

5. Чему равна сила Ампера, действующая на стальной прямой проводник с током длиной 10 см и площадью поперечного сечения $2 \cdot 10^{-2}$ мм^2, если напряжение на нём 4,8 В, а модуль

вектора магнитной индукции 0,5 Тл? Вектор магнитной индукции перпендикулярен проводнику. Удельное сопротивление стали 0,12 Ом · мм^2/м.

Ответ: _____ Н.

6. Медный проводник расположен между полюсами постоянного магнита перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Определите площадь поперечного сечения проводника, если сила Ампера, действующая на него, равна 10 Н, модуль вектора магнитной индукции магнитного поля 20 мТл, а напряжение, приложенное к концам проводника, 8,5 В. Удельное сопротивление меди $\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-2}$ Ом · мм^2/м.

Ответ: _____ мм^2.

7. В однородном горизонтальном магнитном поле с индукцией 0,03 Тл находится прямолинейный проводник, расположенный в горизонтальной плоскости перпендикулярно линиям индукции поля. Какой ток следует пропустить по проводнику, чтобы сила Ампера уравновесила силу тяжести? Масса единицы длины проводника 0,03 кг/м.

Ответ: _____ А.

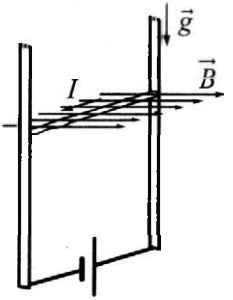
8. Прямолинейный проводник подвешен горизонтально на двух нитях в однородном магнитном поле с индукцией 20 мТл. Вектор магнитной индукции горизонтален и перпендикулярен проводнику. Во сколько раз изменится сила натяжения нитей при изменении направления тока на противоположное? Масса единицы длины проводника 0,02 кг/м, сила тока в проводнике 5 А.

Ответ: _____ раз(а).

9. Прямолинейный проводник подвешен горизонтально на двух нитях в однородном магнитном поле с индукцией 40 мТл. Вектор магнитной индукции горизонтален и перпендикулярен проводнику. Какова сила тока в проводнике, если при изменении направления тока на противоположное сила натяжения нитей изменилась в 3 раза? Масса единицы длины проводника 0,04 кг/м.

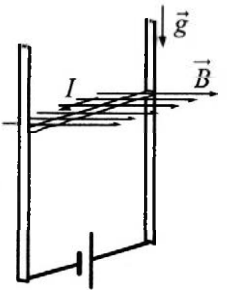
Ответ: _____ А.

10. В однородном магнитном поле по вертикальным направляющим без трения скользит прямой горизонтальный проводник массой 0,25 кг, по которому течёт ток 5 А. Вектор магнитной индукции направлен горизонтально перпендикулярно проводнику (см. рис.), $B = 1$ Тл. Чему равна длина проводника, если известно, что ускорение проводника направлено вниз и равно 2 м/с^2?



Ответ: _____ м.

11. В однородном магнитном поле по вертикальным направляющим без трения скользит прямой горизонтальный массивный проводник длиной 0,2 м, по которому течёт ток 8 А. Вектор магнитной индукции направлен горизонтально перпендикулярно проводнику (см. рис.), $B = 1$ Тл. Чему равна масса проводника, если известно, что ускорение проводника направлено вниз и равно 2 м/с^2?



Ответ: _____ кг.

12. Участок проводника длиной 20 см находится в однородном магнитном поле индукцией 25 мТл. Сила Ампера при перемещении проводника на 6 см в направлении своего действия совершает работу 0,003 Дж. Чему равна сила тока, протекаю-

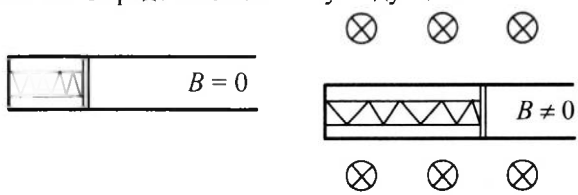
щего по проводнику? Проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции.

Ответ: _____ А.

13. Участок проводника длиной 20 см находится в однородном магнитном поле индукцией 50 мТл. Сила электрического тока, протекающего по проводнику, равна 5 А. Какое перемещение совершит проводник в направлении действия силы Ампера, если работа этой силы равна 0,004 Дж? Проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции.

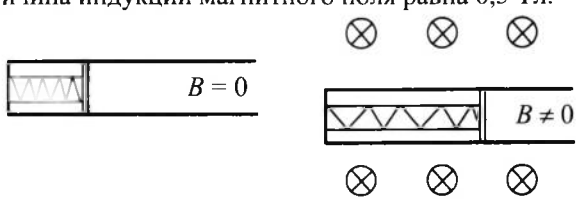
Ответ: _____ м.

14. Свободно перемещающийся по рамке проводник с током через изолятор прикреплён к пружине жёсткостью 10 Н/м (см. рис.). Длина проводника 0,2 м, и по нему течёт ток силой 5 А. При включении однородного магнитного поля, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости рамки, пружина растянулась на 5 см. Определите величину индукции магнитного поля.



Ответ: _____ мТл.

15. Свободно перемещающийся по рамке проводник с током через изолятор прикреплён к пружине жёсткостью 5 Н/м (см. рис.). Длина проводника 0,2 м, и по нему течёт ток силой 5 А. При включении однородного магнитного поля, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости рамки, пружина растянулась. Определите, на какую величину растянулась пружина, если величина индукции магнитного поля равна 0,5 Тл.



Ответ: _____ см.

16. Электрон и протон влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции со скоростями υ и 2υ соответственно. Чему равно отношение модуля силы Лоренца, действующей на электрон, к модулю силы Лоренца, действующей на протон?

Ответ: _____ .

17. Протон и α-частица движутся с одинаковыми по модулю скоростями в однородном магнитном поле перпендикулярно вектору магнитной индукции $\vec{B}$. Определите отношение радиусов окружностей $\frac{R_p}{R_\alpha}$, по которым движутся эти частицы.

Ответ: _____ .

18. Две положительно заряженные частицы, имеющие отношение масс $\frac{m_2}{m_1} = 2$, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Найдите отношение зарядов частиц $\frac{q_2}{q_1}$, если их скорости одинаковы, а отношение радиусов траекторий: $\frac{R_2}{R_1} = 0{,}5$.

Ответ: _____ .

19. Две частицы, имеющие отношение зарядов $\frac{q_1}{q_2} = \frac{1}{2}$ и отношение масс $\frac{m_1}{m_2} = 4$, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно его линиям индукции и движутся по окружностям. Определите отношение радиусов траекторий $\frac{R_1}{R_2}$ частиц, если отношение их скоростей $\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = 2$.

Ответ: _____ .

20. Две частицы, отношение зарядов которых $\frac{q_2}{q_1} = \frac{1}{2}$, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Найдите отношение масс частиц $\frac{m_2}{m_1}$, если их кинетические энергии одинаковы, а отношение радиусов траекторий $\frac{R_2}{R_1} = 2$.

Ответ: _____ .

21. Две частицы, имеющие отношение зарядов $\frac{q_1}{q_2} = 1$ и отношение масс $\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{2}$, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции и движутся по окружностям. Определите отношение периодов обращения этих частиц $\frac{T_1}{T_2}$.

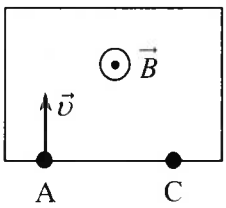
Ответ: _____ .

22. Две частицы с одинаковыми зарядами и отношением масс $\frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{2}$ влетели в однородные магнитные поля, векторы магнитной индукции которых перпендикулярны их скоростям: первая — в поле с индукцией B_1, вторая — в поле с индукцией B_2. Найдите отношение времён $\frac{T_2}{T_1}$, затраченных частицами на один оборот, если отношение индукций $\frac{B_2}{B_1} = \frac{1}{4}$.

Ответ: _____ .

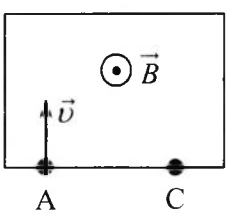
23. Пучок ионов попадает в камеру масс-спектрометра через отверстие в точке А со скоростью $\upsilon = 2 \cdot 10^4$ м/с, направленной перпендикулярно стенке АС. В камере создаётся однородное магнитное поле, линии вектора индукции которого перпендикулярны вектору скорости ионов. Двигаясь в этом поле,

ионы попадают на мишень, расположенную в точке C на расстоянии 12 см от точки A (см. рис.). Чему равна индукция магнитного поля B, если отношение массы иона к его заряду $\frac{m}{q} = 6 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл?



Ответ: _____ Тл.

24. Пучок ионов попадает в камеру масс-спектрометра через отверстие в точке A со скоростью $\upsilon = 1{,}5 \cdot 10^4$ м/с, направленной перпендикулярно стенке AC. В камере создаётся однородное магнитное поле, линии вектора индукции которого перпендикулярны вектору скорости ионов. Двигаясь в этом поле, ионы попадают на мишень, расположенную в точке C на некотором расстоянии от точки A (см. рис.). Определите расстояние AC, если индукция магнитного поля B равна 0,1 Тл, а отношение массы иона к его заряду $\frac{m}{q} = 6 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.



Ответ: _____ см.

25. Линии индукции однородного магнитного поля пронизывают плоскую фигуру площадью 0,5 м^2 под углом 30° к её поверхности, создавая магнитный поток, равный 0,2 Вб. Чему равен модуль вектора индукции магнитного поля?

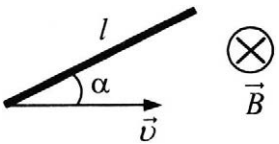
Ответ: _____ Тл.

26. Линии индукции однородного магнитного поля пронизывают плоскую фигуру площадью 0,5 м^2 под углом 30° к её поверхности. Модуль вектора индукции магнитного поля равен 0,4 Тл. Определите величину магнитного потока через фигуру.

Ответ: _____ Вб.

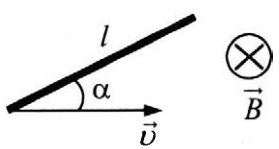
Электромагнитная индукция

27. Проводящий стержень длиной l = 40 см движется поступательно в однородном магнитном поле со скоростью υ = 0,5 м/с так, что угол между стержнем и вектором скорости α = 30° (см. рис.). Плоскость движения стержня перпендикулярна вектору индукции магнитного поля. ЭДС индукции в стержне равна 0,05 В. Какова индукция магнитного поля?



Ответ: _____ Тл.

28. Проводящий стержень длиной l = 20 см движется поступательно в однородном магнитном поле со скоростью υ = 2 м/с так, что угол между стержнем и вектором скорости α = 30° (см. рис.). Плоскость движения стержня перпендикулярна вектору индукции магнитного поля. Определите ЭДС индукции в стержне, если модуль индукции магнитного поля равен 0,25 Тл.



Ответ: _____ В.

29. В проводнике индуктивностью 4 мГн сила тока в течение 0,4 с равномерно возрастает с 2 А до 10 А. Определите модуль ЭДС самоиндукции, которая возникает в проводнике.

Ответ: _____ В.

30. В проводнике индуктивностью 5 мГн сила тока в течение 0,4 с равномерно возрастает с 2 А до какого-то конечного значения. При этом в проводнике возникает ЭДС самоиндукции величиной 0,1 В. Определите конечное значение силы тока в проводнике.

Ответ: _____ А.

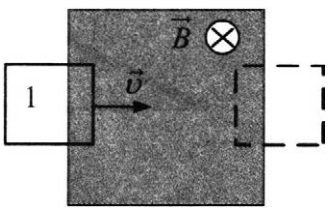
31. Кольцо радиуса 20 см из тонкой проволоки с сопротивлением 0,16 Ом находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого пересекают плоскость кольца под углом 60°. За какое время в кольце выделится количество теплоты 555 мкДж, если магнитная индукция убывает со скоростью 0,05 Тл/с? Ответ округлите до десятых.

Ответ: _____ с.

32. Кольцо радиуса 20 см из тонкой проволоки с сопротивлением 0,16 Ом находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого пересекают плоскость кольца под углом 60°. Определите скорость возрастания магнитной индукции, если за 3 с в кольце выделяется количество теплоты 555 мкДж. Ответ округлите до сотых.

Ответ: _____ Тл/с.

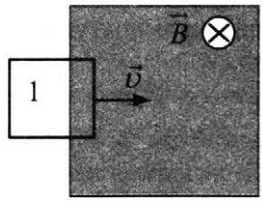
33. На рисунке заштрихована область однородного магнитного поля, перпендикулярного плоскости рисунка, $B = 0{,}1$ Тл. Проволочную квадратную рамку сопротивлением $R = 10$ Ом и стороной $l = 10$ см перемещают в плоскости рисунка поступательно со скоростью $v = 1$ м/с. Чему равен индукционный ток в рамке в состоянии 1?



Ответ: _____ мА.

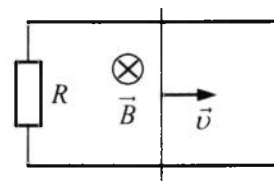
34. На рисунке заштрихована область однородного магнитного поля, перпендикулярного плоскости рисунка, с индукцией $B = 0{,}1$ Тл. Квадратную проволочную рамку с сопротивлением 10 Ом

и длиной стороны 10 см перемещают в этом поле в плоскости рисунка поступательно с постоянной скоростью $\vec{\upsilon}$. Когда рамка проходит положение 1, индукционный ток в ней равен 1 мА. Какова скорость движения рамки?



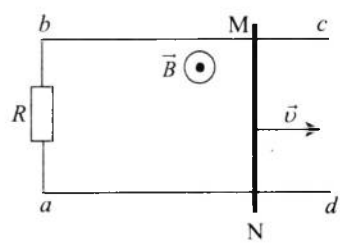
Ответ: _____ м/с.

35. Прямоугольный контур, образованный двумя рельсами и двумя перемычками, находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости контура. Левая перемычка неподвижна, а правая перемычка скользит по рельсам, сохраняя надёжный контакт с ними. Индукция магнитного поля $B = 0{,}1$ Тл, расстояние между рельсами $l = 20$ см, скорость движения правой перемычки $\upsilon = 2$ м/с, сопротивление контура $R = 4$ Ом. Какова сила индукционного тока в контуре?



Ответ: _____ мА.

36. По параллельным проводникам *bc* и *ad*, находящимся в однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, со скоростью $\upsilon = 1$ м/с скользит проводящий стержень MN, который находится в контакте с проводниками (см. рис.). Магнитное поле перпендикулярно плоскости проводников. Расстояние между проводниками $l = 30$ см. Между проводниками подключён резистор сопротивлением $R = 2$ Ом. Сопротивление стержня и проводников пренебрежимо мало. При движении стержня по резистору R течёт ток $I = 60$ мА. Какова индукция магнитного поля?



Ответ: _____ Тл.

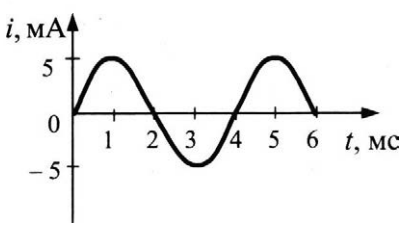
37. Ёмкость конденсатора в идеальном колебательном контуре равна 50 мкФ. Зависимость напряжения на конденсаторе от времени имеет вид: $U = 60 \sin(500\,t)$, где все величины выражены в СИ. Найдите амплитуду колебаний силы тока в контуре.

Ответ: _____ А.

38. Ёмкость конденсатора в идеальном колебательном контуре равна 6 мкФ. Зависимость напряжения на конденсаторе от времени имеет вид: $U = 50 \cos(1 \cdot 10^3\,t)$, где все величины выражены в СИ. Найдите амплитуду колебаний силы тока в контуре.

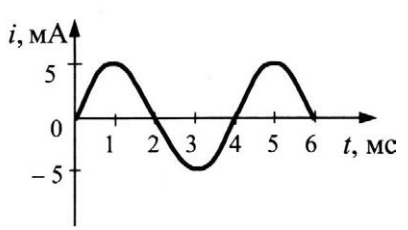
Ответ: _____ А.

39. На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки с индуктивностью 0,3 Гн. Определите максимальное значение энергии электрического поля конденсатора.



Ответ: _____ мкДж.

40. На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки с индуктивностью 0,2 Гн. Определите максимальное значение энергии магнитного поля катушки.



Ответ: _____ мкДж.

41. В таблице показано, как изменялся заряд конденсатора с течением времени в колебательном контуре, подключённом к источнику переменного тока.

t, 10^{-6} с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q, 10^{-9} Кл	2	1,42	0	–1,42	–2	–1,42	0	1,42	2	1,42

При какой индуктивности катушки в контуре наступит резонанс при этой частоте колебаний, если ёмкость конденсатора равна 50 пФ? Ответ округлите до целых.

Ответ: _____ мГн.

42. В идеальном колебательном контуре происходят свободные электромагнитные колебания. В таблице показано, как изменялся заряд на одной из обкладок конденсатора в контуре с течением времени.

t, 10^{-6} с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q, 10^{-9} Кл	2	1,42	0	–1,42	–2	–1,42	0	1,42	2	1,42

Чему равно максимальное значение силы тока в катушке? Ответ округлите до десятых.

Ответ: _____ мА.

43. В идеальном колебательном контуре происходят свободные электромагнитные колебания. В таблице показано, как изменялся заряд на одной из обкладок конденсатора в контуре с течением времени.

t, 10^{-6} с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q, 10^{-9} Кл	2	1,42	0	–1,42	–2	–1,42	0	1,42	2	1,42

Какова энергия магнитного поля катушки в момент времени $3 \cdot 10^{-6}$ с, если емкость конденсатора равна 50 пФ? Ответ округлите до целых.

Ответ: _____ нДж.

44. В таблице показано, как менялся ток в катушке идеального колебательного контура. Чему равна максимальная энергия конденсатора, если индуктивность катушки 4 мГн?

t, 10^{-6} с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I, 10^{-3} А	4	2,83	0	–2,83	–4	–2,83	0	2,83	4	2,83

Ответ: _____ нДж.

45. В таблице показано, как менялся ток в катушке идеального колебательного контура при свободных колебаниях. Вычислите по этим данным максимальный заряд конденсатора. Ответ в нанокулонах округлите до десятых.

t, 10^{-6} с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I, 10^{-3} А	4	2,83	0	–2,83	–4	–2,83	0	2,83	4	2,83

Ответ: _____ нКл.

46. В таблице показано, как менялся ток в катушке идеального колебательного контура. Найдите ёмкость конденсатора, если индуктивность катушки равна 4 мГн. Ответ в нанофарадах округлите до десятых.

t, 10^{-6} с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I, 10^{-3} А	4	2,83	0	–2,83	–4	–2,83	0	2,83	4	2,83

Ответ: _____ нФ.

47. В таблице показано, как менялся ток в катушке идеального колебательного контура при свободных колебаниях. Найдите энергию конденсатора в момент времени $5 \cdot 10^{-6}$ с, если индуктивность катушки 4 мГн. Ответ в наноджоулях округлите до десятых.

t, 10^{-6} с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I, 10^{-3} А	4	2,83	0	–2,83	–4	–2,83	0	2,83	4	2,83

Ответ: _____ нДж.

48. В двух идеальных колебательных контурах происходят незатухающие электромагнитные колебания. Максимальное значение заряда конденсатора во втором контуре равно 6 мкКл. Амплитуда колебаний силы тока в первом контуре в 3 раза меньше, а период его колебаний в 2 раза меньше, чем во втором контуре. Определите максимальное значение заряда конденсатора в первом контуре.

Ответ: _____ мкКл.

49. В двух идеальных колебательных контурах происходят незатухающие электромагнитные колебания. Амплитуда силы тока в первом контуре 3 мА. Каково амплитудное значение силы

тока во втором контуре, если период колебаний в нём в 2 раза больше, а максимальное значение заряда конденсатора в 4 раза больше, чем в первом?

Ответ: _____ мА.

50. КПД трансформатора 90%. Амплитуда напряжения на концах первичной обмотки $U_1 = 300$ В, на концах вторичной $U_2 = 30$ В. Амплитуда силы тока во вторичной обмотке $I_2 = 9$ А. Какова амплитуда силы тока I_1 в первичной обмотке трансформатора?

Ответ: _____ А.

51. Амплитуда напряжения на концах первичной обмотки трансформатора 120 В, амплитуда силы тока в ней 1 А. Амплитуда напряжения на концах вторичной обмотки 12 В, амплитуда силы тока в ней 8 А. Каков КПД трансформатора?

Ответ: _____ %.

Оптика

52. Непрозрачный круг освещается точечным источником света и отбрасывает круглую тень на экран. Определите диаметр тени, если диаметр круга 0,15 м. Расстояние от источника света до круга в 2 раза меньше, чем до экрана.

Ответ: _____ м.

53. Тень на экране от предмета, освещённого точечным источником света, имеет размеры в 5 раз большие, чем сам предмет. Расстояние от источника света до предмета равно 0,5 м. Определите расстояние от предмета до экрана.

Ответ: _____ м.

54. К потолку комнаты высотой 3 м прикреплена небольшая светящаяся лампочка. На высоте 1,5 м от пола параллельно полу расположен непрозрачный квадрат со стороной 2 м. Определите площадь тени на полу.

Ответ: _____ $м^2$.

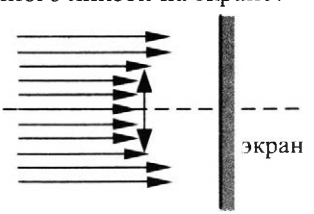
55. К потолку комнаты высотой 3 м прикреплена люминесцентная лампа длиной 2 м. На высоте 1,5 м от пола параллельно ему расположен круглый непрозрачный диск диаметром 2 м. Центр лампы и центр диска лежат на одной вертикали. Найдите максимальное расстояние между крайними точками полутени на полу.

Ответ: _____ м.

56. К потолку комнаты высотой 4 м прикреплена люминесцентная лампа длиной 1,5 м. На высоте 2 м от пола параллельно ему расположен круглый непрозрачный диск диаметром 1,5 м. Центр лампы и центр диска лежат на одной вертикали. Определите минимальный линейный размер тени от диска на полу.

Ответ: _____ м.

57. Пучок параллельных световых лучей падает вдоль главной оптической оси на тонкую собирающую линзу диаметром 6 см с оптической силой 5 дптр (см. рис.). Экран расположен за линзой на расстоянии 10 см от неё. Чему равен диаметр светлого пятна, созданного линзой на экране?

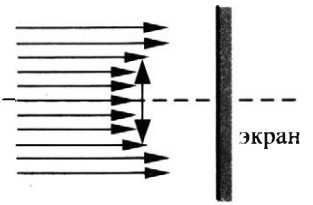


Ответ: _____ см.

58. Пучок параллельных световых лучей падает вдоль главной оптической оси на тонкую собирающую линзу оптической силой 5 дптр. Диаметр линзы 6 см. Внешний диаметр светлого кольца на экране 12 см. На каком расстоянии от линзы помещён экран?

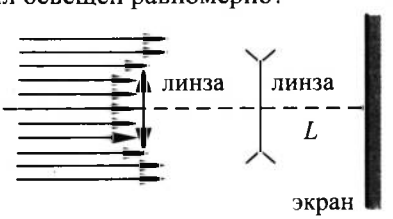
Ответ: _____ см.

59. Пучок параллельных световых лучей падает вдоль главной оптической оси на тонкую собирающую линзу оптической силой 5 дптр. Диаметр линзы 6 см (см. рис.). Каков внешний диаметр светлого кольца на экране, стоящем на расстоянии 60 см от линзы?



Ответ: _____ см.

60. Параллельный световой пучок падает перпендикулярно на тонкую собирающую линзу. На расстоянии 25 см от неё расположена рассеивающая линза (см. рис.). Оптическая сила собирающей линзы равна 4 дптр, фокусное расстояние рассеивающей линзы 20 см. Диаметры линз равны 6 см. Каким должно быть расстояние L от рассеивающей линзы до экрана, чтобы экран был освещён равномерно?



Ответ: _____ см.

61. Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси тонкой собирающей линзы с оптической силой 20 дптр. Расстояние от предмета до линзы равно 7,5 см. Определите расстояние от линзы до изображения предмета.

Ответ: _____ см.

62. Предмет высотой 4 см расположен на горизонтальной главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии 30 см от её оптического центра. Высота изображения предмета 8 см. Найдите фокусное расстояние линзы.

Ответ: _____ см.

63. Предмет расположен на горизонтальной главной оптической оси тонкой собирающей линзы. Оптическая сила линзы $D = 2{,}5$ дптр. Изображение предмета действительное, увеличение (отношение высоты изображения предмета к высоте самого предмета) $k = 0{,}5$. Найдите расстояние от изображения предмета до линзы.

Ответ: _____ см.

64. Фокусное расстояние тонкой линзы-объектива проекционного аппарата равно 15 см. Диапозитив находится на расстоянии 15,6 см от объектива. На каком расстоянии от объектива получится чёткое изображение диапозитива?

Ответ: _____ см.

65. Электромагнитная волна с периодом колебаний $4{,}89 \cdot 10^{-11}$ с переходит из воздуха в сероуглерод. Показатель преломления сероуглерода 1,63. Чему равна длина этой волны в сероуглероде?

Ответ: _____ мм.

66. Источник с частотой колебаний $2{,}5 \cdot 10^{12}$ Гц возбуждает в среде электромагнитные волны длиной 60 мкм. Определите абсолютный показатель преломления среды.

Ответ: _____ .

67. Синус предельного угла полного внутреннего отражения на границе стекло–воздух равен $\frac{19}{30}$. Чему равен абсолютный показатель преломления стекла? Ответ округлите до сотых.

Ответ: _____ .

68. Синус предельного угла полного внутреннего отражения на границе стекло–воздух равен $\frac{19}{30}$. Чему равна скорость света в стекле?

Ответ: _____ $\cdot 10^8$ м/с.

69. Синус предельного угла полного внутреннего отражения при переходе света из стекла в воду равен $\frac{8}{9}$. Чему равен абсолютный показатель преломления стекла, если абсолютный показатель преломления воды равен $\frac{4}{3}$?

Ответ: _____ .

70. На поверхность стекла нанесена тонкая плёнка толщиной 180 нм с показателем преломления $n_{\text{пленки}} < n_{\text{стекла}}$. На плёнку нормально падает свет с длиной волны 504 нм. При каком значении показателя преломления пленки будет наблюдаться максимальное отражение света?

Ответ: _____ .

71. На поверхность стекла с показателем преломления 1,60 нанесена плёнка толщиной 150 нм с показателем преломления 1,45. Для какой длины волны видимого света коэффициент отражения будет максимальным?

Ответ: _____ нм.

72. На поверхность стекла с показателем преломления n_1 нанесена тонкая плёнка с показателем преломления $n_2 < n_1$ толщиной 200 нм. На плёнку по нормали к ней падает свет с длиной волны 600 нм. При каком наименьшем значении показателя преломления плёнки она будет максимально отражающей? Ответ округлите до десятых.

Ответ: _____ .

73. На поверхность стекла с показателем преломления 1,70 нанесена плёнка толщиной 110 нм с показателем преломления 1,55. Для какой длины волны видимого света плёнка будет «просветляющей» (т. е. отражённые лучи практически полностью гасятся)? Ответ выразите в нанометрах (нм).

Ответ: _____ нм.

74. На поверхность стекла нанесена плёнка толщиной 120 нм с показателем, меньшим показателя преломления стекла. На плёнку по нормали к ней падает свет с длиной волны 744 нм.

При каком минимальном значении показателя преломления $n_{пл}$ плёнка будет «просветляющей» (т. е. отражённые лучи практически полностью гасятся)?

Ответ: _____ .

75. На дифракционную решётку с периодом 0,004 мм падает по нормали плоская монохроматическая волна. Количество дифракционных максимумов, наблюдаемых с помощью этой решётки, равно 19. Максимумы высшего порядка наблюдаются в направлении, параллельном решётке. Какова длина падающей волны света? Ответ округлите до десятков.

Ответ: _____ нм.

76. На дифракционную решётку, имеющую 500 штрихов на мм, перпендикулярно ей падает плоская монохроматическая волна. Какова длина падающей волны, если максимум 4-го порядка наблюдается в направлении, перпендикулярном падающей волне?

Ответ: _____ нм.

77. Дифракционная решётка с периодом 10^{-5} м расположена параллельно экрану на расстоянии 1,8 м от него. Какого порядка максимум в спектре будет наблюдаться на экране на расстоянии 10,44 см от центра дифракционной картины при освещении решётки нормально падающим пучком света длиной волны 580 нм? Считать $\sin\alpha \approx \operatorname{tg}\alpha$.

Ответ: _____ .

78. Дифракционная решётка с периодом 10^{-5} м расположена параллельно экрану на расстоянии 1,8 м от него. Между решёткой и экраном вплотную к решетке расположена линза, которая фокусирует свет, проходящий через решётку, на экране. Какого порядка максимум в спектре будет наблюдаться на экране на расстоянии 20,88 см от центра дифракционной картины при освещении решётки нормально падающим пучком света длиной волны 580 нм? Угол отклонения лучей решёткой α считать малым, так что $\sin\alpha \approx \operatorname{tg}\alpha \approx \alpha$.

Ответ: _____ .

79. На дифракционную решётку, имеющую период $3 \cdot 10^{-5}$ м, падает нормально параллельный пучок белого света. Спектр наблюдается на экране на расстоянии 3 м от решётки. Каково расстояние между красным и фиолетовым участками спектра первого порядка (первой цветной полоски на экране), если длины волн красного и фиолетового света соответственно равны $8 \cdot 10^{-7}$ м и $4 \cdot 10^{-7}$ м? Считать $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$.

Ответ: _____ см.

80. Дифракционная решётка, имеющая 750 штрихов на 1 см, расположена параллельно экрану на расстоянии 1,5 м от него. На решётку перпендикулярно её плоскости направляют пучок монохроматического света. Определите длину волны света, если расстояние на экране между вторыми максимумами, расположенными слева и справа от центрального (нулевого), равно 22,5 см. Ответ в микрометрах округлите до десятых. Считать $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$.

Ответ: _____ мкм.

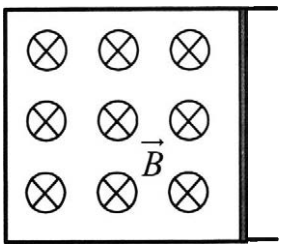
81. Плоская монохроматическая световая волна падает по нормали на дифракционную решётку с периодом 5 мкм. Параллельно решётке позади неё размещена собирающая линза с фокусным расстоянием 20 см. Дифракционная картина наблюдается на экране в задней фокальной плоскости линзы. Расстояние между её главными максимумами 1-го и 2-го порядков равно 18 мм. Найдите длину падающей волны. Ответ в нанометрах округлите до целых. Считать для малых углов ($\varphi << 1$ в радианах). $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$.

Ответ: _____ нм.

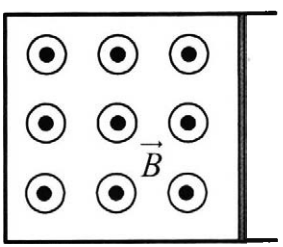
2.2. Задания с развёрнутым ответом

1. Металлический стержень, согнутый в виде буквы П, закреплён в горизонтальной плоскости. На параллельные стороны стержня опирается концами перпендикулярная перемычка массой 92 г и длиной 1 м. Сопротивление перемычки равно 0,1 Ом. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией 0,15 Тл. С какой установившейся скоростью будет двигаться перемычка, если к ней приложить

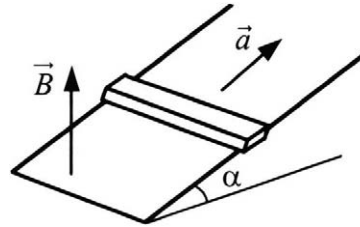
постоянную горизонтальную силу 1,13 Н? Коэффициент трения между стержнем и перемычкой равен 0,25. Сопротивлением стержня пренебречь. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на перемычку.



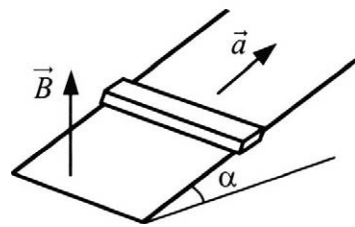
2. Металлический стержень, согнутый в виде буквы П, закреплён в горизонтальной плоскости. На параллельные стороны стержня опирается концами перпендикулярная перемычка массой 92 г и длиной 1,5 м. Сопротивление перемычки равно R. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Перемычка движется с установившейся скоростью 4 м/с, если к ней приложить постоянную горизонтальную силу 1,13 Н. Коэффициент трения между стержнем и перемычкой равен 0,25. Чему равно R? Сопротивлением стержня пренебречь. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на перемычку.



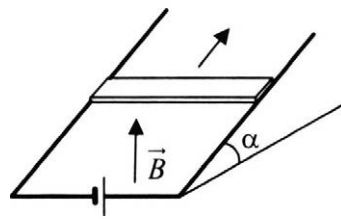
3. Горизонтальный проводящий стержень прямоугольного сечения поступательно движется с ускорением вверх по гладкой наклонной плоскости в вертикальном однородном магнитном поле (см. рис.). По стержню протекает ток I. Угол наклона плоскости $\alpha = 30°$. Отношение массы стержня к его длине $\frac{m}{L} = 0{,}1$ кг/м. Модуль индукции магнитного поля $B = 0{,}2$ Тл. Ускорение стержня $a = 1{,}9$ м/с^2. Чему равна сила тока в стержне?



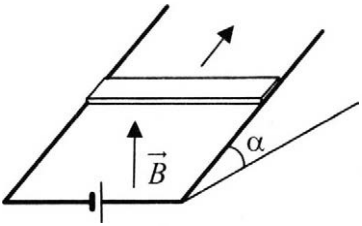
4. Горизонтальный проводящий стержень прямоугольного сечения поступательно движется с ускорением вверх по гладкой наклонной плоскости в вертикальном однородном магнитном поле (см. рис.). По стержню протекает ток I = 4 А. Угол наклона плоскости α = 30°. Отношение массы стержня к его длине $\frac{m}{L} = 0{,}1$ кг/м. Модуль индукции магнитного поля B = 0,2 Тл. Определите ускорение стержня.



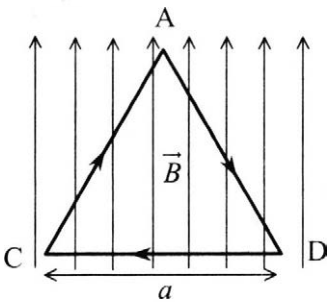
5. На проводящих рельсах, проложенных по наклонной плоскости, в однородном вертикальном магнитном поле $\vec{B}$ находится горизонтальный прямой проводник прямоугольного сечения массой m = 20 г. Плоскость наклонена к горизонту под углом α = 30°. Расстояние между рельсами L = 40 см. Когда рельсы подключены к источнику тока, по проводнику протекает постоянный ток I = 11 А. При этом проводник поступательно движется вверх по рельсам равномерно и прямолинейно. Коэффициент трения между проводником и рельсами μ = 0,2. Чему равен модуль индукции магнитного поля B?



6. На проводящих рельсах, проложенных по наклонной плоскости, в однородном вертикальном магнитном поле $\vec{B}$ находится горизонтальный прямой проводник прямоугольного сечения массой m = 20 г. Модуль индукции магнитного поля B = 0,04. Плоскость наклонена к горизонту под углом $\alpha = 30°$. Расстояние между рельсами L = 40 см. Когда рельсы подключены к источнику тока, по проводнику протекает постоянный ток I. При этом проводник поступательно движется вверх по рельсам равномерно и прямолинейно. Коэффициент трения между проводником и рельсами μ = 0,2. Определите величину силы тока.

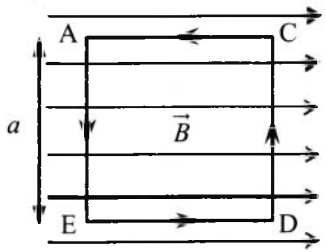


7. На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит проводящая жёсткая рамка из однородной тонкой проволоки, согнутой в виде равностороннего треугольника ADC со стороной, равной a (см. рис.). Рамка, по которой течёт ток I, находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции которого $\vec{B}$ перпендикулярен стороне CD. Каким должен быть модуль индукции магнитного поля, чтобы рамка начала поворачиваться вокруг стороны CD, если масса рамки m?

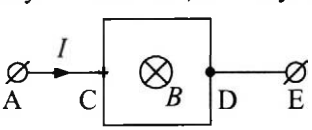


8. На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит жёсткая рамка массой m из однородной тонкой проволоки,

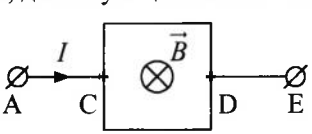
согнутая в виде квадрата ACDE со стороной a (см. рис.). Рамка находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции $\vec{B}$ которого перпендикулярен сторонам AE и CD и равен по модулю B. По рамке течёт ток в направлении, указанном стрелками (см. рис.). При какой минимальной силе тока рамка начнёт поворачиваться вокруг стороны CD?



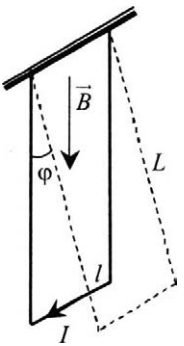
9. Квадратная рамка со стороной L = 20 см подключена к источнику постоянного тока серединами своих сторон так, как показано на рисунке. На участке AC течёт ток I = 1,5 А. Сопротивление всех сторон рамки одинаково. Найдите полную силу Ампера, которая будет действовать на рамку в однородном магнитном поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости рамки и по модулю B = 0,2 Тл. Сделайте рисунок, на котором укажите силы, действующие на рамку.



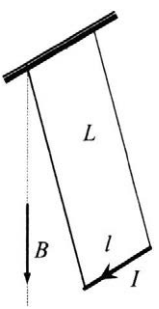
10. Квадратная рамка со стороной l = 10 см подключена к источнику постоянного тока серединами своих сторон так, как показано на рисунке. На участке AC течёт ток I = 2,5 А. Сопротивление всех сторон рамки одинаково. В однородном магнитном поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости рамки, результирующая сила Ампера, действующая на рамку, F = 75 мН. Определите модуль вектора индукции магнитного поля B. Сделайте рисунок с указанием сил Ампера, действующих на все стороны рамки.



11. Металлический стержень длиной $l = 0{,}1$ м и массой $m = 10$ г, подвешенный на двух параллельных проводящих нитях длиной $L = 1$ м, располагается горизонтально в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл, как показано на рисунке. Вектор магнитной индукции направлен вертикально. Какую максимальную скорость приобретет стержень, если по нему пропустить ток силой 10 А в течение 0,1 с? Угол φ отклонения нитей от вертикали за время протекания тока мал.



12. Металлический стержень длиной $l = 0{,}1$ м и массой $m = 10$ г, подвешенный на двух параллельных проводящих нитях длиной $L = 1$ м, располагается горизонтально в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл. Вектор магнитной индукции направлен вертикально. По стержню пропускают ток в течение 0,1 с, в результате чего стержень приобретает кинетическую энергию 0,005 Дж. Чему равна сила тока? Угол отклонения нитей от вертикали за время протекания тока мал (см. рис.).



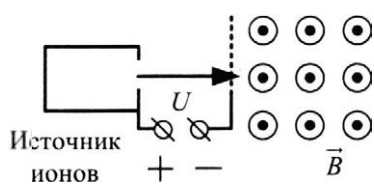
13. Протон ускоряется постоянным электрическим полем конденсатора, напряжение на обкладках которого 2160 В. Затем он влетает в однородное магнитное поле и движется по дуге

окружности радиуса 20 см в плоскости, перпендикулярной линиям магнитной индукции. Каков модуль вектора индукции магнитного поля? Начальной скоростью протона в электрическом поле пренебречь.

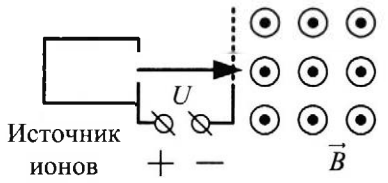
14. Электрон влетает в область однородного магнитного поля индукцией B = 0,01 Тл со скоростью υ = 1000 км/с перпендикулярно линиям магнитной индукции. Какой путь он пройдёт к тому моменту, когда вектор его скорости повернётся на 1°?

15. Заряженный шарик в космическом пространстве влетает в область однородного магнитного поля B = 0,2 Тл, имея скорость υ = 10 м/с, перпендикулярную вектору магнитной индукции. Какой путь он пройдёт к тому моменту, когда вектор его скорости повернётся на 1°? Масса шарика m = 0,01 г, заряд q = 0,3 нКл. Силой тяжести пренебречь.

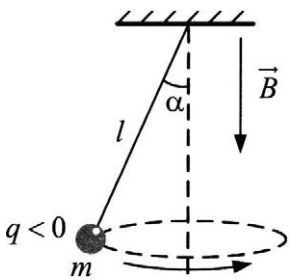
16. Ион ускоряется в электрическом поле с разностью потенциалов U = 10 кВ и попадает в однородное магнитное поле перпендикулярно к вектору его индукции $\vec{B}$ (см. рис.). Радиус траектории движения иона в магнитном поле R = 0,2 м, модуль индукции магнитного поля равен 0,5 Тл. Определите отношение массы иона к его электрическому заряду $\frac{m}{q}$. Кинетической энергией иона при его вылете из источника пренебрегите.



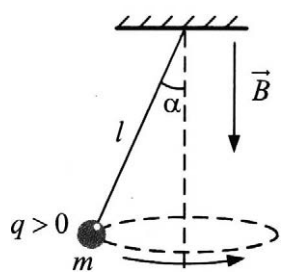
17. Ион ускоряется в электрическом поле с разностью потенциалов U = 10 кВ и попадает в однородное магнитное поле перпендикулярно к вектору его индукции $\vec{B}$ (см. рис.). Радиус траектории движения иона в магнитном поле R = 0,2 м, отношение массы иона к его электрическому заряду $\frac{m}{q} = 5 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл. Определите значение модуля индукции магнитного поля. Кинетической энергией иона при его вылете из источника пренебрегите.



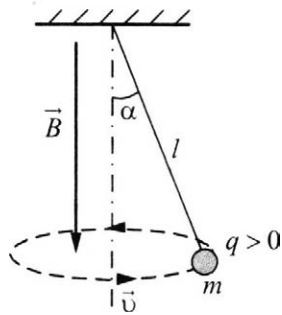
18. В однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, направленной вертикально вниз, равномерно вращается по окружности в горизонтальной плоскости против часовой стрелки отрицательно заряженный шарик массой m, подвешенный на нити длиной l (конический маятник). Угол отклонения нити от вертикали равен α, скорость вращения шарика равна υ. Найдите заряд шарика q. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шарик.



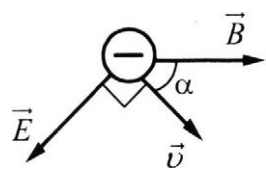
19. В однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, направленной вертикально вниз, равномерно вращается по окружности в горизонтальной плоскости против часовой стрелки положительно заряженный шарик, подвешенный на нити длиной l (конический маятник). Заряд шарика q, скорость его вращения υ. Угол отклонения нити от вертикали равен α. Найдите массу шарика. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шарик.



20. В однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, направленной вертикально вниз, равномерно вращается по окружности в горизонтальной плоскости против часовой стрелки положительно заряженный шарик, подвешенный на нити длиной l (конический маятник) (см. рис.). Угол отклонения нити от вертикали равен α, скорость вращения шарика равна υ. Найдите отношение заряда шарика к его массе $\frac{q}{m}$ (удельный заряд). Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шарик.

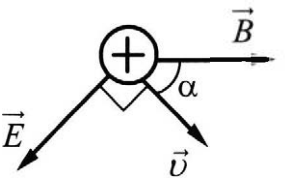


21. Точечный отрицательный заряд $q = -1{,}5 \cdot 10^{-12}$ Кл движется в однородных электрическом и магнитном полях. Напряжённость электрического поля E = 1200 В/м; индукция магнитного поля B = 0,03 Тл. В некоторый момент времени скорость заряда равна по величине $\upsilon = 10^5$ м/с и лежит в плоскости векторов $\vec{B}$ и $\vec{E}$, при этом вектор $\vec{\upsilon}$ перпендикулярен вектору $\vec{E}$ и составляет с вектором $\vec{B}$ угол $\alpha = 45°$. Найдите величину результирующей силы, действующей на заряд со стороны электромагнитного поля в этот момент времени.

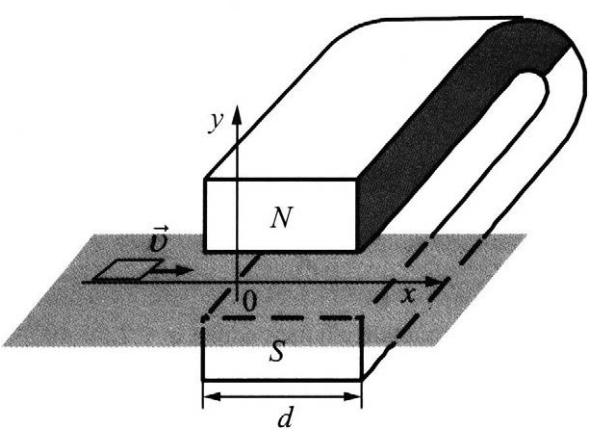


22. Точечный положительный заряд $q = 2{,}5 \cdot 10^{-12}$ Кл движется в однородных электрическом и магнитном полях. Напряжённость электрического поля E = 1200 В/м; индукция магнитного поля B = 0,03 Тл. В некоторый момент времени скорость

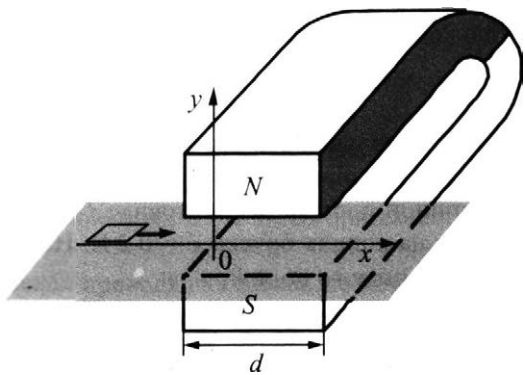
заряда равна по величине $\upsilon = 10^5$ м/с и лежит в плоскости векторов $\vec{B}$ и $\vec{E}$, при этом вектор $\vec{\upsilon}$ перпендикулярен вектору $\vec{E}$ и составляет с вектором $\vec{B}$ угол $\alpha = 45°$. Найдите величину результирующей силы, действующей на заряд со стороны электромагнитного поля в этот момент времени.



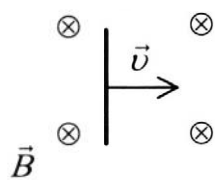
23. Квадратную рамку из медной проволоки со стороной b = 5 см перемещают вдоль оси $0x$ по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью $\upsilon = 1$ м/с. Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка успевает полностью пройти между полюсами магнита. Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу $\vec{F}$, направленную вдоль оси $0x$. Чему равно сопротивление проволоки рамки, если суммарная работа внешней силы за время движения $A = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ Дж? Ширина полюсов магнита d = 20 см, магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, а его индукция B = 1 Тл.



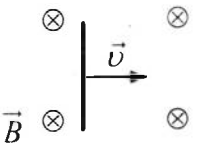
24. Квадратную рамку из медной проволоки со стороной $b = 5$ см и сопротивлением $R = 0{,}1$ Ом перемещают вдоль оси $0x$ по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью $\upsilon = 1$ м/с. Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка успевает пройти между полюсами магнита и оказаться в области, где магнитное поле отсутствует. Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу $\vec{F}$, направленную вдоль оси $0x$. Ширина полюсов магнита $d = 20$ см, магнитное поле имеет резкую границу и однородно между полюсами. Чему равна индукция B магнитного поля между полюсами, если суммарная работа внешней силы за время движения рамки $A = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ Дж?



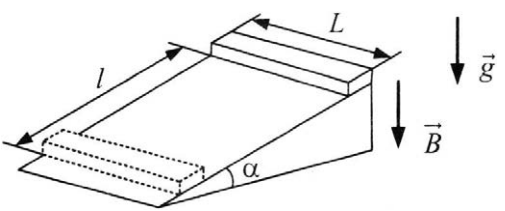
25. Горизонтальный проводник длиной 1 м движется поступательно равноускоренно в вертикальном однородном магнитном поле. Скорость проводника горизонтальна и перпендикулярна проводнику (см. рис.). При начальной скорости проводника, равной нулю, и ускорении 8 м/с^2 он переместился на 1 м. Какова индукция магнитного поля, в котором двигался проводник, если ЭДС индукции на концах проводника в конце движения равна 2 В?



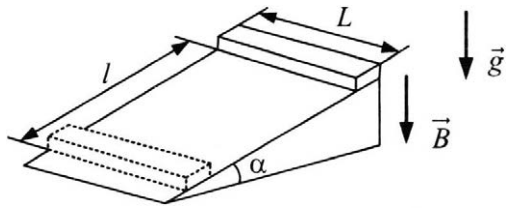
26. Горизонтальный проводник движется поступательно равноускоренно в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл. Скорость проводника горизонтальна и перпендикулярна проводнику (см. рис.). При начальной скорости проводника, равной нулю, и ускорении 8 м/с^2 проводник переместился на 1 м. ЭДС индукции на концах проводника в конце движения равна 2 В. Какова длина проводника?



27. Тонкий алюминиевый брусок прямоугольного сечения, имеющий длину $L = 0{,}3$ м, соскальзывает из состояния покоя по гладкой наклонной плоскости из диэлектрика в вертикальном однородном магнитном поле индукцией $\vec{B}$ (см. рис.). Плоскость наклонена к горизонту под углом $\alpha = 30°$. Продольная ось бруска при движении сохраняет горизонтальное направление. В момент, когда брусок пройдёт по наклонной плоскости расстояние $l = 1{,}6$ м, величина ЭДС индукции на концах бруска $\mathcal{E} = 0{,}2$ В. Найдите величину индукции магнитного поля B.



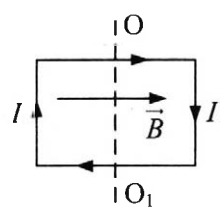
28. Тонкий алюминиевый брусок прямоугольного сечения, имеющий длину $L = 0{,}25$ м, соскальзывает из состояния покоя по гладкой наклонной плоскости из диэлектрика в вертикальном однородном магнитном поле индукцией $B = 0{,}2$ Тл (см. рис.). Плоскость наклонена к горизонту под углом $\alpha = 30°$. Продольная ось бруска при движении сохраняет горизонтальное направление. Определите ЭДС индукции на концах бруска в момент, когда брусок пройдёт по наклонной плоскости расстояние $l = 90$ см.



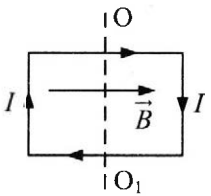
29. Плоская горизонтальная фигура площадью 0,1 м^2, ограниченная проводящим контуром, имеющим сопротивление 5 Ом, находится в однородном магнитном поле. Проекция вектора магнитной индукции на вертикальную ось $0z$ медленно и равномерно возрастает от некоторого начального значения B_{1Z} до конечного значения $B_{2Z} = 4{,}7$ Тл. За это время по контуру протекает заряд $\Delta q = 0{,}08$ Кл. Найдите B_{1Z}.

30. Плоская горизонтальная фигура площадью S = 0,1 м^2, ограниченная проводящим контуром сопротивлением 5 Ом, находится в однородном магнитном поле. Проекция вектора магнитной индукции на вертикальную ось $0z$ медленно и равномерно возрастает от начального значения B_{1Z} = 0,7 Тл до конечного значения B_{2Z} = 4,7 Тл. Какой заряд за это время протекает по контуру?

31. Прямоугольная проводящая рамка, по которой течёт постоянный ток I = 0,25 А, закреплена в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого лежит в плоскости рамки и направлен перпендикулярно одной из её сторон (см. рис.). Момент сил, действующих на рамку со стороны магнитного поля относительно оси OO_1, проходящей через центр рамки, M = 1,5 Н·м. Затем рамку отключили от внешнего источника тока и замкнули. Какой заряд q протечёт теперь по замкнутой рамке, если повернуть её на 180° вокруг оси OO_1? Сопротивление рамки R = 5 Ом.



32. Прямоугольная проводящая рамка, по которой течёт постоянный ток $I = 0{,}25$ А, закреплена в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого лежит в плоскости рамки и направлен перпендикулярно одной из её сторон (см. рис.). Момент сил, действующих на рамку со стороны магнитного поля относительно оси OO_1, проходящей через центр рамки, $M = 1{,}5$ Н·м. Затем рамку отключили от внешнего источника тока и замкнули. Какой заряд q протечёт теперь по замкнутой рамке, если повернуть её на 90° вокруг оси OO_1? Сопротивление рамки $R = 7{,}5$ Ом.



33. Медное кольцо из провода диаметром 2 мм расположено в однородном магнитном поле, магнитная индукция которого меняется по модулю со скоростью 1,09 Тл/с. Плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции. Каков диаметр кольца, если возникающий в нём индукционный ток равен 10 А? Удельное сопротивление меди $\rho = 1{,}72 \cdot 10^{-8}$ Ом · м.

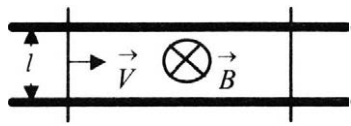
34. Медное кольцо диаметром 20 см из провода диаметром 2 мм расположено в однородном магнитном поле. Плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции. Определите модуль скорости изменения магнитной индукции поля со временем, если при этом в кольце возникает индукционный ток 10 А. Удельное сопротивление меди $\rho = 1{,}72 \cdot 10^{-8}$ Ом · м.

35. Замкнутый контур площадью S из тонкой проволоки помещён в магнитное поле. Плоскость контура перпендикулярна вектору магнитной индукции поля. В контуре возникают колебания тока с амплитудой $i_м = 35$ мА, если магнитная индукция поля меняется с течением времени в соответствии с формулой $B = a \cdot \cos(bt)$, где $a = 6 \cdot 10^{-3}$ Тл, $b = 3500$ с$^{-1}$. Электрическое сопротивление контура $R = 1{,}2$ Ом. Чему равна площадь контура?

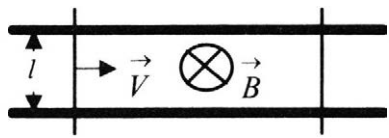
36. Замкнутый контур из тонкой проволоки помещён в магнитное поле. Плоскость контура перпендикулярна вектору магнитной

индукции поля. Площадь контура $S = 2 \cdot 10^{-3}$ м^2. В контуре возникают колебания тока с амплитудой $i_м = 35$ мА, если магнитная индукция поля меняется с течением времени в соответствии с формулой $B = a \cdot \cos(bt)$, где $a = 6 \cdot 10^{-3}$ Тл, $b = 3500$ с$^{-1}$. Чему равно электрическое сопротивление контура R?

37. Два параллельных друг другу рельса, лежащих в горизонтальной плоскости, находятся в однородном магнитном поле, индукция $\vec{B}$ которого направлена вертикально вниз (см. рис.). Левый проводник движется вправо со скоростью $\vec{V}$, а правый — покоится. С какой скоростью $\vec{\upsilon}$ надо перемещать правый проводник (такой же), чтобы в три раза уменьшить силу Ампера, действующую на левый проводник? (Сопротивлением рельсов пренебречь.)

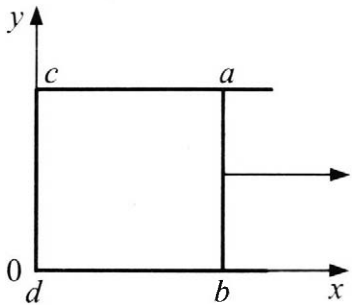


38. Два параллельных друг другу рельса, лежащих в горизонтальной плоскости, находятся в однородном магнитном поле, индукция $\vec{B}$ которого направлена вертикально вниз (см. рис.). Левый проводник движется вправо со скоростью $\vec{V}$, а правый — покоится. С какой скоростью $\vec{\upsilon}$ надо перемещать правый проводник (такой же), чтобы в два раза уменьшить силу Ампера, действующую на левый проводник? (Сопротивлением рельсов пренебречь.)

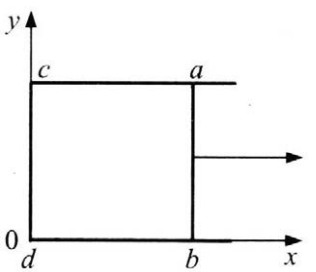


39. По П-образному проводнику *acdb* постоянного сечения скользит со скоростью $\vec{\upsilon}$ медная перемычка *ab* длиной *l* из того же материала и такого же сечения. Проводники, образующие контур, помещены в постоянное однородное магнитное поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости проводников (см. рис.). Какова индукция магнитного

поля B, если в тот момент, когда $ab = ac$, разность потенциалов между точками a и b равна U? Сопротивление между проводниками в точках контакта пренебрежимо мало, а сопротивление проводов велико.

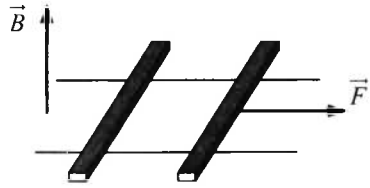


40. По П-образному проводнику $acdb$ постоянного сечения скользит с постоянной скоростью медная перемычка ab длиной l из того же материала и такого же сечения. Проводники, образующие контур, помещены в постоянное однородное магнитное поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости проводников (см. рис.). Модуль индукции магнитного поля равен B. Какова скорость перемычки, если в тот момент, когда $ab = ac$, разность потенциалов между точками a и b равна U? Сопротивление между проводниками в точках контакта пренебрежимо мало, а сопротивление проводов велико.

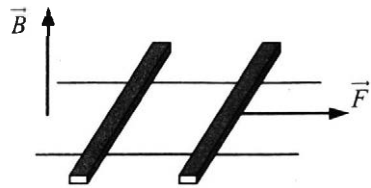


41. По горизонтальным шероховатым рельсам с пренебрежимо малым сопротивлением могут скользить два одинаковых стержня массой $m = 100$ г и сопротивлением $R = 0{,}2$ Ом каждый. Расстояние между рельсами $l = 20$ см, а коэффициент трения между стержнями и рельсами $\mu = 0{,}1$. Рельсы со стержнями находятся в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией

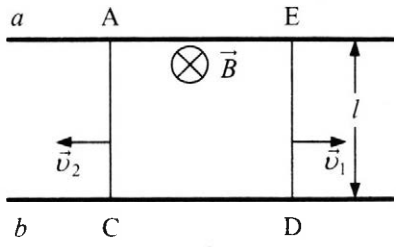
$B = 1$ Тл (см. рис.). Под действием горизонтальной силы, действующей на первый стержень вдоль рельс, оба стержня движутся поступательно равномерно с разными скоростями. Какова скорость движения первого стержня относительно второго? Самоиндукцией контура пренебречь.



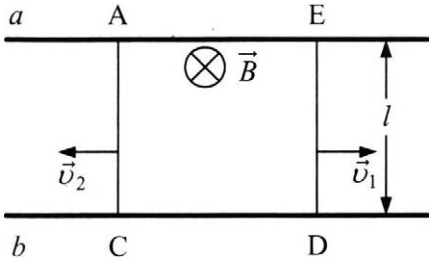
42. По горизонтальным шероховатым рельсам с пренебрежимо малым сопротивлением могут скользить два одинаковых стержня массой $m = 50$ г и сопротивлением $R = 0{,}2$ Ом каждый. Расстояние между рельсами $l = 20$ см. Рельсы со стержнями находятся в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}5$ Тл (см. рис.). Под действием горизонтальной силы, действующей на первый стержень вдоль рельс, оба стержня движутся поступательно равномерно с разными скоростями. Определите коэффициент трения между стержнями и рельсами, если скорость движения первого стержня относительно второго равна $\upsilon_{отн} = 0{,}5$ м/с. Самоиндукцией контура пренебречь.



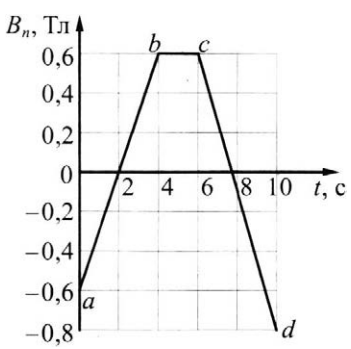
43. На горизонтальном столе лежат два параллельных друг другу рельса: a и b, замкнутых двумя одинаковыми металлическими проводниками: AC и ED (см. рис., вид сверху). Вся система проводников находится в однородном магнитном поле, направленном вертикально вниз. Модуль индукции магнитного поля равен $B = 0{,}5$ Тл, расстояние между рельсами $l = 20$ см, скорости проводников $\upsilon_1 = 1$ м/с и $\upsilon_2 = 3$ м/с, сопротивление каждого из проводников $R = 0{,}1$ Ом. Какова сила тока в цепи? Сопротивлением рельсов пренебречь.



44. На горизонтальном столе лежат два параллельных друг другу рельса: a и b, замкнутых двумя одинаковыми металлическими проводниками: AC и ED (см. рис., вид сверху). Вся система проводников находится в однородном магнитном поле, направленном вертикально вниз. Модуль индукции магнитного поля равен $B = 0{,}5$ Тл, расстояние между рельсами $l = 20$ см, скорости проводников $\upsilon_1 = 2$ м/с и $\upsilon_2 = 3$ м/с. Каково сопротивление каждого из проводников R, если сила тока в цепи $I = 5$ А? Сопротивлением рельсов пренебречь.

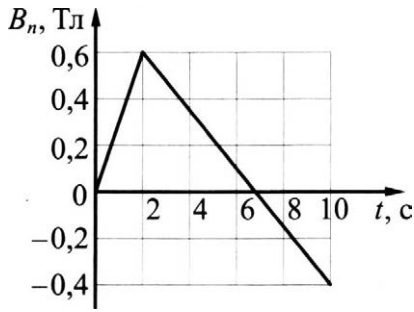


45. Проволочная рамка с сопротивлением $R = 0{,}2$ Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$. На рисунке изображено изменение проекции вектора $\vec{B}$ на перпендикуляр к плоскости рамки с течением времени. За время $t = 10$ с в рамке выделилось количество теплоты $Q = 4{,}1$ мДж. Какова площадь рамки?

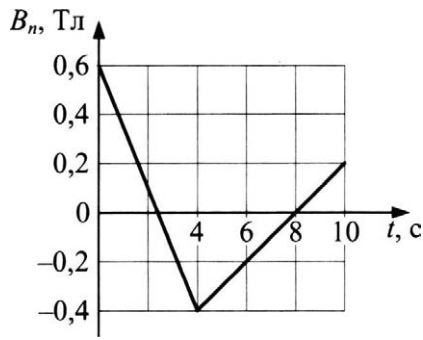


46. Квадратная проволочная рамка со стороной $l = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$. На рисунке изображено изменение проекции вектора $\vec{B}$ на перпендикуляр

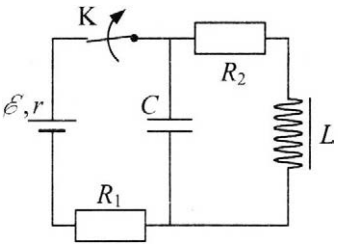
к плоскости рамки с течением времени. За время $t = 10$ с в рамке выделяется количество теплоты $Q = 0{,}1$ мДж. Каково сопротивление проволоки, из которой сделана рамка?



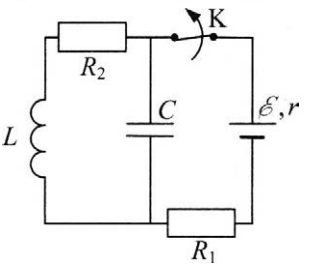
47. Квадратная проволочная рамка со стороной $l = 20$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$. На рисунке изображена зависимость от времени для проекции вектора $\vec{B}$ на перпендикуляр к плоскости рамки. Какое количество теплоты выделится в рамке за время $t = 10$ с, если сопротивление рамки $R = 0{,}4$ Ом?



48. На рисунке показана схема электрической цепи, состоящей из источника тока с ЭДС $\mathscr{E} = 6$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом, двух резисторов с сопротивлениями $R_1 = 8$ Ом и $R_2 = 3$ Ом, конденсатора электроёмкостью $C = 8$ мкФ и катушки с индуктивностью $L = 32$ мкГн. В начальном состоянии ключ К длительное время замкнут. Какое количество теплоты выделится на резисторе R_2 после размыкания ключа К? Сопротивлением катушки пренебречь.



49. На рисунке показана схема электрической цепи, состоящей из источника тока с ЭДС $\mathscr{E} = 24$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом, двух резисторов с сопротивлениями $R_1 = 7$ Ом и $R_2 = 4$ Ом, конденсатора электроёмкостью $C = 1$ мкФ и катушки с индуктивностью $L = 15$ мкГн. Какое количество теплоты выделится на резисторе R_2 после размыкания ключа К? Сопротивлением провода катушки пренебречь.



50. В идеальном колебательном контуре амплитуда колебаний силы тока в катушке индуктивности $I_m = 5$ мА, а амплитуда напряжения на конденсаторе $U_m = 2{,}0$ В. В момент времени t напряжение на конденсаторе равно 1,2 В. Найдите силу тока в катушке в этот момент.

51. В идеальном колебательном контуре в момент времени t напряжение на конденсаторе равно 1,2 В, а сила тока в катушке индуктивности равна 4 мА. Амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе 2,0 В. Найдите амплитуду колебаний силы тока в катушке.

52. Период свободных электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки индуктивности, равен 6,3 мкс. Амплитуда колебаний силы тока $I_m = 10$ мА. В момент времени t сила тока в катушке равна 6 мА. Найдите заряд конденсатора в этот момент.

53. В идеальном колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки индуктивности, происходят свободные незатухающие колебания. Амплитуда колебаний силы тока $I_m = 5$ мА. В момент времени t сила тока в катушке равна 3 мА, а заряд конденсатора равен 2 нКл. Определите период свободных электромагнитных колебаний в контуре.

54 В идеальном колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки индуктивности, амплитуда силы тока $I_m = 50$ мА. В таблице приведены значения разности потенциалов на обкладках конденсатора, измеренные с точностью до 0,1 В в последовательные моменты времени.

t, мкс	0	1	2	3	4	5	6	7	8
U, В	0,0	2,8	4,0	2,8	0,0	–2,8	–4,0	–2,8	0,0

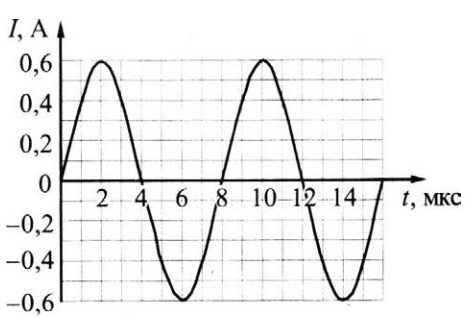
Найдите значение электроёмкости конденсатора.

55. В идеальном колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки индуктивности, амплитуда силы тока $I_m = 50$ мА. В таблице приведены значения разности потенциалов на обкладках конденсатора, измеренные с точностью до 0,1 В в последовательные моменты времени.

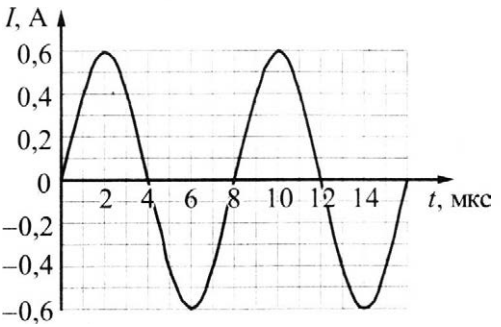
t, мкс	0	1	2	3	4	5	6	7	8
U, В	0,0	2,8	4,0	2,8	0,0	–2,8	–4,0	–2,8	0,0

Найдите значение индуктивности катушки.

56. Сила тока в идеальном колебательном контуре меняется со временем так, как показано на рисунке. Определите заряд конденсатора в момент времени $t = 3$ мкс.



57. Сила тока в идеальном колебательном контуре меняется со временем так, как показано на рисунке. Определите заряд конденсатора в момент времени 7 мкс.



58. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью $C = 1$ мкФ и катушки индуктивности $L = 0{,}01$ Гн. Какой должна быть ёмкость конденсатора, чтобы циклическая частота колебаний энергии конденсатора увеличилась на $\Delta\omega = 2 \cdot 10^4$ с$^{-1}$?

59. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью $C = 1$ мкФ и катушки индуктивности $L = 0{,}01$ Гн. Ёмкость конденсатора уменьшили в 4 раза. На сколько изменилась циклическая частота колебаний энергии конденсатора?

60. В колебательном контуре, состоящем из катушки с индуктивностью L и воздушного конденсатора ёмкостью C, происходят гармонические колебания силы тока с амплитудой I_0. В тот момент, когда сила тока в катушке равна нулю, быстро (по сравнению с периодом колебаний) пространство между пластинами конденсатора заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 1{,}5$. На сколько изменится полная энергия электромагнитных колебаний в контуре?

61. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью L и плоского конденсатора ёмкостью C, между пластинами которого помещён диэлектрик с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 1{,}5$. В контуре происходят гармонические колебания силы тока с амплитудой I_0. В тот момент, когда сила тока в катушке равна нулю, быстро (по сравнению с периодом колебаний) из пространства между пластинами удаляют

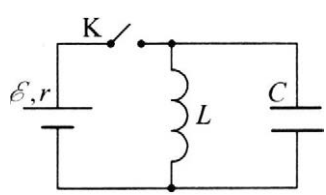
диэлектрик. На сколько изменится полная энергия электромагнитных колебаний в контуре?

62. Колебательный контур радиоприёмника настроен на длину волны $\lambda = 500$ м. Индуктивность катушки контура $L = 3$ мкГн. В контуре используется плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого $d = 1$ мм. Максимальная напряжённость электрического поля конденсатора в ходе колебаний $E_{max} = 3$ В/м. Каков максимальный ток в катушке индуктивности?

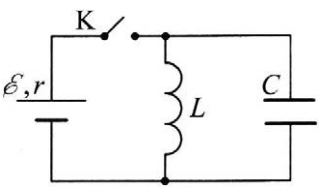
63. Колебательный контур радиоприёмника настроен на длину волны 500 м. Индуктивность катушки контура 3 мкГн. В контуре используется плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого d. Максимальная напряжённость электрического поля конденсатора в ходе колебаний 3 В/м, максимальный ток в катушке индуктивности равен 0,27 мА. Определите расстояние между обкладками конденсатора.

64. Колебательный контур радиоприёмника настроен на длину волны $\lambda = 3000$ м. Индуктивность катушки контура $L = 12$ мкГн, максимальный ток в ней $I_{max} = 3{,}2$ мА. В контуре используется плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого $d = 2$ мм. Чему равно максимальное значение напряжённости электрического поля в конденсаторе в процессе колебаний?

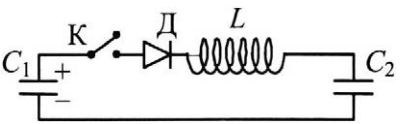
65. В электрической цепи, показанной на рисунке, ключ К длительное время замкнут, $\mathscr{E} = 12$ В, $r = 3$ Ом, $L = 2$ мГн. В момент $t = 0$ ключ К размыкают. Амплитуда напряжения на конденсаторе в ходе возникших в контуре электромагнитных колебаний равна ЭДС источника. В какой момент времени напряжение на конденсаторе в первый раз достигнет значения $\mathscr{E}$? Сопротивлением проводов и активным сопротивлением катушки индуктивности пренебречь.



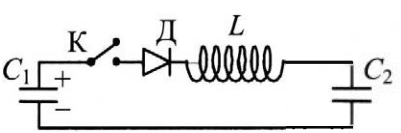
66. В электрической цепи, показанной на рисунке, ключ К длительное время замкнут, $\mathscr{E} = 12$ В, $r = 3$ Ом, $L = 2$ мГн. В момент $t = 0$ ключ К размыкают. Амплитуда напряжения на конденсаторе в ходе возникших в контуре электромагнитных колебаний равна ЭДС источника. Через какой минимальный промежуток времени после размыкания ключа напряжение на конденсаторе станет равным нулю? Сопротивлением проводов и активным сопротивлением катушки индуктивности пренебречь.



67. К конденсатору C_1 через диод и катушку индуктивности L подключён конденсатор ёмкостью $C_2 = 2$ мкФ. До замыкания ключа К конденсатор C_1 был заряжен до напряжения $U = 50$ В, а конденсатор C_2 не заряжен. После замыкания ключа система перешла в новое состояние равновесия, в котором напряжение на конденсаторе C_2 оказалось равным $U_2 = 20$ В. Какова ёмкость конденсатора C_1? (Активное сопротивление цепи пренебрежимо мало.)



68. К конденсатору $C_1 = 0{,}5$ мкФ через диод и катушку индуктивности L подключён конденсатор ёмкостью C_2. До замыкания ключа К конденсатор C_1 был заряжен до напряжения $U = 50$ В, а конденсатор C_2 не заряжен. После замыкания ключа система перешла в новое состояние равновесия, в котором напряжение на конденсаторе C_2 оказалось равным $U_2 = 20$ В. Какова ёмкость конденсатора C_2? (Активное сопротивление цепи пренебрежимо мало.)



69. В дно водоёма глубиной 3 м вертикально вбита свая, скрытая под водой. Высота сваи 2 м. Угол падения солнечных лучей на поверхность воды равен 30°. Определите длину тени сваи на дне водоёма. Коэффициент преломления воды $n = \frac{4}{3}$.

70. В дно водоёма глубиной 3 м вертикально вбита свая, скрытая под водой. Высота сваи 2 м. Свая отбрасывает на дне водоёма тень длиной 0,75 м. Определите угол падения солнечных лучей на поверхность воды. Показатель преломления воды $n = \frac{4}{3}$.

71. В дно водоёма глубиной 2,5 м вертикально вбита свая, выступающая из воды на 50 см. Угол падения солнечных лучей на поверхность воды равен 30°. Постройте ход лучей, формирующих тень от сваи на дне водоёма, и определите её длину. Показатель преломления воды $n = \frac{4}{3}$.

72. В дно водоёма вертикально вбита свая, выступающая из воды на 50 см. Угол падения солнечных лучей на поверхность воды равен 30°. Постройте ход лучей, формирующих тень от сваи на дне водоёма. Определите глубину водоёма, если длина тени на дне равна 1,5 м. Показатель преломления воды $n = \frac{4}{3}$.

73. На дне бассейна с водой находится небольшая лампочка. На поверхности воды плавает круглый плот — так, что центр плота находится точно над лампочкой. Определите глубину бассейна H, если минимальный радиус плота, при котором свет от лампочки не выходит из воды, R = 1,7 м. Сделайте рисунок, поясняющий решение. Толщиной плота пренебречь. Показатель преломления воды $n = \frac{4}{3}$.

74. На дне бассейна с водой глубиной H = 1,8 м находится небольшая лампочка. На поверхности воды плавает круглый плот — так, что центр плота находится точно над лампочкой. Определите минимальный радиус плота, при котором свет от лампочки не выходит из воды. Сделайте рисунок, поясняющий решение. Толщиной плота пренебречь. Показатель преломления воды $n = \frac{4}{3}$.

75. На экране с помощью тонкой линзы получено изображение стержня с пятикратным увеличением. Стержень расположен перпендикулярно главной оптической оси, и плоскость экрана также перпендикулярна этой оси. Экран передвинули на 30 см вдоль главной оптической оси линзы. Затем, при неизменном положении линзы, передвинули стержень так, чтобы изображение снова стало резким. В этом случае получено изображение с трёхкратным увеличением. Определите фокусное расстояние линзы.

76. Линза, фокусное расстояние которой 15 см, даёт на экране изображение предмета с пятикратным увеличением. Экран пододвинули к линзе вдоль её главной оптической оси на 30 см. Затем при неизменном положении линзы передвинули предмет так, чтобы изображение снова стало резким. На какое расстояние сдвинули предмет относительно его первоначального положения?

77. На оси Ox в точке $x_1 = 0$ находится оптический центр тонкой рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $F_1 = -20$ см, а в точке $x_2 = 20$ см — тонкой собирающей линзы. Главные оптические оси обеих линз лежат на оси x. На рассеивающую линзу по оси x падает параллельный пучок света из области $x < 0$. Пройдя данную оптическую систему, лучи собираются в точке с координатой $x_3 = 60$ см. Найдите фокусное расстояние собирающей линзы F_2.

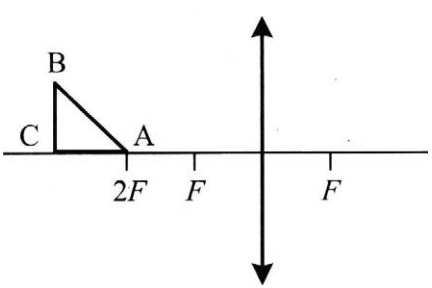
78. На оси Ox в точке $x_1 = 0$ находится оптический центр тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F_1 = 30$ см, а в точке $x_2 = 15$ см — тонкой рассеивающей линзы. Главные оптические оси обеих линз лежат на оси Ox. На собирающую линзу по оси Ox падает параллельный пучок света из области $x < 0$. Пройдя оптическую систему, пучок остаётся параллельным. Найдите фокусное расстояние F_2 рассеивающей линзы.

79. Объективы современных фотоаппаратов имеют переменное фокусное расстояние. При изменении фокусного расстояния «наводка на резкость» не сбивается. Условимся считать изображение точки на плёнке фотоаппарата резким, если вместо идеального изображения в виде точки на плёнке получается изображение пятна диаметром не более 0,05 мм. Поэтому если объектив находится на фокусном расстоянии от плёнки, то

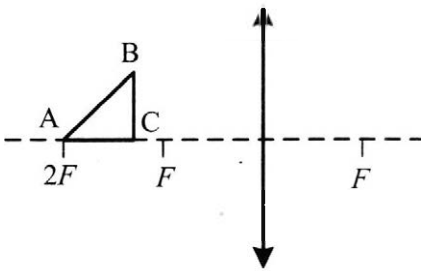
резкими считаются не только бесконечно удалённые предметы, но и все предметы, находящиеся дальше некоторого расстояния d. Оказалось, что это расстояние равно 5 м, если фокусное расстояние объектива 50 мм. Как изменится это расстояние, если, не меняя «относительного отверстия», изменить фокусное расстояние объектива до 25 мм? («Относительное отверстие» — это отношение фокусного расстояния к диаметру входного отверстия объектива.) При расчётах считать объектив тонкой линзой. Сделайте рисунок, поясняющий образование пятна.

80. Условимся считать изображение точки на плёнке фотоаппарата резким, если вместо идеального изображения в виде точки на плёнке получается изображение пятна диаметром не более 0,05 мм. Поэтому если объектив находится на фокусном расстоянии от плёнки, то резкими считаются не только бесконечно удалённые предметы, но и все предметы, находящиеся дальше некоторого расстояния d. Найдите фокусное расстояние объектива, если при «относительном отверстии» $\alpha = 4$ резкими оказались все предметы далее 12,5 м. («Относительное отверстие» — это отношение фокусного расстояния к диаметру входного отверстия объектива.) Сделайте рисунок, поясняющий образование пятна.

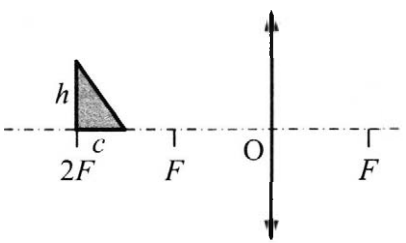
81. Равнобедренный прямоугольный треугольник ABC расположен перед тонкой собирающей линзой оптической силой 2,5 дптр так, что его катет AC лежит на главной оптической оси линзы (см. рис.). Вершина прямого угла C лежит дальше от центра линзы, чем вершина острого угла A, расстояние от центра линзы до точки A равно удвоенному фокусному расстоянию линзы, AC = 4 см. Постройте изображение треугольника и найдите площадь получившейся фигуры.



82. Равнобедренный прямоугольный треугольник ABC расположен перед тонкой собирающей линзой оптической силой 2,5 дптр так, что его катет AC лежит на главной оптической оси линзы (см. рис.). Вершина прямого угла C лежит ближе к центру линзы, чем вершина острого угла A. Расстояние от центра линзы до точки A равно удвоенному фокусному расстоянию линзы, AC = 4 см. Постройте изображение треугольника и найдите площадь получившейся фигуры.

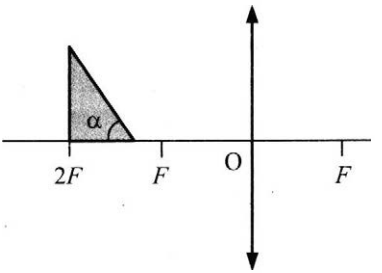


83. Прямоугольный треугольник с катетами c = 2 см и h = 3 см расположен перед собирающей линзой с фокусным расстоянием F = 8 см, как показано на рисунке. Чему равна площадь даваемого линзой изображения этого треугольника? Сделайте рисунок с указанием хода лучей.

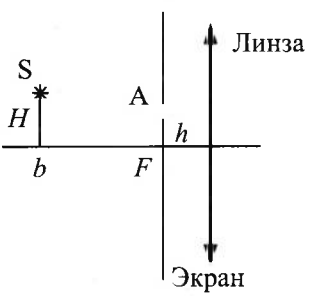


84. Прямоугольный треугольник расположен перед собирающей линзой с фокусным расстоянием F = 10 см, как показано на рисунке. Катет треугольника, расположенный на главной оптической оси, имеет длину c = 4 см, а его гипотенуза составляет угол $\alpha = 60°$ с главной оптической осью линзы.

Определите угол, который составляет с главной оптической осью линзы гипотенуза даваемого линзой изображения этого треугольника. Постройте изображение треугольника в линзе.

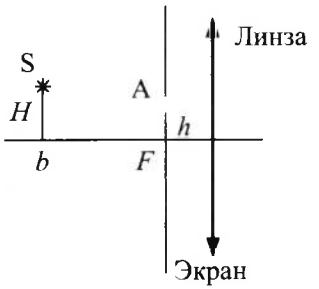


85. Главная оптическая ось тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см и точечный источник света S находятся в плоскости рисунка. Точка S находится на расстоянии $b = 70$ см от плоскости линзы и на расстоянии $H = 6$ см от её главной оптической оси. В левой фокальной плоскости линзы лежит тонкий непрозрачный экран с маленьким отверстием A, находящимся в плоскости рисунка на расстоянии $h = 4$ см от главной оптической оси линзы. На каком расстоянии x от плоскости линзы луч SA от точечного источника, пройдя через отверстие в экране и линзу, пересечёт её главную оптическую ось? Дифракцией света пренебречь. Постройте рисунок, показывающий ход луча через линзу.

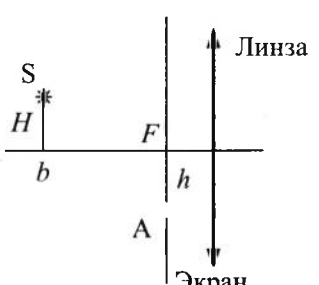


86. Главная оптическая ось тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см и точечный источник света S находятся в плоскости рисунка. Точка S находится на расстоянии $b = 60$ см от плоскости линзы и на расстоянии H от её главной оптической оси. В левой фокальной плоскости линзы лежит тонкий непрозрачный экран с маленьким отверстием A, находящимся в плоскости рисунка на расстоянии $h = 5$ см от главной оптической оси линзы. Пройдя через отверстие в экране и линзу, луч SA от точечного источника пересекает её

главную оптическую ось на расстоянии $x = 16$ см от плоскости линзы. Найдите величину H. Дифракцией света пренебречь. Постройте рисунок, показывающий ход луча через линзу.



87. Главная оптическая ось тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 20$ см и точечный источник света S находятся в плоскости рисунка. Точка S находится на расстоянии $b = 70$ см от плоскости линзы и на расстоянии $H = 6$ см от её главной оптической оси. В левой фокальной плоскости линзы лежит тонкий непрозрачный экран с малым отверстием A, находящимся в плоскости рисунка на расстоянии $h = 3$ см от главной оптической оси линзы. На каком расстоянии x от плоскости линзы луч SA от точечного источника, пройдя через отверстие в экране и линзу, пересечет её главную оптическую ось? Дифракцией света пренебречь. Постройте рисунок, показывающий ход луча через линзу.

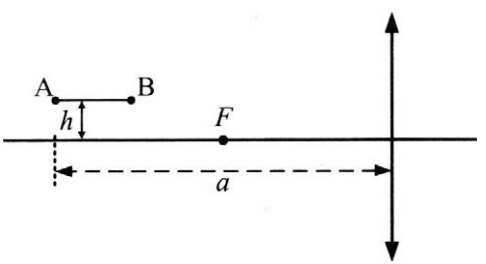


88. В плоскости, параллельной плоскости тонкой собирающей линзы, по окружности со скоростью $\upsilon = 2$ м/с движется точечный источник света. Расстояние между плоскостями $d = 30$ см. Центр окружности находится на главной оптической оси линзы. Фокусное расстояние линзы $F = 20$ см. Найдите скорость

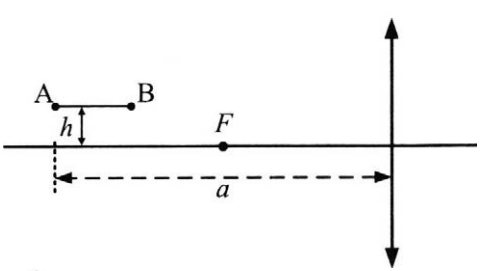
движения изображения точечного источника света. Сделайте пояснительный чертёж, указав ход лучей в линзе.

89. В плоскости, параллельной плоскости тонкой собирающей линзы, по окружности со скоростью $\upsilon = 3$ м/с движется точечный источник света. Расстояние между плоскостями $d = 30$ см. Центр окружности находится на главной оптической оси линзы. Оптическая сила линзы $D = 5$ дптр. Найдите скорость движения изображения точечного источника света. Сделайте пояснительный чертёж, указав ход лучей в линзе.

90. Тонкая палочка АВ длиной $l = 5$ см расположена параллельно главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии $h = 7{,}5$ см от неё (см. рис.). Конец А палочки располагается на расстоянии $a = 20$ см от линзы. Постройте изображение палочки в линзе и определите его длину L. Фокусное расстояние линзы $F = 10$ см.



91. Тонкая палочка АВ длиной $l = 10$ см расположена параллельно главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии $h = 15$ см от неё (см. рис.). Конец А палочки располагается на расстоянии $a = 40$ см от линзы. Постройте изображение палочки в линзе и определите его длину L. Оптическая сила линзы $D = 5$ дптр.



92. Груз массой 0,1 кг, прикреплённый к пружине жёсткостью 0,4 Н/м, совершает гармонические колебания с амплитудой 0,1 м. При помощи собирающей линзы с фокусным расстоянием 0,2 м изображение колеблющегося груза проецируется на экран, расположенный на расстоянии 0,5 м от линзы. Главная оптическая ось линзы перпендикулярна траектории груза и плоскости экрана. Определите максимальную скорость изображения груза на экране.

93. Небольшой груз, подвешенный на нити длиной 2,5 м, совершает гармонические колебания, при которых его максимальная скорость достигает 0,2 м/с. При помощи собирающей линзы с фокусным расстоянием 0,2 м изображение колеблющегося груза проецируется на экран, расположенный на расстоянии 0,5 м от линзы. Главная оптическая ось линзы перпендикулярна плоскости колебаний маятника и плоскости экрана. Определите максимальное смещение изображения груза на экране от положения равновесия.

3. Квантовая физика

3.1. Задачи с кратким ответом

1. Детектор полностью поглощает падающий на него свет частотой $\nu = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Поглощаемая мощность $P = 3{,}3 \cdot 10^{-14}$ Вт. Сколько фотонов поглощает детектор за время $t = 6$ с?

Ответ: _____ $\cdot 10^5$ фотонов.

2. Детектор поглощает падающий на него монохроматический свет. За время $t = 5$ с детектор поглощает $N = 3 \cdot 10^5$ фотонов. Мощность, поглощаемая детектором, равна $3{,}6 \cdot 10^{-14}$ Вт. Какова частота падающего света? Ответ округлите до одной значащей цифры.

Ответ: _____ $\cdot 10^{14}$ Гц.

3. Детектор поглощает падающий на него свет длиной волны $\lambda = 500$ нм. Поглощаемая мощность равна $P = 3{,}3 \cdot 10^{-14}$ Вт. Сколько фотонов поглощает детектор за время $t = 3$ с?

Ответ: _____ $\cdot 10^5$ фотонов.

4. Детектор поглощает падающий на него свет длиной волны $\lambda = 600$ нм. Поглощаемая мощность $P = 1{,}1 \cdot 10^{-14}$ Вт. За какое время детектор поглотит $N = 6 \cdot 10^5$ фотонов?

Ответ: _____ с.

5. За время $t = 4$ с детектор поглощает $N = 5 \cdot 10^5$ фотонов падающего на него монохроматического света. Поглощаемая мощность $P = 5 \cdot 10^{-14}$ Вт. Какова длина волны падающего света?

Ответ: _____ нм.

6. Металлическую пластину освещают светом с энергией фотонов 8,1 эВ. Работа выхода для металла пластины равна 4,4 эВ. Какова максимальная кинетическая энергия вылетающих фотоэлектронов?

Ответ: _____ эВ.

7. На металлическую пластинку падает электромагнитное излучение, энергия фотонов которого равна 7,7 эВ. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетевших из пластинки в результате фотоэффекта, составляет 2,7 эВ. Определите работу выхода электронов из металла.

Ответ: _____ эВ.

8. На металлическую пластинку падает электромагнитное излучение, выбивающее из неё электроны, кинетическая энергия которых принимает значения от 0 до 5 эВ. Работа выхода электронов из металла равна 3 эВ. Чему равна энергия фотонов, падающих на пластинку?

Ответ: _____ эВ.

9. Поток фотонов выбивает фотоэлектроны из металла с работой выхода 5 эВ. Энергия фотонов в 1,5 раза больше максимальной кинетической энергии фотоэлектронов. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?

Ответ: _____ эВ.

10. Поток фотонов с энергией 15 эВ выбивает из металла фотоэлектроны, у которых максимальная кинетическая энергия в 2 раза меньше работы выхода. Какова максимальная кинетическая энергия образовавшихся фотоэлектронов?

Ответ: _____ эВ.

11. Поток фотонов выбивает из металла фотоэлектроны, максимальная кинетическая энергия которых 10 эВ. Энергия фотонов в 3 раза больше работы выхода фотоэлектронов. Какова энергия фотонов?

Ответ: _____ эВ.

12. На металлическую пластинку падает монохроматическая электромагнитная волна. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетевших из пластинки в результате фотоэффекта, составляет 6 эВ, а энергия падающих фотонов в 3 раза больше работы выхода из металла. Чему равна работа выхода электронов из металла?

Ответ: _____ эВ.

13. На металлическую пластинку падает монохроматическая электромагнитная волна. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетевших из пластинки в результате фотоэффекта, составляет половину от энергии фотонов, а работа выхода из металла равна 4 эВ. Чему равна энергия фотонов падающего излучения?

Ответ: _____ эВ.

14. Работа выхода электронов для исследуемого металла равна 3 эВ. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетающих с поверхности под действием света, длина волны которого составляет $\frac{2}{3}$ длины волны, соответствующей красной границе фотоэффекта для этого металла?

Ответ: _____ эВ.

15. Энергия фотонов, падающих на фотокатод, в 4 раза больше работы выхода материала фотокатода. Каково отношение максимальной кинетической энергии фотоэлектронов к работе выхода?

Ответ: _____ .

16. Фотоны с энергией 2,1 эВ вызывают фотоэффект с поверхности цезия, для которого работа выхода равна 1,9 эВ. На какую величину нужно увеличить энергию фотона, чтобы максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов увеличилась в 2 раза?

Ответ: _____ эВ.

17. Красная граница фотоэффекта для натриевого фотокатода $\lambda_{кр} = 540$ нм. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетающих из натриевого фотокатода, освещённого светом длиной волны $\lambda = 450$ нм? Ответ округлите до сотых.

Ответ: _____ эВ.

18. Энергия фотона, соответствующая красной границе фотоэффекта для алюминия, равна $4{,}5 \cdot 10^{-19}$ Дж. Найдите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов, если на металл падает свет с энергией фотонов 10^{-18} Дж.

Ответ: _____ $\cdot 10^{-19}$ Дж.

19. Работа выхода электрона из металла $A_{вых} = 3 \cdot 10^{-19}$ Дж. Найдите максимальную длину волны λ света, которым могут выбиваться электроны с поверхности этого металла.

Ответ: _____ нм.

20. Красная граница фотоэффекта для калия $\lambda_{кр} = 0{,}62$ мкм. Какова максимальная скорость фотоэлектронов при облучении калиевого фотокатода светом частотой $\nu = 8 \cdot 10^{14}$ Гц? Ответ округлите до целых.

Ответ: _____ км/с.

21. На металлическую пластинку падает свет с длиной волны $\lambda = 300$ нм. Красная граница фотоэффекта для металла этой пластинки $\lambda_{кр} = 500$ нм. Во сколько раз энергия падающего фотона превосходит максимальную кинетическую энергию фотоэлектрона, выбитого из пластинки?

Ответ: _____ .

22. Красная граница фотоэффекта исследуемого металла $\lambda_{кр} = 600$ нм. Какова длина волны света, выбивающего из него фотоэлектроны, у которых максимальная кинетическая энергия в 2 раза меньше работы выхода?

Ответ: _____ нм.

23. Красная граница фотоэффекта исследуемого металла $\lambda_{кр} = 600$ нм. Какова длина волны света, выбивающего из него фотоэлектроны с максимальной кинетической энергией в 3 раза меньшей энергии падающих фотонов?

Ответ: _____ нм.

24. Красная граница фотоэффекта для калия $\lambda_{кр} = 0{,}62$ мкм. Какова длина волны света, падающего на калиевый фотокатод, если максимальная скорость фотоэлектронов $\upsilon = 580$ км/с? Ответ округлите до сотых.

Ответ: _____ мкм.

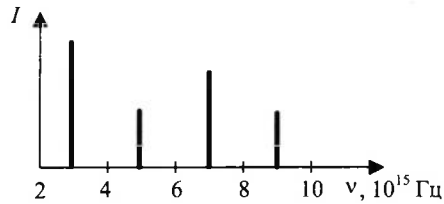
25. Металлический фотокатод освещён светом длиной волны $\lambda = 0{,}42$ мкм. Максимальная скорость фотоэлектронов, вылетающих с поверхности фотокатода, $\upsilon = 580$ км/с. Какова длина волны красной границы фотоэффекта для этого металла? Ответ округлите до сотых.

Ответ: _____ мкм.

26. Красная граница фотоэффекта для калия $\lambda_{кр} = 0{,}62$ мкм. Какую максимальную скорость могут иметь фотоэлектроны, вылетающие с поверхности калиевого фотокатода при облучении его светом длиной волны $\lambda = 0{,}42$ мкм? Ответ округлите до целых.

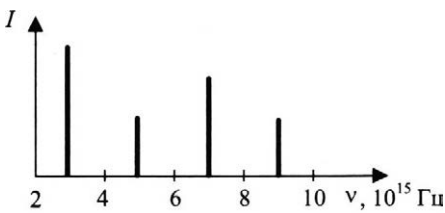
Ответ: _____ км/с.

27. На металлическую пластинку с работой выхода $A = 2$ эВ падает электромагнитное излучение. Зависимость интенсивности излучения от его частоты представлена на рисунке. При какой частоте будет наблюдаться максимальная скорость фотоэлектронов?



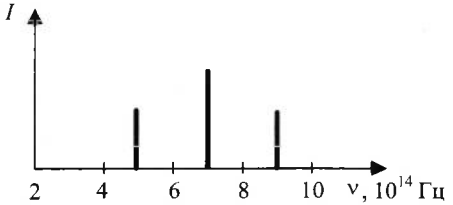
Ответ: _____ $\cdot 10^{15}$ Гц.

28. На металлическую пластинку с работой выхода $A = 2$ эВ падает электромагнитное излучение. Зависимость интенсивности излучения от его частоты представлена на рисунке. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов при частоте излучения $3 \cdot 10^{15}$ Гц? Ответ округлите до десятых.



Ответ: _____ эВ.

29. На металлическую пластинку с работой выхода $A = 2{,}0$ эВ падает электромагнитное излучение, имеющее три частоты различной интенсивности (см. рис.). Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов. Ответ округлите до десятых.



Ответ: _____ эВ.

30. Работа выхода электрона из материала пластины равна 2 эВ. Пластина освещается монохроматическим светом. Чему равна энергия фотонов падающего света, если запирающее напряжение равно 1,5 В?

Ответ: _____ эВ.

31. Работа выхода электрона из материала катода вакуумного фотоэлемента равна 1,5 эВ. Катод освещается монохроматическим светом, у которого энергия фотонов равна 3,5 эВ. Каково запирающее напряжение, при котором фототок прекратится?

Ответ: _____ В.

32. Найдите работу выхода электрона из катода фотоэлемента, если при облучении катода светом с энергией фотонов 4,1 эВ запирающее напряжение составляет 2,1 В.

Ответ: _____ эВ.

33. Найдите работу выхода электронов из освещённой пластины, если запирающее напряжение U составляет 3 В, а длина волны света, падающего на фотокатод, $3 \cdot 10^{-7}$ м.

Ответ: _____ $\cdot 10^{-19}$ Дж.

34. При облучении металлического фотокатода светом длиной волны $\lambda = 400$ нм максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна 1,0 эВ. Найдите красную границу фотоэффекта для металла фотокатода. Ответ округлите до целых.

Ответ: _____ нм.

35. Фотоэффект наблюдают, освещая поверхность металла светом фиксированной частоты. При этом запирающее напряжение равно U. После изменения частоты света запирающее напряжение увеличилось на $\Delta U = 3{,}3$ В. На сколько изменилась частота падающего света?

Ответ: _____ $\cdot 10^{14}$ Гц.

36. Фотоэффект наблюдают, освещая поверхность металла светом фиксированной частоты. При этом запирающее напряжение равно U. После изменения частоты света запирающее напряжение увеличилось на $\Delta U = 1{,}2$ В. На сколько изменилась частота падающего света? Ответ округлите до десятых.

Ответ: _____ $\cdot 10^{14}$ Гц.

37. В опыте по изучению фотоэффекта фотоэлектроны тормозятся электрическим полем. При этом измеряется запирающее напряжение.

В таблице представлены результаты одного из первых таких опытов при освещении одной и той же пластины.

Запирающее напряжение U, В	0,4	0,6
Частота ν, 10^{14} Гц	5,5	6,1

Чему равна постоянная Планка по результатам этого эксперимента? Ответ округлите до десятых.

Ответ: _____ $\cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с.

38. В таблице представлены результаты исследования зависимости запирающего напряжения U от длины волны λ падающего света.

Запирающее напряжение U, В	0,4	0,6
Длина волны света λ, 10^{-10} м	5460	4920

Чему равна постоянная Планка по результатам этого эксперимента? Ответ округлите до десятых.

Ответ: _____ $\cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с.

39. В опыте по изучению фотоэффекта фотоэлектроны тормозятся электрическим полем. При этом измеряется запирающее напряжение.

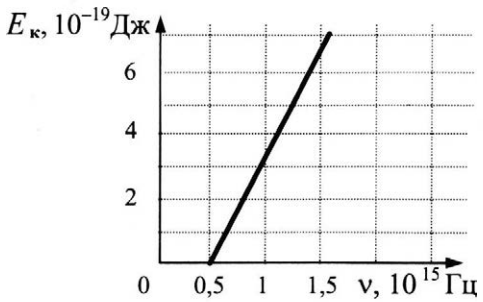
В таблице представлены результаты одного из первых таких опытов при освещении одной и той же пластины, в ходе которого было получено значение постоянной Планка $h = 5{,}3 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Запирающее напряжение U, В		0,6
Частота ν, 10^{14} Гц	5,5	6,1

Каково опущенное в таблице первое значение запирающего напряжения? Ответ округлите до десятых.

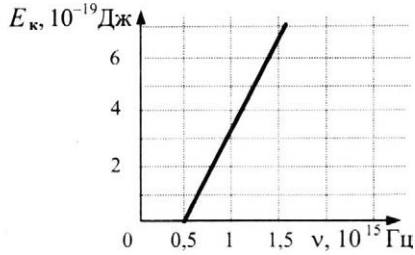
Ответ: _____ В.

40. Слой оксида кальция облучается светом и испускает электроны. На рисунке показан график зависимости максимальной энергии фотоэлектронов от частоты падающего света. Какова длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта для оксида кальция?



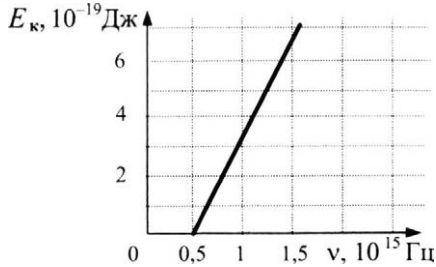
Ответ: _____ нм.

41. Слой оксида кальция облучается светом и испускает электроны. На рисунке показан график зависимости максимальной энергии фотоэлектронов от частоты падающего света. Какова работа выхода фотоэлектронов из оксида кальция? Ответ округлите до десятых.



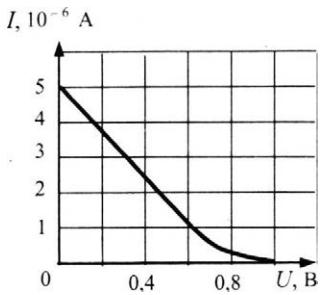
Ответ: _____ · 10^{-19} Дж.

42. Слой оксида кальция облучается светом и испускает электроны. На рисунке показан график зависимости максимальной энергии фотоэлектронов от частоты падающего света. Какова работа выхода фотоэлектронов из оксида кальция? Ответ округлите до десятых.



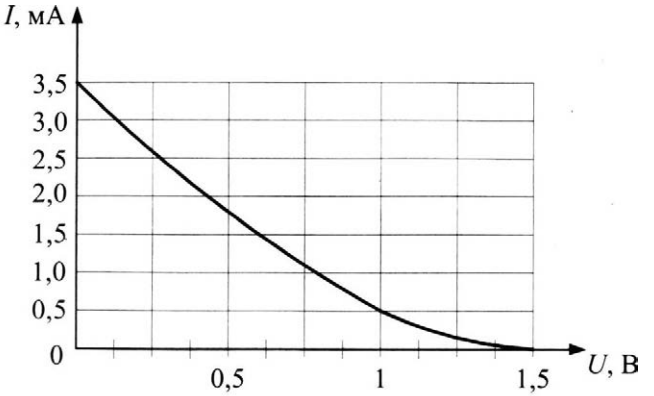
Ответ: _____ эВ.

43. Фотоэлектроны, вылетающие из металлической пластины, тормозятся электрическим полем. Пластина освещена светом, энергия фотонов которого 3 эВ. На рисунке приведён график зависимости фототока от напряжения тормозящего поля. Какова работа выхода электрона с поверхности пластины?



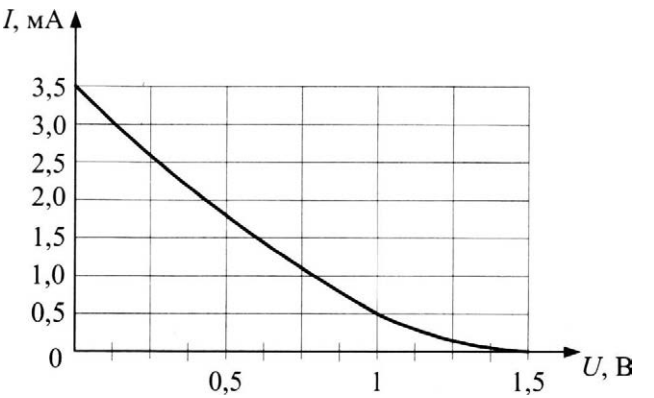
Ответ: _____ эВ.

44. На графике приведена зависимость фототока от приложенного обратного напряжения при освещении металлической пластины (фотокатода) излучением с энергией фотонов 4 эВ. Чему равна работа выхода для этого металла?



Ответ: _____ эВ.

45. На графике приведена зависимость фототока от приложенного обратного напряжения при освещении металлической пластины (фотокатода) монохроматическим светом. Чему равна частота монохроматического излучения, если работа выхода для этого металла составляет 3,5 эВ? Ответ округлите до десятых.



Ответ: _____ $\cdot 10^{15}$ Гц.

3.2. Задания с развёрнутым ответом

1. Мощность излучения лазерной указки с длиной волны $\lambda = 600$ нм равна $P = 2$ мВт. Определите число фотонов, излучаемых указкой за 1 с.

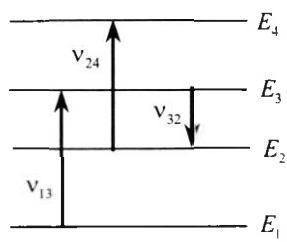
2. Мощность излучения лазерной указки с длиной волны $\lambda = 500$ нм равна 1 мВт. Определите время, за которое лазерная указка излучает $N = 5 \cdot 10^{15}$ фотонов.

3. Число фотонов, излучаемых лазерной указкой за $t = 5$ с, $N = 6 \cdot 10^{16}$. Длина волны излучения указки равна $\lambda = 600$ нм. Определите мощность P излучения указки.

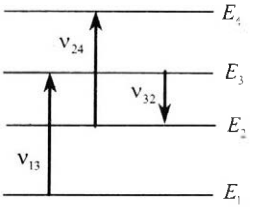
4. Излучением лазера с длиной волны $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ м за время $1{,}25 \cdot 10^{4}$ с был расплавлен лёд массой 1 кг, взятый при температуре 0 °С, и полученная вода была нагрета на 100 °С. Сколько фотонов излучает лазер за 1 с? Считать, что 50% излучения поглощается веществом.

5. Излучением лазера с длиной волны $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ м за время $1{,}25 \cdot 10^{4}$ с был расплавлен кусок льда, взятый при температуре 0 °С, и полученная вода была нагрета на 100 °С. Определите массу льда, если лазер излучает $2 \cdot 10^{20}$ фотонов за 1 с. Считать, что 50% излучения поглощается веществом.

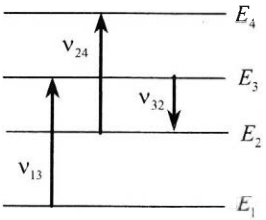
6. На рисунке представлены энергетические уровни атома и указаны частоты световых волн, испускаемых и поглощаемых при переходах между ними: $\nu_{13} = 7 \cdot 10^{14}$ Гц; $\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14}$ Гц. При переходе с уровня E_4 на уровень E_1 атом излучает свет с длиной волны $\lambda = 360$ нм. Какова частота колебаний световой волны, поглощаемой атомом при переходе с уровня E_2 на уровень E_4?



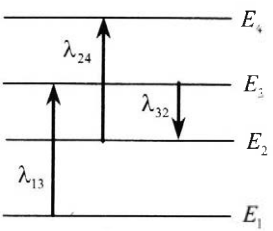
7. На рисунке представлены энергетические уровни атома и указаны частоты фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах между ними. Какова длина волны фотонов, поглощаемых при переходе с уровня E_1 на уровень E_4, если $\nu_{13} = 6 \cdot 10^{14}$ Гц, $\nu_{24} = 4 \cdot 10^{14}$ Гц, $\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14}$ Гц?



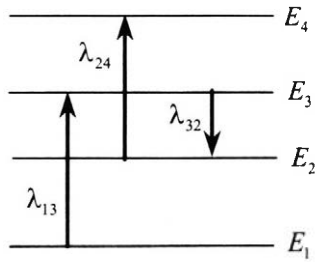
8. На рисунке представлены энергетические уровни атома и указаны частоты фотонов, излучаемых и поглощаемых при некоторых переходах между ними. Какова максимальная длина волны фотонов, излучаемых атомом при любых возможных переходах между уровнями E_1, E_2, E_3 и E_4, если $\nu_{13} = 7 \cdot 10^{14}$ Гц, $\nu_{24} = 5 \cdot 10^{14}$ Гц, $\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14}$ Гц?



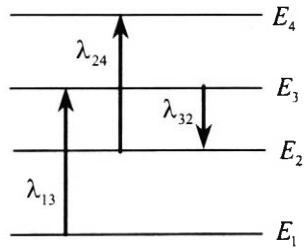
9. На рисунке представлены энергетические уровни атома и указаны длины волн фотонов, испускаемых и поглощаемых при переходах между ними: $\lambda_{13} = 300$ нм; $\lambda_{32} = 550$ нм. Минимальная длина волны излучаемого фотона при всех возможных переходах между этими уровнями энергии $\lambda_0 = 250$ нм. Какова длина волны λ_{24} фотона, поглощаемого при переходе с уровня E_2 на уровень E_4?



10. На рисунке изображены энергетические уровни атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Экспериментально установлено, что минимальная длина волны для фотонов, излучаемых при переходах между этими уровнями, равна $\lambda_0 = 250$ нм. Какова величина λ_{13}, если $\lambda_{32} = 545$ нм, $\lambda_{24} = 400$ нм?



11. На рисунке изображены энергетические уровни атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Какова длина волны фотонов, излучаемых при переходе с уровня E_4 на уровень E_1, если $\lambda_{13} = 400$ нм, $\lambda_{24} = 500$ нм, $\lambda_{32} = 600$ нм?



12. Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\dfrac{13{,}6\ \text{эВ}}{n^2}$, $n = 1, 2, 3, \ldots$. При переходах с верхних уровней энергии на нижние атом излучает фотон. Переходы с верхних уровней на уровень с $n = 1$ образуют серию Лаймана; на уровень с $n = 2$ — серию Бальмера; на уровень с $n = 3$ — серию Пашена и т. д. Найдите отношение β максимальной частоты фотона в серии Лаймана к максимальной частоте фотона в серии Бальмера.

13. Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13{,}6\ \text{эВ}}{n^2}$, $n = 1, 2, 3, \ldots$. При переходе с верхнего уровня энергии на нижний атом излучает фотон. Переходы с верхних уровней на уровень с $n = 1$ образуют серию Лаймана; на уровень с $n = 2$ — серию Бальмера; на уровень с $n = 3$ — серию Пашена и т. д. Найдите отношение β минимальной частоты фотона в серии Бальмера к максимальной частоте фотона в серии Пашена.

14. Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой: $E_n = -\frac{13{,}6\ \text{эВ}}{n^2}$, $n = 1, 2, 3, \ldots$. При переходах с верхних уровней энергии на нижние атом излучает фотон. Переходы с верхних уровней на уровень с $n = 1$ образуют серию Лаймана, на уровень с $n = 2$ — серию Бальмера и т. д. Найдите отношение γ максимальной длины волны фотона в серии Бальмера к максимальной длине волны фотона в серии Лаймана.

15. Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13{,}6\ \text{эВ}}{n^2}$, где $n = 1, 2, 3, \ldots$. При переходах с верхних уровней энергии на нижние атом излучает фотон. Переходы с верхних уровней на уровень с $n = 1$ образуют серию Лаймана; на уровень с $n = 2$ — серию Бальмера; на уровень с $n = 3$ — серию Пашена и т. д. Найдите отношение β минимальной частоты фотона в серии Лаймана к максимальной частоте фотона в серии Бальмера.

16. Для увеличения яркости изображения слабых источников света используется вакуумный прибор — электронно-оптический преобразователь. В этом приборе фотоны, падающие на катод, выбивают из него фотоэлектроны, которые ускоряются электрическим полем с разностью потенциалов $\Delta U = 15\,000$ В и бомбардируют флуоресцирующий экран, рождающий вспышку света при попадании каждого электрона. Длина волны света от источника $\lambda_1 = 820$ нм, а света, излучаемого экраном, $\lambda_2 = 410$ нм. Во сколько раз N прибор увеличивает энергию светового излучения, падающего на катод? Считать, что один фотоэлектрон рождается при падении на катод в среднем $k = 10$ фотонов. Работу выхода электронов $A_{\text{вых}}$ принять равной 1 эВ. Считать, что энергия падающих на экран электронов переходит в энергию света без потерь.

17. Для увеличения яркости изображения слабых источников света используется вакуумный прибор — электронно-оптический преобразователь. В этом приборе фотоны, падающие на катод, выбивают из него фотоэлектроны, которые ускоряются электрическим полем с разностью потенциалов ΔU = 15 000 В и бомбардируют флуоресцирующий экран, рождающий вспышку света при попадании каждого электрона. Длина волны падающего на катод света λ_1 = 820 нм, а света, излучаемого экраном, λ_2 = 410 нм. Во сколько раз N прибор увеличивает число фотонов, если один фотоэлектрон рождается при падении на катод в среднем k = 10 фотонов? Работу выхода электронов $A_{вых}$ принять равной 1 эВ. Считать, что энергия падающих на экран электронов переходит в энергию света без потерь.

18. Металлическую пластину освещают монохроматическим светом с длиной волны λ = 531 нм. Каков максимальный импульс фотоэлектронов, если работа выхода электронов из данного металла $A_{вых} = 1{,}73 \cdot 10^{-19}$ Дж?

19. Вольфрамовую пластину облучают светом с длиной волны 200 нм. Каков максимальный импульс вылетающих из пластины электронов, если работа выхода электронов из вольфрама равна 4,54 эВ?

20. Какова максимальная скорость электронов, выбиваемых из металлической пластины светом с длиной волны $\lambda = 3 \cdot 10^{-7}$ м, если красная граница фотоэффекта для этого металла 540 нм?

21. При увеличении в 2 раза частоты света, падающего на поверхность металла, запирающее напряжение для фотоэлектронов увеличилось в 3 раза. Первоначальная частота падающего света была равна $0{,}75 \cdot 10^{15}$ Гц. Какова длина волны, соответствующая «красной границе» фотоэффекта для этого металла?

22. В двух опытах по фотоэффекту металлическая пластинка облучалась светом с длинами волн соответственно λ_1 = 350 нм и λ_2 = 540 нм. В этих опытах максимальные скорости фотоэлектронов отличались в $\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = 2$ раза. Какова работа выхода с поверхности металла?

23. При облучении катода светом с длиной волны $\lambda = 300$ нм фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом $U = 1{,}4$ В. Определите красную границу фотоэффекта λ_0 для вещества фотокатода.

24. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода $\lambda_0 = 450$ нм. При облучении катода светом с длиной волны λ фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом $U = 1{,}4$ В. Определите длину волны λ.

25. Фотокатод облучают светом с длиной волны $\lambda = 300$ нм. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода $\lambda_0 = 450$ нм. Какое напряжение U нужно создать между анодом и катодом, чтобы фототок прекратился?

26. Частота световой волны, соответствующая «красной границе» фотоэффекта для калия, $\nu_1 = 5{,}33 \cdot 10^{14}$ Гц. Этой волной облучают фотокатод, изготовленный из некоторого другого металла. При этом оказалось, что максимальная кинетическая энергия выбитых электронов в 4 раза меньше работы выхода из этого металла. Определите частоту ν_2, соответствующую «красной границе» фотоэффекта для этого металла.

27. Длина световой волны, соответствующая «красной границе» фотоэффекта для калия, $\lambda_1 = 563$ нм. Этой волной облучают фотокатод, изготовленный из некоторого другого металла. При этом оказалось, что максимальная кинетическая энергия выбитых электронов в 3 раза меньше работы выхода из этого металла. Определите длину волны λ_2, соответствующую «красной границе» фотоэффекта для этого металла.

28. Фотокатод облучают электромагнитным излучением с частотой $\nu = 1{,}7 \cdot 10^{15}$ Гц. «Красная граница» фотоэффекта для вещества фотокатода $\nu_0 = 1{,}0 \cdot 10^{15}$ Гц. Какое напряжение U нужно создать между анодом и катодом, чтобы фототок прекратился?

29. Фотокатод облучают электромагнитным излучением с частотой $\nu = 2 \cdot 10^{15}$ Гц. «Красная граница» фотоэффекта для вещества фотокатода $\lambda_0 = 290$ нм. Какое напряжение U нужно создать между анодом и катодом, чтобы фототок прекратился?

30. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13{,}6}{n^2}$ эВ, где n = 1, 2, 3, … . При переходе атома из состояния E_2 в состояние E_1 атом испускает фотон. Попав на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Частота света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода, $\nu_{кр} = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Чему равна максимально возможная скорость фотоэлектрона?

31. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13{,}6}{n^2}$ эВ, где n = 1, 2, 3, … . При переходе из состояния E_2 в состояние E_1 атом испускает фотон. Поток таких фотонов падает на поверхность фотокатода. Запирающее напряжение для фотоэлектронов, вылетающих с поверхности фотокатода, $U_{зап}$ = 6,1 В. Какова частота света $\nu_{кр}$, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода?

32. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13{,}6}{n^2}$ эВ, где n = 1, 2, 3, … . При переходе атома из состояния E_2 в состояние E_1 атом испускает фотон. Попав на поверхность фотокатода, этот фотон выбивает фотоэлектрон. Частота света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода, $\nu_{кр} = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Чему равен максимально возможный импульс фотоэлектрона?

33. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13{,}6}{n^2}$ эВ, где n = 1, 2, 3, … . При переходе атома из состояния E_2 в состояние E_1 атом испускает фотон. Попав на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода, $\lambda_{кр}$ = 300 нм. Чему равна максимально возможная кинетическая энергия фотоэлектрона?

34. В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии ($E_1 = -13{,}6$ эВ) поглощает фотон и ионизуется. Электрон, вылетевший из атома в результате ионизации, движется вдали от ядра со скоростью $\upsilon = 1000$ км/с. Какова частота поглощённого фотона? Энергией теплового движения атомов водорода пренебречь.

35. Фотон с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта, выбивает электрон из металлической пластинки (катода) сосуда, из которого откачан воздух. Электрон разгоняется однородным электрическим полем напряжённостью $E = 5 \cdot 10^4$ В/м. До какой скорости электрон разгонится в этом поле, пролетев путь $s = 5 \cdot 10^{-4}$ м? Релятивистские эффекты не учитывать.

36. Фотоэлектроны, выбитые монохроматическим светом частоты $\nu = 6{,}7 \cdot 10^{14}$ Гц из металла с работой выхода $A_{\text{вых}} = 1{,}89$ эВ, попадают в однородное электрическое поле $E = 100$ В/м. Каков тормозной путь для тех электронов, чья скорость максимальна и направлена вдоль линий напряжённости поля?

37. На плоскую вольфрамовую пластинку ($A_{\text{вых}} = 4{,}5$ эВ) падает электромагнитное излучение с длиной волны 0,25 мкм. Какова напряжённость задерживающего однородного электрического поля, вектор напряжённости которого перпендикулярен пластине, если фотоэлектрон может удалиться от поверхности пластинки на максимальное расстояние $d = 1$ мм?

38. На плоскую вольфрамовую пластинку ($A_{\text{вых}} = 4{,}5$ эВ) падает электромагнитное излучение с длиной волны 0,25 мкм. На какое максимальное расстояние от поверхности пластинки может удалиться фотоэлектрон, если задерживающее однородное электрическое поле, перпендикулярное пластинке, имеет напряжённость 1,5 В/см?

39. При облучении металлической пластинки квантами света с энергией 3 эВ из неё выбиваются электроны, которые проходят ускоряющую разность потенциалов $\Delta U = 5$ В. Какова работа выхода $A_{\text{вых}}$, если максимальная энергия ускоренных электронов E_e равна удвоенной энергии фотонов, выбивающих их из металла?

40. Металлическая пластина облучается светом частотой $\nu = 1{,}6 \cdot 10^{15}$ Гц. Вылетающие из пластины фотоэлектроны попадают в однородное электрическое поле напряжённостью 130 В/м, причём вектор напряжённости $\vec{E}$ поля направлен к пластине перпендикулярно её поверхности. Измерения показали, что на расстоянии 10 см от пластины максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна 15,9 эВ. Определите работу выхода электронов из данного металла.

41. Металлическая пластина облучается светом частотой $\nu = 1{,}6 \cdot 10^{15}$ Гц. Работа выхода электронов из данного металла равна 3,7 эВ. Вылетающие из пластины фотоэлектроны попадают в однородное электрическое поле напряжённостью 130 В/м, причём вектор напряжённости $\vec{E}$ направлен к пластине перпендикулярно её поверхности. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов на расстоянии 10 см от пластины?

42. Фотокатод с работой выхода $4{,}42 \cdot 10^{-19}$ Дж освещается светом. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией $2 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся по окружностям. Максимальный радиус такой окружности 2 см. Какова частота ν падающего света?

43. Кванты света с длиной волны 660 нм вырывают с поверхности металла фотоэлектроны, которые описывают в однородном магнитном поле с индукцией 1 мТл окружности максимальным радиусом 2 мм. Определите работу выхода электрона из металла.

44. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $A = 4{,}42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом с длиной волны $\lambda = 300$ нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией $B = 8{,}3 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Каков максимальный радиус окружности R, по которой движутся электроны?

45. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $A = 4{,}42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом с частотой $\nu = 2 \cdot 10^{15}$ Гц. Вылетевшие из катода электроны попадают в

однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции и движутся по окружности максимального радиуса $R = 5$ мм. Каков модуль индукции магнитного поля B?

46. Фотокатод, покрытый кальцием, освещается светом с длиной волны $\lambda = 225$ нм. Работа выхода электронов из кальция равна $A_{вых} = 4{,}42 \cdot 10^{-19}$ Дж. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся по окружности с максимальным радиусом $R = 5$ мм. Каков модуль индукции магнитного поля B?

47. В вакууме находятся два кальциевых электрода, к которым подключён конденсатор ёмкостью 4000 пФ. При длительном освещении катода светом фототок между электродами, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд $5{,}5 \cdot 10^{-9}$ Кл. «Красная граница» фотоэффекта для кальция $\lambda_0 = 450$ нм. Определите частоту световой волны, освещающей катод. Ёмкостью системы электродов пренебречь.

48. В вакууме находятся два кальциевых электрода, к которым подключён конденсатор. При длительном освещении катода светом с частотой 10^{15} Гц фототок между электродами, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд $5{,}5 \cdot 10^{-9}$ Кл. «Красная граница» фотоэффекта для кальция $\lambda_0 = 450$ нм. Определите электроёмкость конденсатора. Ёмкостью системы электродов пренебречь.

49. Для разгона космических аппаратов и коррекции их орбит предложено использовать солнечный парус — скреплённый с аппаратом лёгкий экран большой площади из тонкой плёнки, которая зеркально отражает солнечный свет. Какой должна быть площадь паруса S, чтобы аппарат массой 500 кг (включая массу паруса) имел ускорение $10^{-4} g$? Мощность W солнечного излучения, падающего на 1 м^2 поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, составляет 1370 Вт/м^2.

50. Для разгона космических аппаратов и коррекции их орбит предложено использовать солнечный парус — скреплённый с аппаратом лёгкий экран большой площади из тонкой пленки,

которая зеркально отражает солнечный свет. Найдите массу космического аппарата, снабжённого парусом в форме квадрата размерами 100 м × 100 м, которому давление солнечных лучей сообщает ускорение $10^{-4}\,g$. Мощность W солнечного излучения, падающего на 1 м^2 поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, составляет 1370 Вт/м^2.

51. Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле, испытывает α-распад. При этом рождаются α-частица и тяжёлый ион нового элемента. Выделившаяся при α-распаде энергия ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек α-частицы находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом r. Масса α-частицы равна m_α, её заряд равен $2e$, масса тяжёлого иона равна M. Найдите индукцию B магнитного поля.

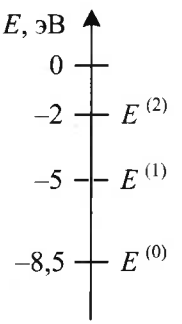
52. Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле индукцией B, испытывает α-распад. При этом рождаются α-частица и тяжёлый ион нового элемента. Трек тяжёлого иона находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом R. Выделившаяся при α-распаде энергия ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Масса α-частицы равна m_α, её заряд равен $2e$. Найдите модуль отношения заряда к массе $\left|\frac{q}{M}\right|$ для тяжёлого иона.

53. Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле, испытывает α-распад. При этом рождаются α-частица и тяжёлый ион нового элемента. Выделившаяся при α-распаде энергия ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек тяжёлого иона находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом R. Масса α-частицы равна m_α, её заряд равен $2e$, масса тяжелого иона равна M. Найдите индукцию B магнитного поля.

54. Препарат активностью $1{,}7 \cdot 10^{11}$ частиц в секунду помещён в медный контейнер массой 0,5 кг. За какое время температура контейнера повышается на 1 К, если известно, что данное радиоактивное вещество испускает α-частицы энергией 5,3 МэВ? Считать, что энергия всех α-частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Теплоёмкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

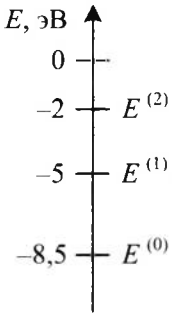
55. Радиоактивный препарат помещён в медный контейнер массой 0,5 кг. За 2 ч температура контейнера повысилась на 5,2 К. Известно, что данный препарат испускает α-частицы энергией 5,3 МэВ, причём энергия всех α-частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Найдите активность препарата A, т. е. количество α-частиц, рождающихся в нём за 1 с. Теплоёмкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

56. Предположим, что схема энергетических уровней атомов некоего вещества имеет вид, показанный на рисунке, и атомы находятся в состоянии с энергией $E^{(1)}$. В результате столкновения с одним из таких атомов электрон приобрёл некоторую дополнительную энергию. Импульс электрона после столкновения с покоящимся атомом оказался равным $1{,}2 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с. Определите кинетическую энергию электрона до столкновения. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь.



57. Предположим, что схема энергетических уровней атомов некоего вещества имеет вид, показанный на рисунке, и атомы находятся в состоянии с энергией $E^{(1)}$. Электрон, движущийся с кинетической энергией 1,5 эВ, в результате столкновения с одним из таких атомов приобрёл некоторую дополнительную энергию.

Определите импульс электрона после столкновения, считая, что до столкновения атом покоился. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь.



58. Электромагнитное излучение с длиной волны $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ м используется для нагревания воды. Какую массу воды можно нагреть за 700 с на 10 °С, если источник излучает 10^{20} фотонов за 1 с? Считать, что излучение полностью поглощается водой.

59. Электромагнитное излучение используется для нагревания воды массой 1 кг. За время 700 с температура воды увеличивается на 10 °С. Какова длина волны излучения, если источник испускает 10^{20} фотонов за 1 с? Считать, что излучение полностью поглощается водой.

60. π^0-Мезон массой $2{,}4 \cdot 10^{-28}$ кг распадается на два γ-кванта. Найдите модуль импульса одного из образовавшихся γ-квантов в системе отсчёта, где первичный π^0-мезон покоится.

61. Свободный пион (π^0-мезон) с энергией покоя 135 МэВ движется со скоростью V, которая значительно меньше скорости света. В результате его распада образовались два γ-кванта, причём один из них распространяется в направлении движения пиона, а второй — в противоположном направлении. Энергия первого кванта на 10% больше, чем второго. Чему равна скорость пиона до распада?

62. Образец, содержащий радий, за 1 с испускает $3{,}7 \cdot 10^{10}$ α-частиц. За 1 ч выделяется энергия 100 Дж. Каков средний импульс α-частиц? Масса α-частиц равна $6{,}7 \cdot 10^{-27}$ кг. Энергией отдачи ядер, γ-излучением и релятивистским эффектом пренебречь.

63. В массивном образце, содержащем радий, за 1 с испускается $3{,}7 \cdot 10^{10}$ α-частиц, движущихся со скоростью $1{,}5 \cdot 10^{7}$ м/с. Найдите энергию, выделяющуюся за 1 ч. Масса α-частицы равна $6{,}7 \cdot 10^{-27}$ кг. Энергией отдачи ядер, γ-излучением и релятивистскими эффектами пренебречь.

64. В массивном образце, содержащем радий, за 1 с испускается $3{,}7 \cdot 10^{10}$ α-частиц, движущихся с некоторой скоростью. Энергия, выделяющаяся за 1 ч, равна 100 Дж. Определите скорость α-частиц. Масса α-частицы равна $6{,}7 \cdot 10^{-27}$ кг. Энергией отдачи ядер, γ-излучением и релятивистскими эффектами пренебречь.

65. Препарат активностью $1{,}7 \cdot 10^{11}$ частиц в секунду помещён в медный контейнер массой 0,5 кг. На сколько повысилась температура контейнера за 1 ч, если известно, что данное радиоактивное вещество испускает α-частицы энергией 5,3 МэВ? Считать, что энергия всех α-частиц полностью переходит во внутреннюю энергию контейнера. Теплоёмкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

66. Препарат с активностью $1{,}7 \cdot 10^{11}$ частиц в секунду помещён в металлический контейнер массой 0,5 кг. За 2 ч температура контейнера повысилась на 5,2 К. Известно, что данный препарат испускает α-частицы с энергией 5,3 МэВ, причём практически вся энергия α-частиц переходит во внутреннюю энергию контейнера. Найдите удельную теплоёмкость металла контейнера. Теплоёмкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

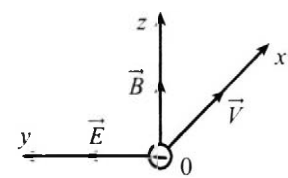
67. Источник, создающий монохроматический пучок параллельных лучей, за время $\Delta t = 8 \cdot 10^{-4}$ с излучает $N = 5 \cdot 10^{14}$ фотонов. Лучи падают по нормали на площадку $S = 0{,}7$ см^2 и создают давление $P = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ Па. При этом 40 % фотонов отражается, а 60 % поглощается. Определите длину волны излучения.

68. Источник, создающий монохроматический пучок параллельных лучей, за время $\Delta t = 8 \cdot 10^{-4}$ с излучает $N = 5 \cdot 10^{14}$ фотонов. Лучи падают по нормали на площадку $S = 0{,}7$ см^2 и создают давление P. При этом 40% фотонов отражается, а 60 % поглощается. Определите давление P, если длина волны излучения $5{,}5 \cdot 10^{-7}$ м.

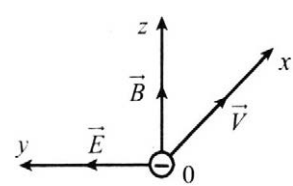
69. Пациенту ввели внутривенно дозу раствора, содержащего изотоп $^{24}_{11}\mathrm{Na}$. Активность 1 см^3 этого раствора $a_0 = 2000$ распадов в секунду. Период полураспада изотопа $^{24}_{11}\mathrm{Na}$ равен $T = 15{,}3$ ч. Через $t = 3$ ч 50 мин активность 1 см^3 крови пациента стала $a = 0{,}28$ распадов в секунду. Каков объём введённого раствора, если общий объём крови пациента $V = 6$ л? Переходом ядер изотопа $^{24}_{11}\mathrm{Na}$ из крови в другие ткани организма пренебречь.

70. Пациенту ввели внутривенно дозу раствора, содержащего изотоп $^{24}_{11}\mathrm{Na}$. Активность 1 см^3 этого раствора $a_0 = 2000$ распадов в секунду. Период полураспада изотопа $^{24}_{11}\mathrm{Na}$ равен $T = 15{,}3$ ч. Через $t = 3$ ч 50 мин активность 1 см^3 крови пациента стала $a = 0{,}28$ распадов в секунду. Каков общий объём крови пациента, если объём введённого раствора равен 1 см^3? Переходом ядер изотопа $^{24}_{11}\mathrm{Na}$ из крови в другие ткани организма пренебречь.

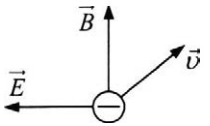
71. Электроны, вылетевшие в положительном направлении оси $0x$ с катода фотоэлемента под действием света, попадают в электрическое и магнитное поля (см. рис.). Какой должна быть величина E напряженности электрического поля, чтобы самые быстрые электроны отклонялись в положительном направлении оси $0y$? Работа выхода для вещества катода 2,39 эВ, частота света $6{,}4 \cdot 10^{14}$ Гц, индукция магнитного поля 10^{-3} Тл.



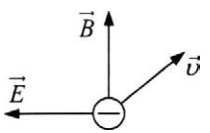
72. Электроны, вылетевшие в положительном направлении оси $0x$ под действием света с катода фотоэлемента, попадают в электрическое и магнитное поля (см. рис.). Какой должна быть частота падающего света ν, чтобы в момент попадания самых быстрых электронов в область полей действующая на них сила была направлена против оси $0y$? Работа выхода для вещества катода 2,39 эВ, напряжённость электрического поля $3 \cdot 10^2$ В/м, индукция магнитного поля 10^{-3} Тл.



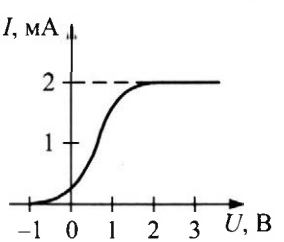
73. Монохроматический свет частотой $6{,}2 \cdot 10^{14}$ Гц падает на поверхность фотокатода с работой выхода 2,39 эВ. Электроны, вылетевшие с поверхности фотокатода горизонтально в северном направлении, попадают в электрическое и магнитное поля. Электрическое поле направлено горизонтально на запад, а магнитное — вертикально вверх (см. рис.). Индукция магнитного поля равна 10^{-3} Тл. При каких значениях напряжённости электрического поля самые быстрые электроны в момент попадания в область полей отклонялись бы на восток?



74. Монохроматический свет частотой $6{,}2 \cdot 10^{14}$ Гц падает на поверхность фотокатода с работой выхода A. Электроны, вылетевшие горизонтально в северном направлении, попадают в электрическое и магнитное поля. Электрическое поле направлено горизонтально на запад, а магнитное — вертикально вверх. Какой должна быть работа выхода, чтобы в момент попадания самых быстрых электронов в область полей действующая на них сила была направлена на восток? Напряжённость электрического поля $3 \cdot 10^2$ В/м, индукция магнитного поля 10^{-3} Тл.

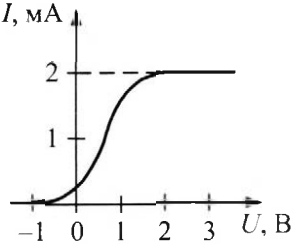


75. В опыте по изучению фотоэффекта монохроматическое излучение мощностью $P = 0{,}21$ Вт падает на поверхность катода, в результате чего в цепи возникает ток. График зависимости силы тока I от напряжения U между анодом и катодом приведён на рисунке. Какова частота ν падающего света, если в среднем один из 30 фотонов, падающих на катод, выбивает электрон?



76. В опыте по изучению фотоэффекта свет частотой $\nu = 6{,}1 \cdot 10^{14}$ Гц падает на поверхность катода, в результате чего в цепи возникает ток. График зависимости силы тока I от

напряжения U между анодом и катодом приведён на рисунке. Какова мощность падающего света P, если в среднем один из 20 фотонов, падающих на катод, выбивает электрон?



77. Определите коэффициент полезного действия атомной электростанции, расходующей за неделю 1,4 кг $^{235}_{92}\mathrm{U}$, если её мощность равна 38 МВт. При делении одного ядра урана-235 выделяется энергия 200 МэВ.

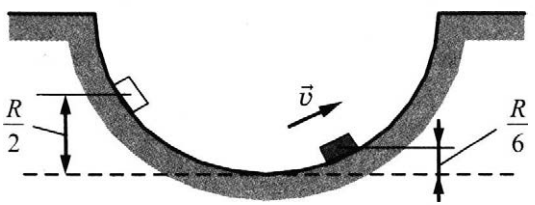
78. Определите, какая масса $^{235}_{92}\mathrm{U}$ расходуется за неделю на атомной электростанции, если её мощность равна 38 МВт. Коэффициент полезного действия электростанции 20%. При делении одного ядра урана-235 выделяется энергия 200 МэВ.

79. В открытый контейнер поместили 1,5 г изотопа полония-210 $^{210}_{84}\mathrm{Po}$. Затем контейнер герметично закрыли. Изотоп полония радиоактивен и претерпевает альфа-распад с периодом полураспада примерно 140 дней, превращаясь в стабильный изотоп свинца. Через 5 недель давление внутри контейнера составило $1{,}4 \cdot 10^5$ Па. Определите объём контейнера. Температура внутри контейнера поддерживается постоянной и равна 45 °С. Атмосферное давление равно 10^5 Па.

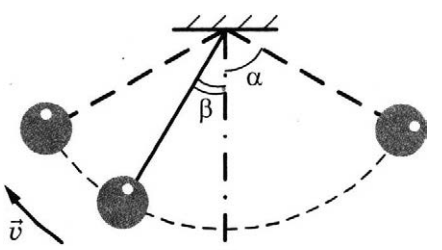
80. В открытый контейнер объёмом 80 мл поместили изотоп полония-210 $^{210}_{84}\mathrm{Po}$. Затем контейнер герметично закрыли. Изотоп полония радиоактивен и претерпевает альфа-распад с периодом полураспада примерно 140 дней, превращаясь в стабильный изотоп свинца. Через 5 недель давление внутри контейнера составило $1{,}3 \cdot 10^5$ Па. Какую массу полония первоначально поместили в контейнер? Температура внутри контейнера поддерживается постоянной и равна 45 °С. Атмосферное давление равно 10^5 Па.

4. Качественные задачи с развёрнутым ответом

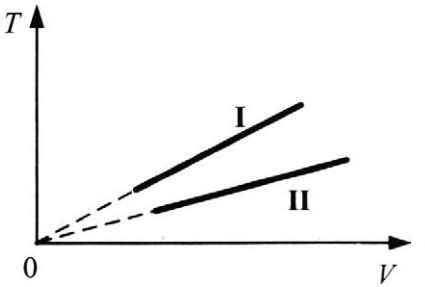
1. Маленькая шайба движется из состояния покоя по неподвижной гладкой сферической поверхности радиусом R. Начальное положение шайбы находится на высоте $\frac{R}{2}$ относительно нижней точки поверхности. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шайбу в момент, когда она движется вправо-вверх, находясь на высоте $\frac{R}{6}$ над нижней точкой поверхности (см. рис.). Покажите на этом рисунке, куда направлено в этот момент ускорение шайбы (по радиусу поверхности, по касательной к поверхности, внутрь поверхности, наружу от поверхности). Ответ обоснуйте. Сопротивление воздуха не учитывать.



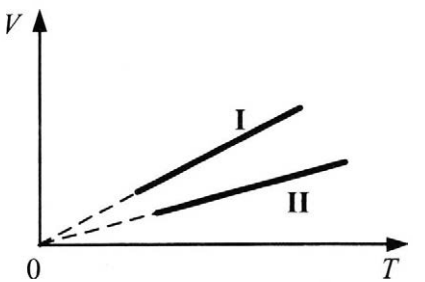
2. Маленький шарик, подвешенный к потолку на лёгкой нерастяжимой нити, совершает колебания в вертикальной плоскости. Максимальное отклонение нити от вертикали составляет угол $\alpha = 60°$ Сделайте рисунок с указанием сил, приложенных к шарику в тот момент, когда шарик движется влево-вверх, а нить образует угол $\beta = 30°$ с вертикалью (см. рис.). Покажите на этом рисунке, куда направлено в этот момент ускорение шарика (по нити, перпендикулярно нити, внутрь траектории, наружу от траектории). Ответ обоснуйте. Сопротивление воздуха не учитывать.



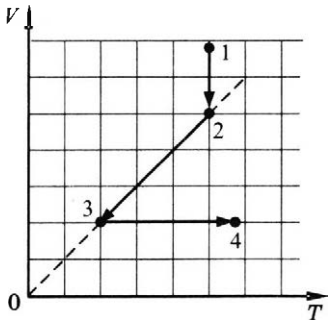
3. На рисунке изображены графики двух процессов, проведённых с идеальным газом при одном и том же давлении. Графики процессов представлены на рисунке. Почему изобара I лежит выше изобары II? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



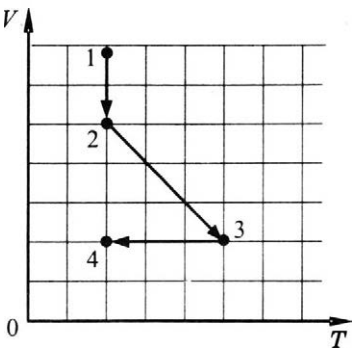
4. На рисунке изображены графики двух процессов, проведённых с идеальным газом при одном и том же количестве вещества. Графики процессов представлены на рисунке. Почему изобара I лежит выше изобары II? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



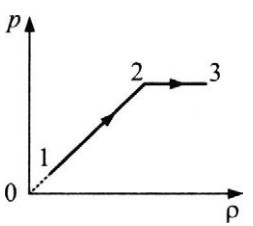
5. На *VT*-диаграмме показано, как изменялись объём и температура некоторого постоянного количества разреженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа p на каждом из трёх участков 1–2, 2–3, 3–4: увеличивалось, уменьшалось или же оставалось неизменным? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



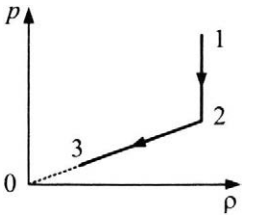
6. На *VT*-диаграмме показано, как изменялись объём и температура некоторого постоянного количества разреженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа p на каждом из трёх участков 1–2, 2–3, 3–4: увеличивалось, уменьшалось или же оставалось неизменным? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



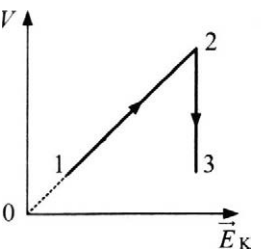
7. На графике представлена зависимость давления неизменной массы идеального газа от его плотности. Опишите, как изменяются в зависимости от плотности температура и объём газа в процессах 1–2 и 2–3.



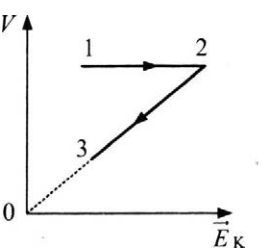
8. На графике представлена зависимость давления неизменной массы идеального газа от его плотности. Опишите, как изменяются в зависимости от плотности температура и объём газа в процессах 1–2 и 2–3.



9. На графике представлена зависимость объёма постоянного количества молей одноатомного идеального газа от средней кинетической энергии теплового движения молекул газа. Опишите, как изменяются температура и давление газа в процессах 1–2 и 2–3. Укажите, какие закономерности вы использовали для объяснения.



10. На графике представлена зависимость объёма постоянного количества молей одноатомного идеального газа от средней кинетической энергии теплового движения молекул газа. Опишите, как изменяются температура и давление газа в процессах 1–2 и 2–3. Укажите, какие закономерности вы использовали для объяснения.



11. На рисунке 1 приведена зависимость внутренней энергии U 1 моль идеального одноатомного газа от его давления p в процессе 1–2–3. Постройте график этого процесса на рисунке 2 в переменных p–V. Точка, соответствующая состоянию 1, уже отмечена на этом рисунке. Построение объясните, опираясь на законы молекулярной физики.

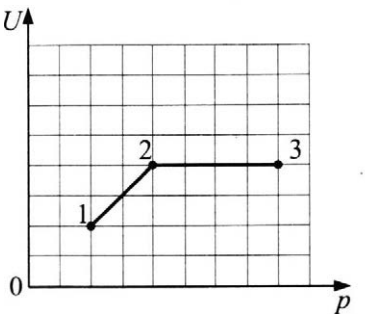


Рис. 1

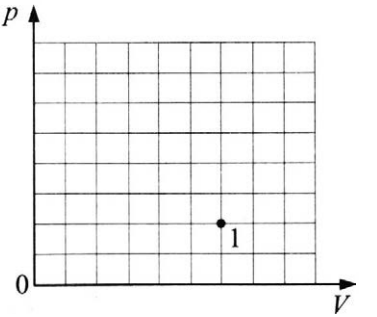


Рис. 2

12. На рисунке 1 приведена зависимость внутренней энергии U 1 моль идеального одноатомного газа от его объёма V в процессе 1–2–3. Постройте график этого процесса на рисунке 2 в переменных p–V. Точка, соответствующая состоянию 1, уже отмечена на этом рисунке. Построение объясните, опираясь на законы молекулярной физики.

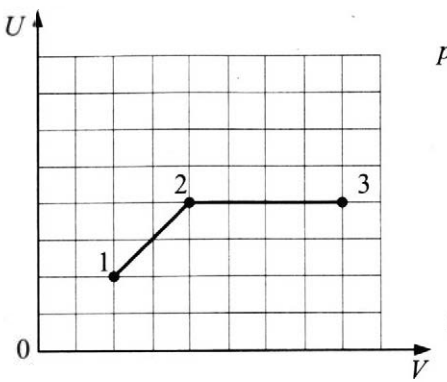


Рис. 1

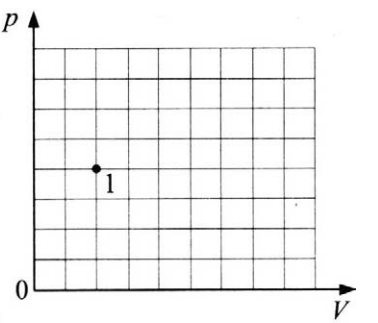
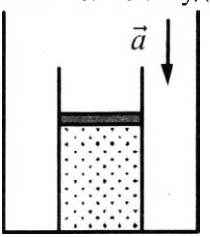
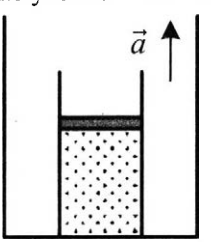


Рис. 2

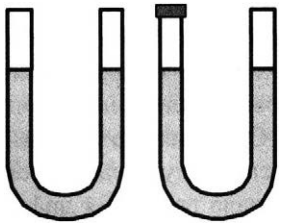
13. На полу неподвижного лифта стоит теплоизолированный сосуд, открытый сверху. В сосуде под тяжёлым подвижным поршнем находится одноатомный идеальный газ. Поршень находится в равновесии. Лифт начинает равноускоренно опускаться вниз. Опираясь на законы механики и молекулярной физики, объясните, куда сдвинется поршень относительно сосуда после начала движения лифта и как при этом изменится температура газа в сосуде. Трением между поршнем и стенками сосуда, а также утечкой газа из сосуда пренебречь.



14. На полу неподвижного лифта стоит теплоизолированный сосуд, открытый сверху. В сосуде под тяжёлым подвижным поршнем находится одноатомный идеальный газ. Поршень находится в равновесии. Лифт начинает равноускоренно подниматься вверх. Опираясь на законы механики и молекулярной физики, объясните, куда сдвинется поршень относительно сосуда после начала движения лифта и как при этом изменится температура газа в сосуде. Трением между поршнем и стенками сосуда, а также утечкой газа из сосуда пренебречь.

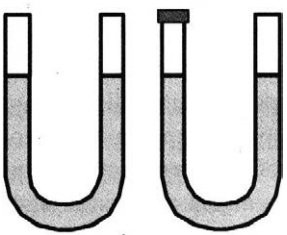


15. В комнате находится открытая сверху U-образная трубка, в которую налита ртуть (рис. *а*). Левое колено трубки плотно закрывают пробкой (рис. *б*), после чего температура в комнате увеличивается. Что произойдёт с уровнями ртути в коленах трубки? Атмосферное давление считать неизменным. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



а) *б)*

16. В комнате находится открытая сверху U-образная трубка, в которую налита ртуть (рис. *а*). Левое колено трубки плотно закрывают пробкой (рис. *б*), после чего температура в комнате уменьшается. Что произойдёт с уровнями ртути в коленах трубки? Атмосферное давление считать неизменным. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



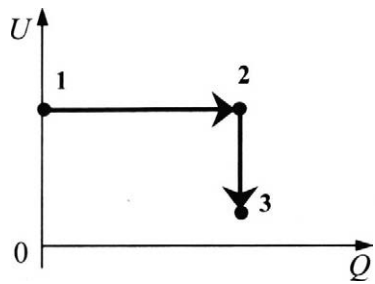
а) *б)*

17. Три одинаковых сосуда, содержащих разреженный газ, соединены друг с другом трубками малого диаметра: первый сосуд — со вторым, второй — с третьим. Первоначально давление газа в сосудах было равно соответственно p, $3p$ и p. В ходе опыта сначала открыли и через некоторое время закрыли кран, соединяющий второй и третий сосуды, а затем открыли и через некоторое время закрыли кран, соединяющий первый сосуд со вторым. Как изменилось в итоге (уменьшилось, увеличилось или осталось неизменным) количество газа в первом сосуде? (Температура газа оставалась в течение всего опыта неизменной.)

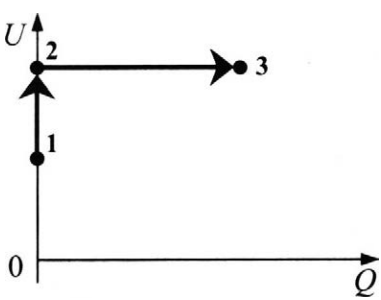
18. Три одинаковых сосуда, содержащих разреженный газ, соединены друг с другом трубками малого диаметра: первый сосуд — со вторым, второй — с третьим. Первоначально давление газа в со-

судах было равно соответственно p, $3p$ и $2p$. В ходе опыта сначала открыли и через некоторое время закрыли кран, соединяющий первый и второй сосуды, а затем открыли и через некоторое время закрыли кран, соединяющий второй сосуд с третьим. Как изменилось в итоге (уменьшилось, увеличилось или осталось неизменным) количество газа в третьем сосуде? (Температура газа оставалась в течение всего опыта неизменной.)

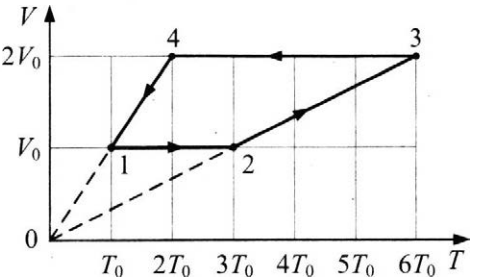
19. В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ. На рисунке показана диаграмма, иллюстрирующая изменение внутренней энергии U газа и передаваемое ему количество теплоты Q. Опишите изменение объёма газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3. Свой ответ обоснуйте, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



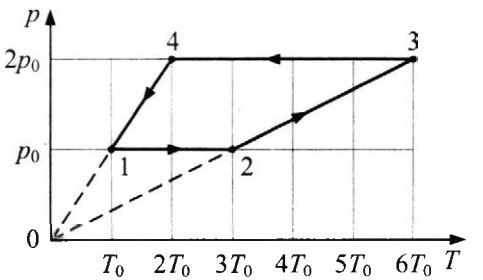
20. В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ. На рисунке показана диаграмма, иллюстрирующая изменение внутренней энергии U газа и передаваемое ему количество теплоты Q. Опишите изменение давления газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3. Свой ответ обоснуйте, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



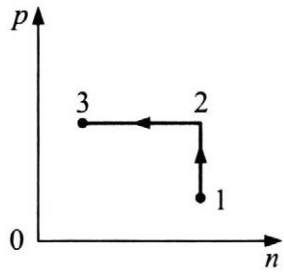
21. 1 моль разреженного гелия участвует в циклическом процессе 1–2–3–4–1, график которого изображён на рисунке в координатах V–T, где V — объём газа, T — абсолютная температура. Постройте график цикла в координатах p–V, где p — давление газа, V — объём газа. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики, объясните построение графика. Определите, во сколько раз работа газа в процессе 2–3 больше работы внешних сил в процессе 4–1.



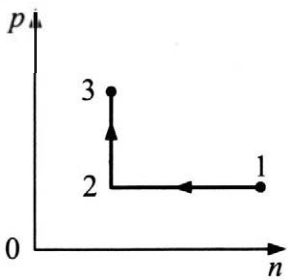
22. 1 моль разреженного гелия участвует в циклическом процессе 1–2–3–4–1, график которого изображён на рисунке в координатах p–T, где p — давление газа, T — абсолютная температура. Постройте график цикла в координатах p–V, где p — давление газа, V — объём газа. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики, объясните построение графика. Определите, во сколько раз работа газа в процессе 1–2 меньше работы внешних сил в процессе 3–4.



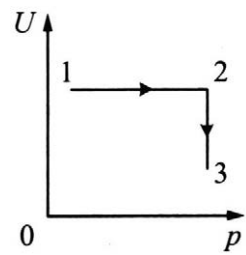
23. Постоянное количество одноатомного идеального газа участвует в процессе, график которого изображён на рисунке в координатах p–n, где p — давление газа, n — его концентрация. Определите, получает газ теплоту или отдаёт в процессах 1–2 и 2–3. Ответ поясните, опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики.



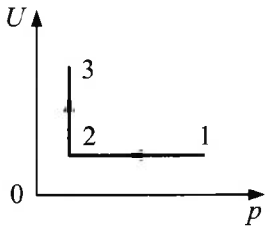
24. Постоянное количество одноатомного идеального газа участвует в процессе, график которого изображён на рисунке в координатах p–n, где p — давление газа, n — его концентрация. Определите, получает газ теплоту или отдаёт в процессах 1–2 и 2–3. Ответ поясните, опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики.



25. Постоянное количество одноатомного идеального газа участвует в процессе, который изображён на рисунке в переменных U–p, где U — внутренняя энергия газа, p — его давление. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики, определите, получает газ теплоту или отдаёт в процессах 1–2 и 2–3.



26. Постоянное количество одноатомного идеального газа участвует в процессе, который изображён на рисунке в переменных U–p, где U — внутренняя энергия газа, p — его давление. Опираясь на законы молекулярной физики и термодинамики, определите, получает газ теплоту или отдаёт в процессах 1–2 и 2–3.



27. Стеклянный сосуд, содержащий влажный воздух при $t_1 = 30$ °C, плотно закрыли крышкой и нагрели до $t_2 = 50$ °C. Опираясь на законы молекулярной физики, объясните, как изменятся при этом парциальное давление водяного пара и относительная влажность воздуха в сосуде.

28. Стеклянный сосуд, содержащий влажный воздух при 50 °C, плотно закрыли крышкой и охладили до 20 °C. При этом стенки сосуда остались сухими. Опираясь на законы молекулярной физики, объясните, как изменятся при этом парциальное давление водяного пара и относительная влажность воздуха в сосуде.

29. После работы увлажнителя воздуха парциальное давление водяного пара в комнате возросло, при этом температура воздуха не изменилась. Как изменились относительная влажность воздуха и плотность водяных паров в комнате? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

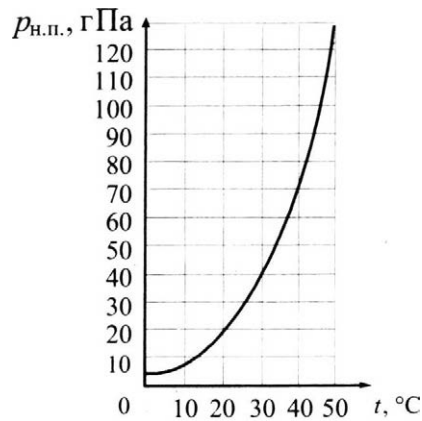
30. После работы осушителя воздуха парциальное давление водяного пара в помещении уменьшилось, при этом температура воздуха не изменилась. Как изменились относительная влажность воздуха и плотность водяных паров в помещении? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

31. В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и её пар. Поршень начинают выдвигать из сосуда. При этом температура воды и пара остается неизменной. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

32. В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и её пар. Сосуд охлаждают. Объём под поршнем остаётся неизменным. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

33. В опыте, иллюстрирующем зависимость температуры кипения от давления воздуха (рис. *а*), кипение воды под колоколом воздушного насоса происходит уже при комнатной температуре, если давление достаточно мало. Используя график зависимости давления насыщенного пара от температуры (рис. *б*), укажите, какое давление воздуха нужно создать под колоколом насоса, чтобы вода закипела при 40 °С. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.

а)

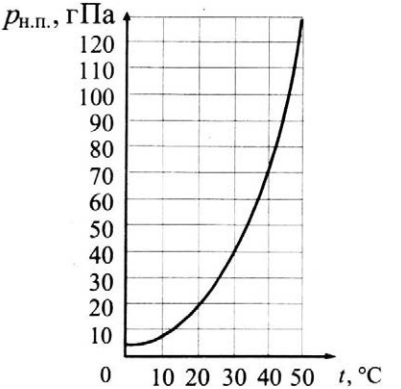


б)

34. В опыте, иллюстрирующем зависимость температуры кипения от давления воздуха (рис. *а*), кипение воды под колоколом воздушного насоса происходит уже при комнатной темпера-

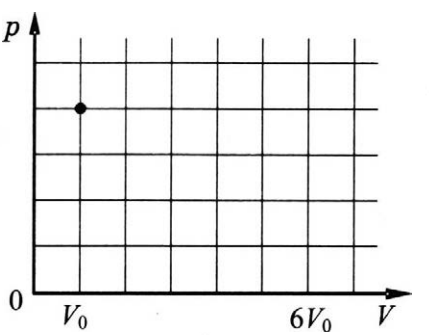
туре, если давление достаточно мало. Используя график зависимости давления насыщенного пара от температуры (рис. *б*), укажите, какое давление воздуха нужно создать под колоколом насоса, чтобы вода закипела при 30 °С. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.

а)

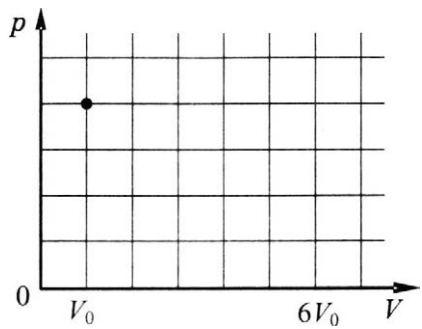


б)

35. В цилиндре под поршнем при комнатной температуре t_0 долгое время находится только вода и её пар. Масса жидкости в два раза больше массы пара. Первоначальное состояние системы показано точкой на pV-диаграмме. Медленно перемещая поршень, объём V под поршнем изотермически увеличивают от V_0 до $6V_0$. Постройте график зависимости давления p в цилиндре от объёма V на отрезке от V_0 до $6V_0$. Укажите, какими закономерностями вы при этом воспользовались.



36. В цилиндре под поршнем при комнатной температуре t_0 долгое время находится только вода и её пар. Масса жидкости равна массе пара. Первоначальное состояние системы показано точкой на pV-диаграмме. Медленно перемещая поршень, объём V под поршнем изотермически увеличивают от V_0 до $6V_0$. Постройте график зависимости давления p в цилиндре от объёма V на отрезке от V_0 до $6V_0$. Укажите, какими закономерностями вы при этом воспользовались.



37. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным металлическим поршнем находится идеальный газ. В первоначальном состоянии 1 поршень опирается на жёсткие выступы на внутренней стороне стенок цилиндра (рис. 1), а газ занимает объём V_0 и находится под давлением p_0, равным внешнему атмосферному. Его температура в этом состоянии равна T_0. Газ медленно нагревают, и он переходит из состояния 1 в состояние 2, в котором давление газа равно $2p_0$, а его объём равен $2V_0$ (рис. 2). Количество вещества газа при этом не меняется. Постройте график зависимости объёма газа от его температуры при переходе из состояния 1 в состояние 2. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.

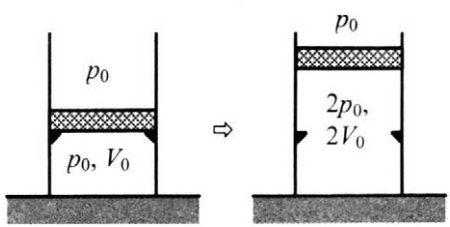
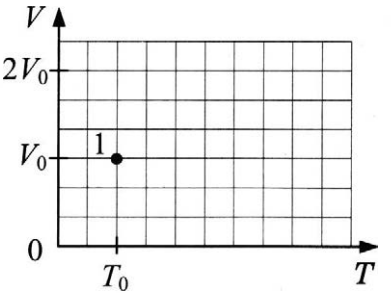


Рис. 1 Рис. 2



38. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным металлическим поршнем находится идеальный газ. В первоначальном состоянии 1 поршень опирается на жёсткие выступы на внутренней стороне стенок цилиндра (рис. 1), а газ занимает объём V_0 и находится под давлением p_0, равным внешнему атмосферному. Его температура в этом состоянии равна T_0. Газ медленно нагревают, и он переходит из состояния 1 в состояние 2, в котором давление газа равно $2p_0$, а его объём равен $2V_0$ (рис. 2). Количество вещества газа при этом не меняется. Постройте график зависимости давления газа от его температуры при переходе из состояния 1 в состояние 2. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.

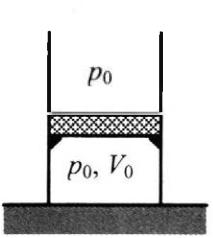


Рис. 1

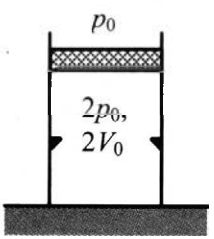
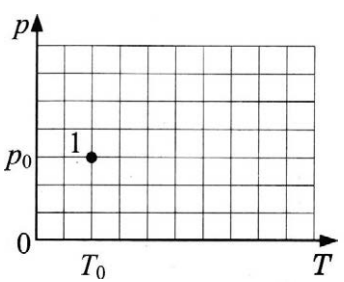


Рис. 2



39. На столе установили два незаряженных электрометра и соединили их металлическим стержнем с изолирующей ручкой (рис. 1). Затем к первому электрометру поднесли, не касаясь его шара, положительно заряженную палочку (рис. 2). Не убирая палочки, сняли стержень, а затем убрали палочку.

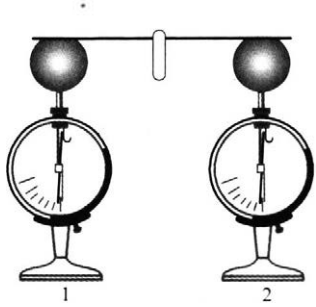


Рис. 1

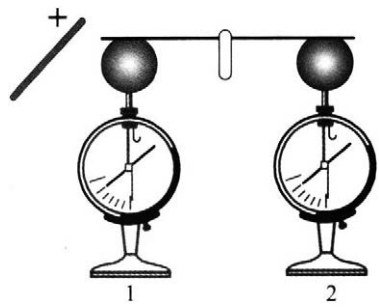


Рис. 2

Ссылаясь на известные вам законы и явления, объясните, почему электрометры оказались заряженными, и определите знаки заряда каждого из электрометров после того, как палочку убрали.

40. На столе установили два незаряженных электрометра и соединили их металлическим стержнем с изолирующей ручкой (рис. 1). Затем к первому электрометру поднесли, не касаясь его шара, отрицательно заряженную палочку (рис. 2). Не убирая палочки, убрали стержень, а затем убрали палочку.

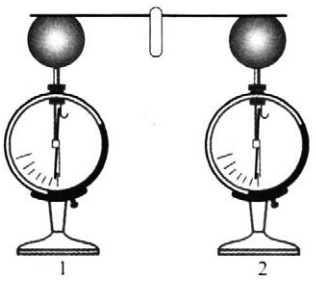


Рис. 1

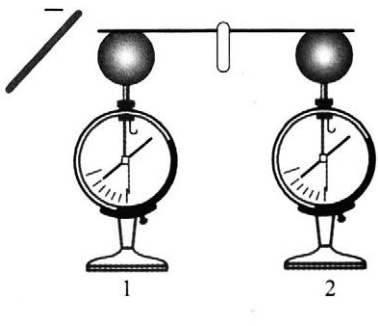
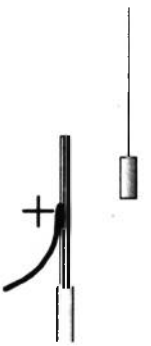


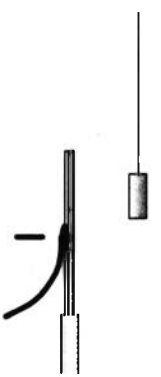
Рис. 2

Ссылаясь на известные вам законы и явления, объясните, почему электрометры оказались заряженными, и определите знаки заряда каждого из электрометров после того, как палочку убрали.

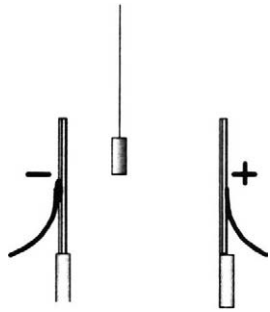
41. Около небольшой металлической пластины, укреплённой на изолирующей подставке, подвесили на шёлковой нити лёгкую металлическую незаряженную гильзу. Когда пластину подсоединили к клемме высоковольтного выпрямителя, подав на неё положительный заряд, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его.



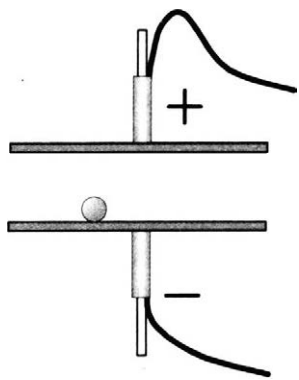
42. Около небольшой металлической пластины, укреплённой на изолирующей подставке, подвесили на шёлковой нити лёгкую металлическую незаряженную гильзу. Когда пластину подсоединили к клемме высоковольтного выпрямителя, подав на неё отрицательный заряд, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его.



43. Между двумя небольшими металлическими пластинами, укреплёнными на изолирующих подставках, подвесили на шёлковой нити лёгкую металлическую незаряженную гильзу (см. рис.). Когда пластины подсоединили к клеммам высоковольтного выпрямителя, подав на них разноимённые заряды, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его.

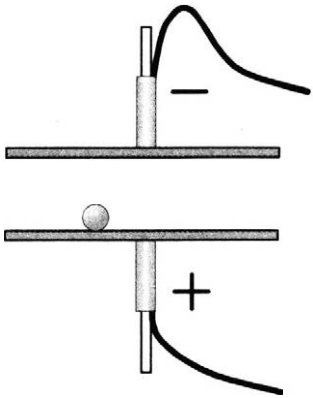


44. На одну из двух близко расположенных горизонтальных металлических пластин, укреплённых на изолирующих подставках, положили металлический шарик (см. рис.). Когда пластины подсоединили к клеммам высоковольтного выпрямителя, подав на них заряды разных знаков, шарик пришёл в движение. Опираясь на законы электростатики и механики, опишите и объясните движение шарика.



45. На одну из двух близко расположенных горизонтальных металлических пластин, укреплённых на изолирующих подставках, положили металлический шарик (см. рис.). Когда пластины подсоединили к клеммам высоковольтного выпрямителя,

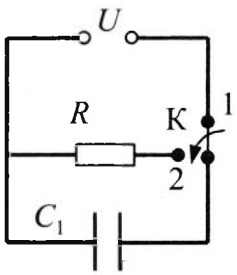
подав на них заряды разных знаков, шарик пришёл в движение. Опираясь на законы электростатики и механики, опишите и объясните движение шарика.



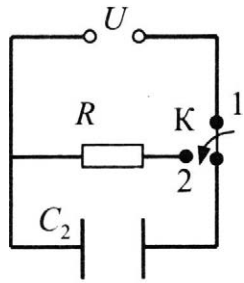
46. Маленький незаряженный шарик, подвешенный на непроводящей нити, помещён над горизонтальной пластиной, равномерно заряженной положительным зарядом. Размеры пластины во много раз превышают длину нити. Опираясь на законы механики и электродинамики, объясните, как изменится частота малых свободных колебаний шарика, если ему сообщить отрицательный заряд.

47. Маленький незаряженный шарик, подвешенный на непроводящей нити, помещён над горизонтальной пластиной, равномерно заряженной отрицательным зарядом. Размеры пластины во много раз превышают длину нити. Опираясь на законы механики и электродинамики, объясните, как изменится частота малых свободных колебаний шарика, если ему сообщить положительный заряд.

48. Два плоских воздушных конденсатора подключены к одинаковым источникам постоянного напряжения и одинаковым резисторам, как показано на рисунках *а* и *б*. Конденсаторы имеют одинаковую площадь пластин, но различаются расстоянием между пластинами. В некоторый момент времени ключи К в обеих схемах переводят из положения 1 в положение 2. Опираясь на законы электродинамики, объясните, в каком из приведённых опытов при переключении ключа резистор нагревается сильнее. Сопротивлением соединяющих проводов пренебречь.

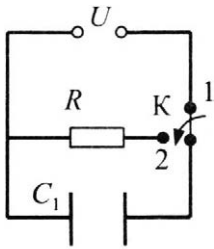


а)

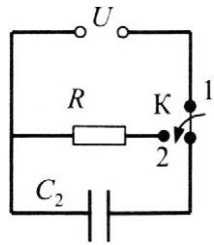


б)

49. Два плоских воздушных конденсатора подключены к одинаковым источникам постоянного напряжения и одинаковым резисторам, как показано на рисунках *а* и *б*. Конденсаторы имеют одинаковую площадь пластин, но различаются расстоянием между пластинами. В некоторый момент времени ключи К в обеих схемах переводят из положения 1 в положение 2. Опираясь на законы электродинамики, объясните, в каком из приведённых опытов при переключении ключа резистор нагревается сильнее. Сопротивлением соединяющих проводов пренебречь.

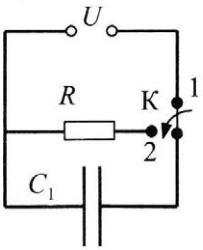


а)

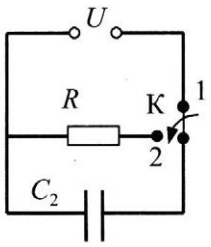


б)

50. Два плоских воздушных конденсатора подключены к одинаковым источникам постоянного напряжения и одинаковым резисторам, как показано на рисунках *а* и *б*. Пластины конденсаторов имеют разную площадь, но расстояние между пластинами в конденсаторах одинаковое (см. рис.). В некоторый момент времени ключи К в обеих схемах переводят из положения 1 в положение 2. Опираясь на законы электродинамики, объясните, в каком из приведённых опытов при переключении ключа резистор нагреется сильнее. Сопротивлением соединяющих проводов пренебречь.

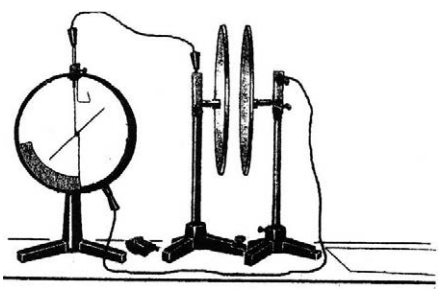


а)

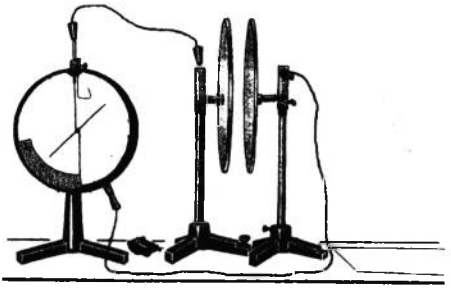


б)

51. Две плоские пластины конденсатора, закреплённые на изолирующих штативах, расположили на небольшом расстоянии друг от друга и соединили правую пластину с заземлённым корпусом, а левую — со стержнем электрометра (см. рис.). Затем пластину, соединённую со стержнем электрометра, зарядили. Объясните, опираясь на известные вам законы, как изменяются показания электрометра при сближении пластин. Отклонение стрелки электрометра пропорционально разности потенциалов между пластинами. Ёмкость электрометра пренебрежимо мала.



52. Две плоские пластины конденсатора, закреплённые на изолирующих штативах, расположили на небольшом расстоянии друг от друга и соединили правую пластину с заземлённым корпусом, а левую — со стержнем электрометра (см. рис.). Затем пластину, соединённую со стержнем электрометра, зарядили. Объясните, опираясь на известные вам законы, как изменяются показания электрометра при внесении между пластинами диэлектрической пластины. Отклонение стрелки электрометра пропорционально разности потенциалов между пластинами. Ёмкость электрометра пренебрежимо мала.



53. Воспользовавшись оборудованием, представленным на рисунке 1, учитель собрал модель плоского конденсатора (рис. 2), зарядил нижнюю пластину положительным зарядом, а корпус электрометра заземлил. Соединённая с корпусом электрометра верхняя пластина конденсатора приобрела отрицательный заряд, равный по модулю заряду нижней пластины. После этого учитель сместил одну пластину относительно другой, не изменяя расстояния между ними (рис. 3). Как изменились при этом показания электрометра (увеличились, уменьшились, остались прежними)? Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения. Показания электрометра в данном опыте прямо пропорциональны разности потенциалов между пластинами конденсатора.

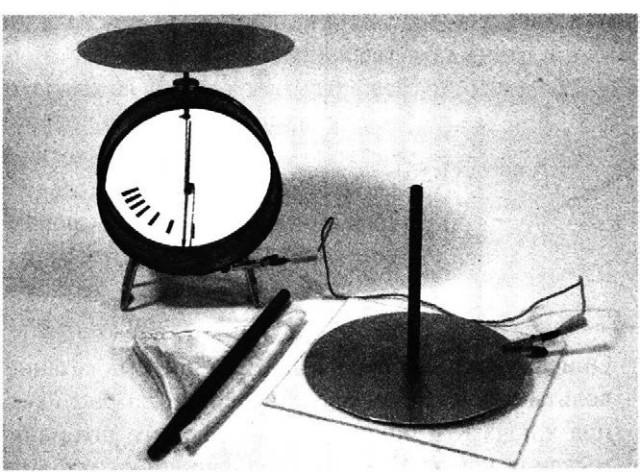


Рис. 1

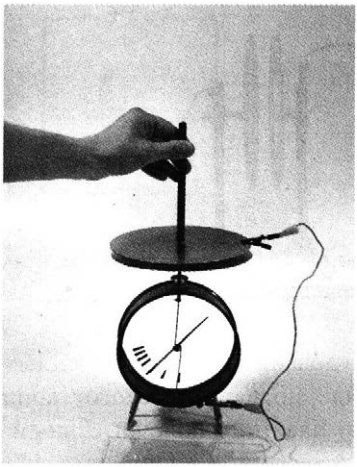


Рис. 2

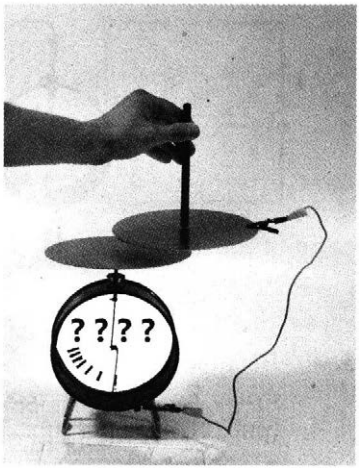
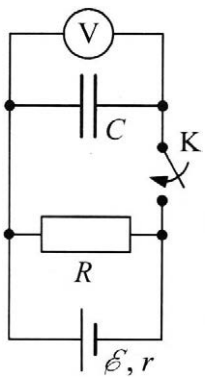
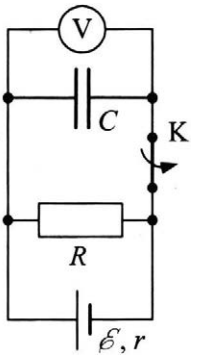


Рис. 3

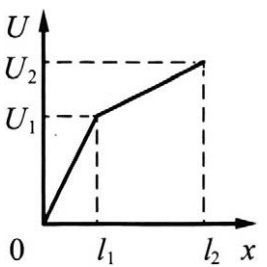
54. Опираясь на законы физики, найдите показание идеального вольтметра в схеме, представленной на рисунке, до замыкания ключа К и опишите изменения его показаний после замыкания ключа К. Первоначально конденсатор не заряжен.



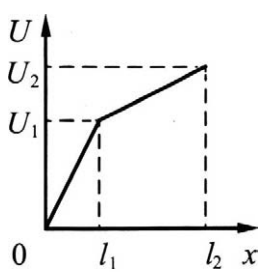
55. Опираясь на законы физики, найдите показание идеального вольтметра в схеме, представленной на рисунке, до размыкания ключа К и опишите изменения его показаний после размыкания ключа К. Первоначально ключ находился в замкнутом положении длительное время.



56. Нихромовый проводник длиной $l = l_2$ включён в цепь постоянного тока. К нему подключают вольтметр таким образом, что одна из клемм вольтметра всё время подключена к началу проводника, а вторая может перемещаться вдоль проводника. На рисунке приведена зависимость показаний вольтметра U от расстояния x до начала проводника. Как зависит от x площадь поперечного сечения проводника? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали.

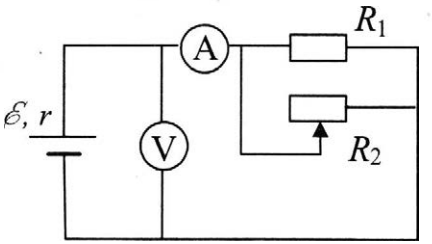


57. Цилиндрический проводник длиной $l = l_2$ включён в цепь постоянного тока. К нему подключают вольтметр таким образом, что одна из клемм вольтметра всё время подключена к началу проводника, а вторая может перемещаться вдоль проводника. На рисунке приведена зависимость показаний вольтметра U от расстояния x до начала проводника. Как зависит от x удельное сопротивление проводника? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали.

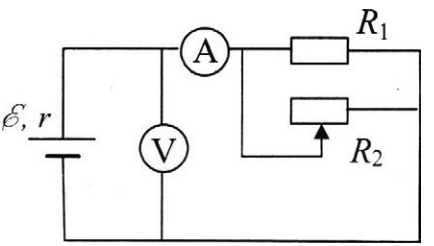


58. На рисунке показана принципиальная схема электрической цепи, состоящей из источника тока с отличным от нуля внутренним сопротивлением, резистора, реостата и измерительных

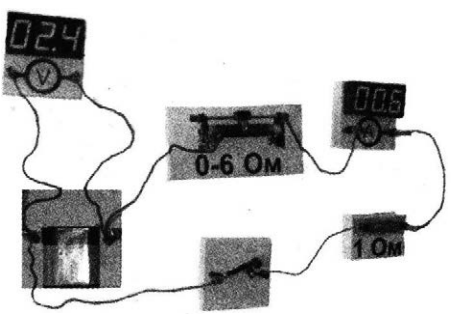
приборов — идеального амперметра и идеального вольтметра. Используя законы постоянного тока, проанализируйте эту схему и выясните, как будут изменяться показания приборов при перемещении движка реостата *вправо*.



59. На рисунке показана принципиальная схема электрической цепи, состоящей из источника тока с отличным от нуля внутренним сопротивлением, резистора, реостата и измерительных приборов — идеального амперметра и идеального вольтметра. Используя законы постоянного тока, проанализируйте эту схему и выясните, как будут изменяться показания приборов при перемещении движка реостата *влево*.

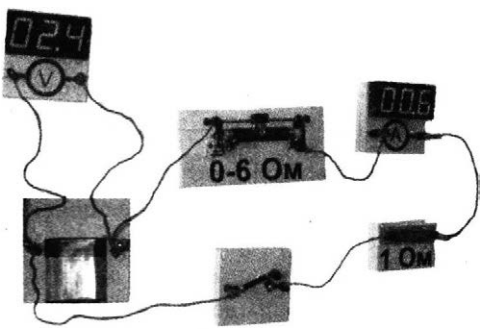


60. На фотографии изображена электрическая цепь, состоящая из резистора, реостата, ключа, цифровых вольтметра, подключённого к батарее, и амперметра.



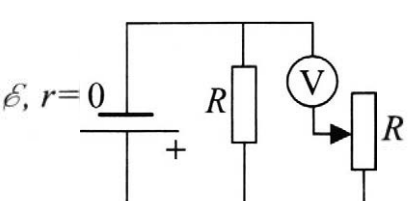
Составьте принципиальную электрическую схему этой цепи. Используя законы постоянного тока, объясните, как изменится (увеличится, уменьшится) сила тока в цепи и напряжение на батарее при перемещении движка реостата в крайнее правое положение.

61. На фотографии изображена электрическая цепь, состоящая из резистора, реостата, ключа, цифровых вольтметра, подключённого к батарее, и амперметра.

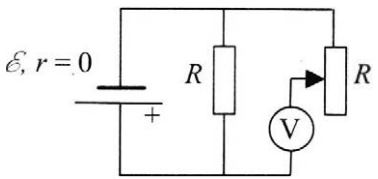


Составьте принципиальную электрическую схему этой цепи и, используя законы постоянного тока, объясните, как изменится (увеличится, уменьшится) сила тока в цепи и напряжение на батарее при перемещении движка реостата в крайнее левое положение.

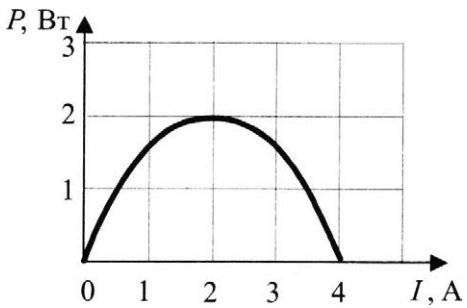
62. В схеме на рисунке сопротивление резистора и полное сопротивление реостата равны R, ЭДС батарейки равна $\mathscr{E}$, её внутреннее сопротивление ничтожно ($r = 0$). Как ведут себя (увеличиваются, уменьшаются, остаются постоянными) показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата из крайнего верхнего в крайнее нижнее положение? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



63. В схеме на рисунке сопротивление резистора и полное сопротивление реостата равны R, ЭДС батарейки равна $\mathscr{E}$, её внутреннее сопротивление ничтожно ($r = 0$). Как ведут себя (увеличиваются, уменьшаются, остаются постоянными) показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата из крайнего верхнего в крайнее нижнее положение? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



64. Электрическая цепь состоит из батареи с ЭДС $\mathscr{E}$ и внутренним сопротивлением $r = 0{,}5$ Ом и подключённого к ней резистора нагрузки с сопротивлением R. При изменении сопротивления нагрузки изменяется сила тока в цепи и мощность тока в нагрузке. На рисунке представлен график зависимости мощности, выделяющейся на нагрузке, от силы тока в цепи.

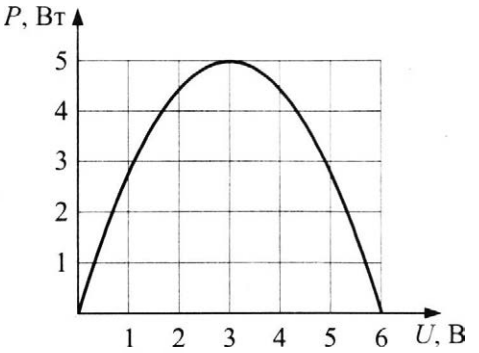


Используя известные физические законы, объясните, почему данный график зависимости мощности от силы тока является параболой. Чему равна ЭДС батареи?

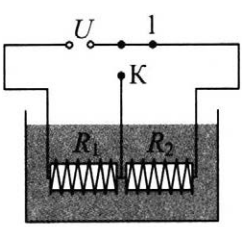
65. Электрическая цепь состоит из батареи с ЭДС $\mathscr{E} = 2$ В и внутренним сопротивлением $r = 0{,}5$ Ом и подключённого к ней резистора нагрузки с сопротивлением R. При изменении сопротивления нагрузки изменяется сила тока в цепи и мощность тока в нагрузке. Используя известные физические законы, постройте график зависимости мощности тока в нагрузке от силы тока.

66. Электрическая цепь состоит из батареи с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r и подключённого к ней резистора нагрузки с сопротивлением R. При изменении сопротивления нагрузки изменяется напряжение на ней и мощность в нагрузке. На рисунке представлен график зависимости мощности, выделяющейся на нагрузке, от напряжения на ней.

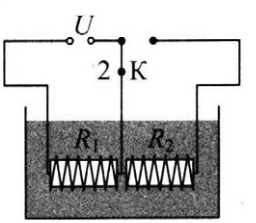
Используя известные вам физические законы, объясните, почему данный график зависимости мощности от напряжения представляет собой параболу.



67. В сосуд наливают воду при комнатной температуре. В воду погружают нагревательные элементы с сопротивлениями R_1 и R_2, подключённые к источнику постоянного напряжения так, как показано на рисунке *а*. Оставив ключ в положении 1, доводят воду до кипения. Затем кипяток выливают, сосуд охлаждают до комнатной температуры, вновь наполняют таким же количеством воды при комнатной температуре и, повернув ключ К в положение 2 (рис. *б*), повторяют опыт. Напряжение источника в опытах одинаково. Опираясь на законы электродинамики и молекулярной физики, объясните, в каком из приведённых опытов вода закипит быстрее.

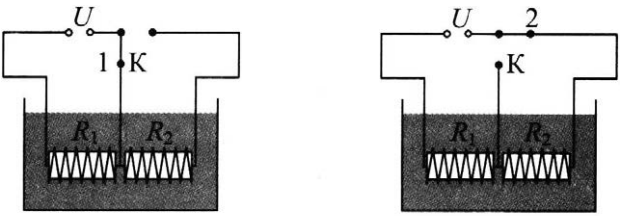


а)



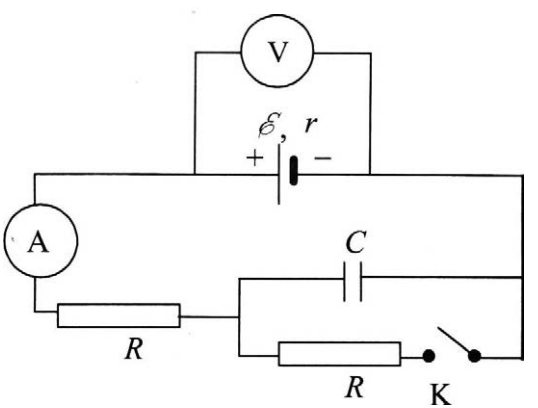
б)

68. В сосуд наливают воду при комнатной температуре. В воду погружают нагревательные элементы с сопротивлениями R_1 и R_2, подключённые к источнику постоянного напряжения так, как показано на рисунке *а*. Оставив ключ в положении 1, доводят воду до кипения. Затем кипяток выливают, сосуд охлаждают до комнатной температуры, вновь наполняют таким же количеством воды при комнатной температуре и, повернув ключ К в положение 2 (рис. *б*), повторяют опыт. Напряжение источника в опытах одинаково. Опираясь на законы электродинамики и молекулярной физики, объясните, в каком из приведённых опытов вода закипит быстрее.

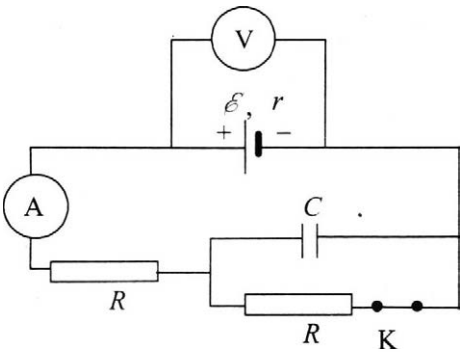


а) *б)*

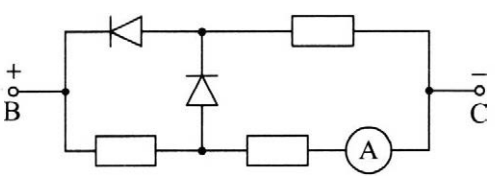
69. На рисунке показана электрическая цепь, содержащая источник тока (с внутренним сопротивлением), два резистора, конденсатор, ключ К, а также амперметр и идеальный вольтметр. Как изменятся показания амперметра и вольтметра в результате замыкания ключа К? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



70. На рисунке показана электрическая цепь, содержащая источник тока (с внутренним сопротивлением), два резистора, конденсатор, ключ К, а также амперметр и идеальный вольтметр. В начальный момент ключ замкнут. Как изменятся показания амперметра и вольтметра в результате размыкания ключа К? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.

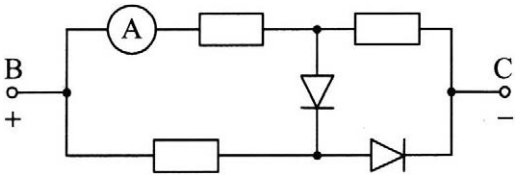


71. Три одинаковых резистора и два одинаковых идеальных диода включены в электрическую цепь, показанную на рисунке, и подключены к аккумулятору в точках В и С. Показания амперметра равны 2 А. Определите силу тока через амперметр при смене полярности подключения аккумулятора. Нарисуйте эквивалентные электрические схемы для двух случаев подключения аккумулятора. Опираясь на законы электродинамики, поясните свой ответ. Сопротивлением амперметра и внутренним сопротивлением аккумулятора пренебречь.

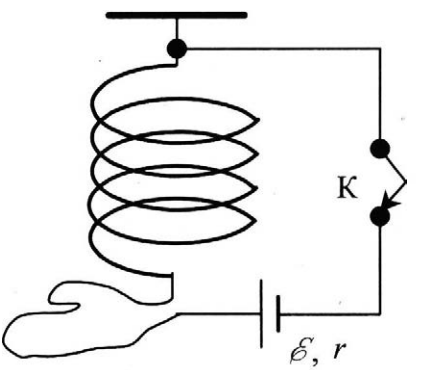


72. Три одинаковых резистора и два одинаковых идеальных диода включены в электрическую цепь, показанную на рисунке, и подключены к аккумулятору в точках В и С. Показания амперметра равны 1,5 А. Определите силу тока через амперметр при смене полярности подключения аккумулятора. Нарисуйте эквивалентные электрические схемы для двух случаев

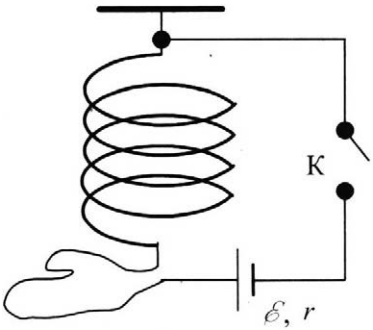
подключения аккумулятора. Опираясь на законы электродинамики, поясните свой ответ. Сопротивлением амперметра и внутренним сопротивлением аккумулятора пренебречь.



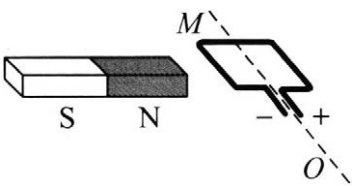
73. Мягкая пружина из нескольких крупных витков провода подвешена к потолку. Верхний конец пружины подключается к источнику тока через ключ К, а нижний — с помощью достаточно длинного мягкого провода (см. рис.). Как изменится длина пружины через достаточно большое время после замыкания ключа К? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения. Тепловыми эффектами пренебречь.



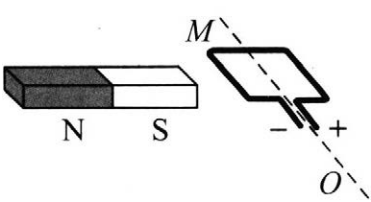
74. Мягкая пружина из нескольких крупных витков провода подвешена к потолку. Верхний конец пружины подключается к источнику тока через ключ К, а нижний — с помощью достаточно длинного мягкого провода (см. рис.). В начальный момент ключ замкнут. Как изменится длина пружины через достаточно большое время после размыкания ключа К? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения. Тепловыми эффектами пренебречь.



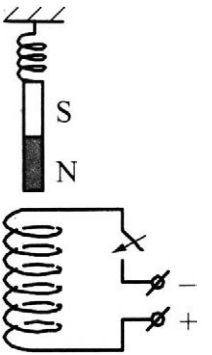
75. Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита (см. рис.). Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Как будет двигаться рамка на неподвижной оси *MO*, если рамку не удерживать? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения. Считать, что рамка испытывает небольшое сопротивление движению со стороны воздуха.



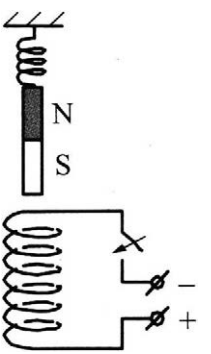
76. Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита (см. рис.). Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Как будет двигаться рамка на неподвижной оси *MO*, если рамку не удерживать? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения. Считать, что рамка испытывает небольшое сопротивление движению со стороны воздуха.



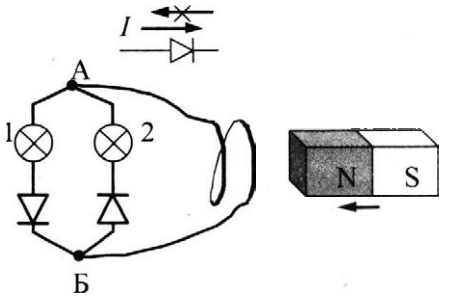
77. Непосредственно над неподвижно закреплённой проволочной катушкой вдоль её оси на пружине подвешен полосовой магнит (см. рис.). Куда начнёт двигаться магнит сразу после замыкания ключа? Ответ поясните, указав, какие физические явления и законы вы использовали для объяснения.



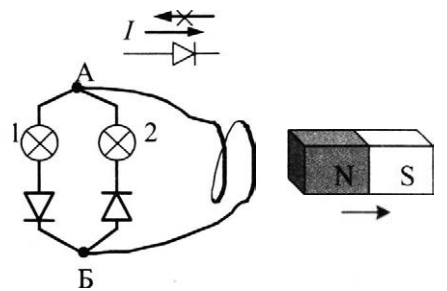
78. Непосредственно над неподвижно закреплённой проволочной катушкой вдоль её оси на пружине подвешен полосовой магнит (см. рис.). Куда начнёт двигаться магнит сразу после замыкания ключа? Ответ поясните, указав, какие физические явления и законы вы использовали для объяснения.



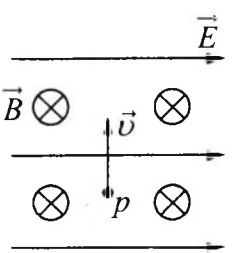
79. Электрическая цепь состоит из двух лампочек, двух диодов и витка провода, соединённых, как показано на рисунке. (Диод пропускает ток только в одном направлении, как показано в верхней части рисунка.) Какая из лампочек загорится, если к витку приближать северный полюс магнита? Ответ объясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали при объяснении.



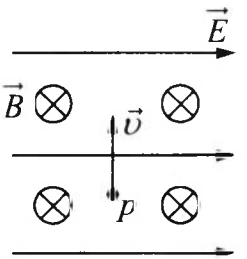
80. Электрическая цепь состоит из двух лампочек, двух диодов и витка провода, соединённых, как показано на рисунке. (Диод пропускает ток только в одном направлении, как показано в верхней части рисунка.) Какая из лампочек загорится, если отодвигать от витка северный полюс магнита? Ответ объясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



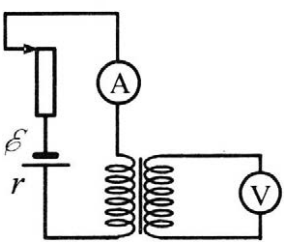
81. В камере, из которой откачан воздух, создали электрическое поле напряжённостью $\vec{E}$ и магнитное поле индукцией $\vec{B}$. Поля однородные, $\vec{E} \perp \vec{B}$. В камеру влетает протон p, вектор скорости которого перпендикулярен $\vec{E}$ и $\vec{B}$, как показано на рисунке. Модули напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля таковы, что протон движется прямолинейно. Как изменится начальный участок траектории протона, если его скорость увеличить? Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.



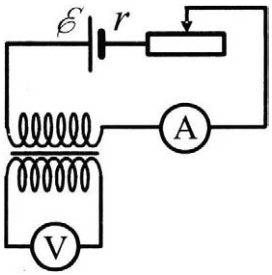
82. В камере, из которой откачан воздух, создали электрическое поле напряжённостью $\vec{E}$ и магнитное поле индукцией $\vec{B}$. Поля однородные, $\vec{E} \perp \vec{B}$. В камеру влетает протон p, вектор скорости которого перпендикулярен $\vec{E}$ и $\vec{B}$, как показано на рисунке. Модули напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля таковы, что протон движется прямолинейно. Как изменится начальный участок траектории протона, если его скорость уменьшить? Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.



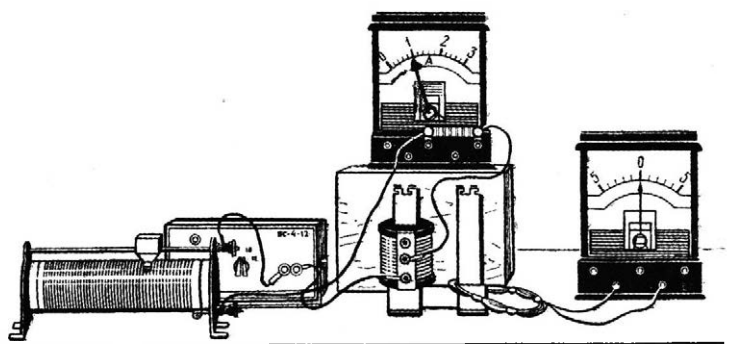
83. На рисунке приведена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра. В начальный момент времени ползунок реостата установлен в крайнее верхнее положение и неподвижен. Опираясь на законы электродинамики, объясните, как будут изменяться показания приборов в процессе перемещения ползунка реостата вниз. ЭДС самоиндукции пренебречь по сравнению с $\mathcal{E}$.



84. На рисунке приведена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра. В начальный момент времени ползунок реостата установлен посередине и неподвижен. Опираясь на законы электродинамики, объясните, как будут изменяться показания приборов в процессе перемещения ползунка реостата влево. ЭДС самоиндукции пренебречь по сравнению с $\mathcal{E}$.

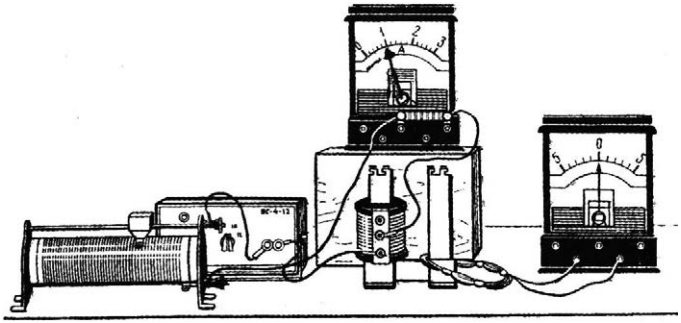


85. На рисунке изображены две изолированные друг от друга электрические цепи. Первая содержит последовательно соединённые источник тока, реостат, катушку индуктивности и амперметр, а вторая — проволочный моток, к концам которого присоединён гальванометр, изображённый на рисунке справа. Катушка и моток надеты на железный сердечник.



Как будут изменяться показания приборов, если катушку, присоединённую к источнику тока, плавно перемещая вверх, снять с сердечника? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

86. На рисунке изображены две изолированные друг от друга электрические цепи. Первая содержит последовательно соединённые источник тока, реостат, катушку индуктивности и амперметр, а вторая — проволочный моток, к концам которого присоединён гальванометр, изображённый на рисунке справа. Катушка и моток надеты на железный сердечник.



Как будут изменяться показания приборов, если проволочный моток, присоединённый к гальванометру, плавно перемещая вверх, снять с сердечника? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

87. Намагниченный стальной стержень начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью из положения, изображённого на рисунке 1. Пролетая сквозь закреплённое проволочное кольцо, стержень создаёт в нём электрический ток, сила которого изменяется со временем так, как показано на рисунке 2.

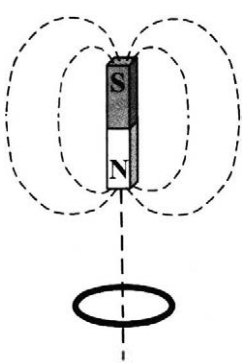


Рис. 1

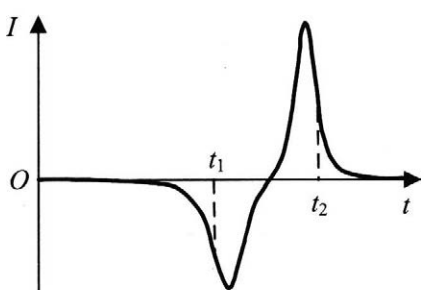


Рис. 2

Почему в моменты времени t_1 и t_2 ток в кольце имеет различные направления? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения. Влиянием тока в кольце на движение магнита пренебречь.

88. Намагниченный стальной стержень начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью из положения, изображённого на рисунке 1. Пролетая сквозь закреплённое проволочное кольцо, стержень создаёт в нём электрический ток, сила которого изменяется со временем так, как показано на рисунке 2.

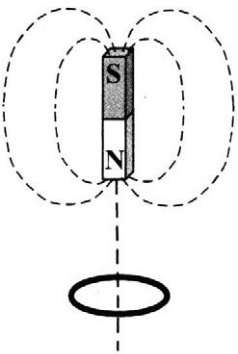


Рис. 1

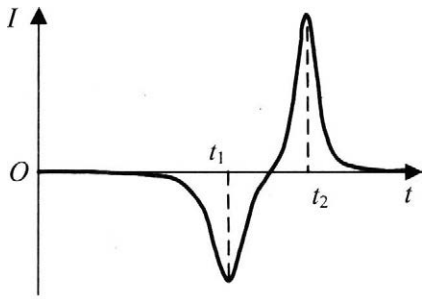
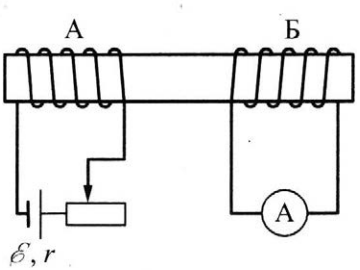


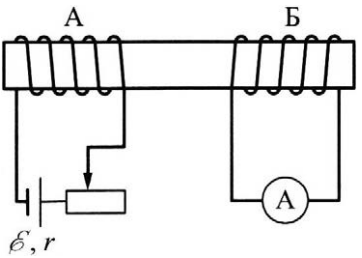
Рис. 2

Почему в момент времени t_2 модуль силы тока в кольце больше, чем в момент времени t_1? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения. Влиянием тока в кольце на движение магнита пренебречь.

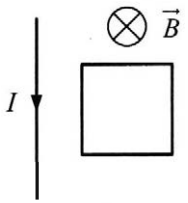
89. На железном стержне намотаны две катушки изолированного медного провода А и Б. Катушка А подключена к источнику с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r, как показано на рисунке. Катушка Б замкнута на амперметр малого сопротивления. Ползунок реостата передвигают влево. В каком направлении протекает при этом ток через амперметр, подключённый к катушке Б? Ответ обоснуйте, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.



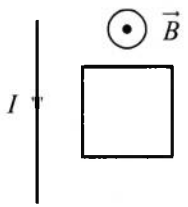
90. На железном стержне намотаны две катушки изолированного медного провода А и Б. Катушка А подключена к источнику с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r, как показано на рисунке. Катушка Б замкнута на амперметр малого сопротивления. Ползунок реостата передвигают вправо. В каком направлении протекает при этом ток через амперметр, подключённый к катушке Б? Ответ обоснуйте, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.



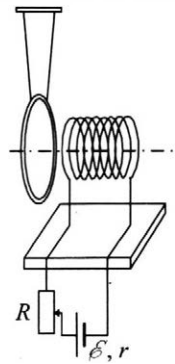
91. Прямолинейный проводник с током и проводящая жёсткая квадратная рамка лежат в плоскости, перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля (см. рис.). Опираясь на законы физики, укажите направление силы, действующей на рамку, когда величина магнитной индукции $\vec{B}$ уменьшается.



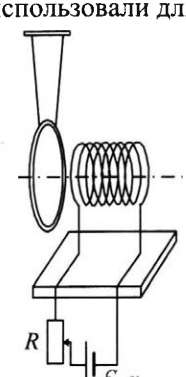
92. Прямолинейный проводник с током и проводящая жёсткая квадратная рамка лежат в плоскости, перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля (см. рис.). Опираясь на законы физики, укажите направление силы, действующей на рамку, когда величина магнитной индукции $\vec{B}$ увеличивается.



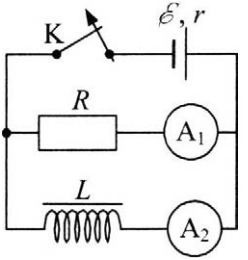
93. Многовитковая катушка медного провода подключена к источнику тока через реостат. Вблизи торца катушки на шёлковых нитях подвешено замкнутое медное кольцо с малым сопротивлением. Ось кольца совпадает с осью катушки (см. рис.). Опишите, как начнёт двигаться кольцо (притянется, оттолкнётся или останется неподвижным относительно катушки), если движок реостата резко сдвинуть вверх в крайнее положение. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



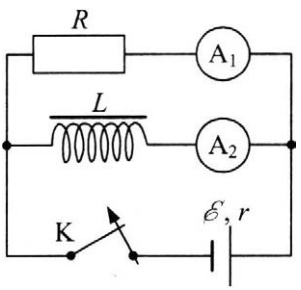
94. Многовитковая катушка медного провода подключена к источнику тока через реостат. Вблизи торца катушки на шёлковых нитях подвешено замкнутое медное кольцо с малым сопротивлением. Ось кольца совпадает с осью катушки (см. рис.). Опишите, как начнёт двигаться кольцо (притянется, оттолкнётся или останется неподвижным относительно катушки), если движок реостата резко сдвинуть вниз в крайнее положение. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



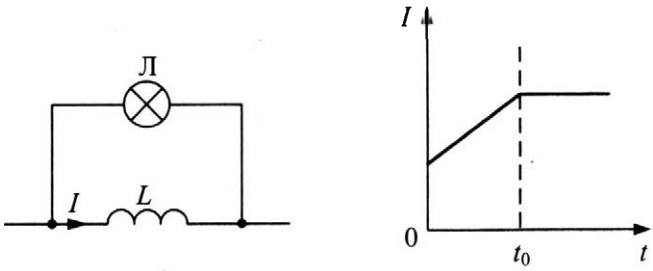
95. Резистор R и катушка индуктивности L с железным сердечником подключены к источнику тока, как показано на схеме. Первоначально ключ К замкнут, показания амперметров A_1 и A_2 равны, соответственно, $I_1 = 1$ А и $I_2 = 0{,}1$ А. Что произойдёт с величиной и направлением тока через резистор после размыкания ключа К? Ответ поясните, указав, какие явления и законы вы использовали для объяснения.



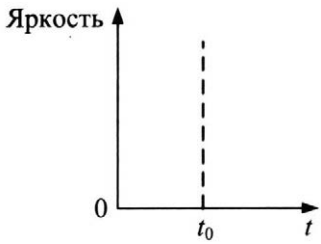
96. Резистор R и катушка индуктивности L с железным сердечником подключены к источнику тока, как показано на схеме. Первоначально ключ К замкнут, показания амперметров A_1 и A_2 равны, соответственно, $I_1 = 1{,}5$ А и $I_2 = 0{,}2$ А. Что произойдёт с величиной и направлением тока через резистор после размыкания ключа К? Ответ поясните, указав, какие явления и законы вы использовали для объяснения.



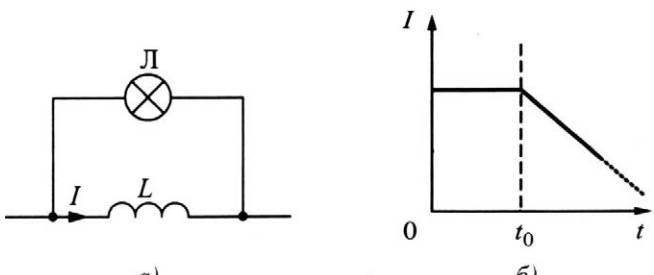
97. Параллельно катушке индуктивности L включена лампочка (см. рис. *а*). Яркость свечения лампочки прямо пропорциональна напряжению на ней. На рисунке *б* представлен график зависимости силы тока I в катушке от времени t. Сопротивлением катушки пренебречь. Опираясь на законы физики, изобразите график зависимости яркости свечения лампочки от времени.



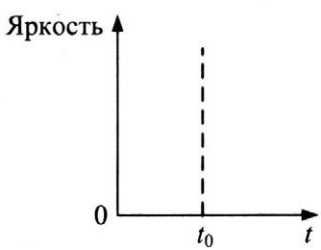
а) *б)*



98. Параллельно катушке индуктивности L включена лампочка (см. рис. *а*). Яркость свечения лампочки прямо пропорциональна напряжению на ней. На рисунке *б* представлен график зависимости силы тока I в катушке от времени t. Сопротивлением катушки пренебречь. Опираясь на законы физики, изобразите график зависимости яркости свечения лампочки от времени.



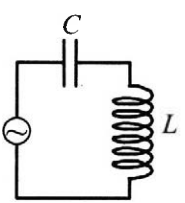
а) *б)*



99. К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение гармонически меняется с частотой ν. Электроёмкость C конденсатора колебательного контура можно плавно менять от минимального значения C_{min} до максимального C_{max}, а индуктивность его катушки постоянна. Ученик постепенно увеличивал ёмкость конденсатора от минимального значения до максимального и обнаружил, что амплитуда силы тока в контуре всё время возрастала. Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.

100. К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение гармонически меняется с частотой ν. Индуктивность L катушки колебательного контура можно плавно менять от максимального значения L_{max} до минимального L_{min}, а ёмкость его конденсатора постоянна. Ученик постепенно уменьшал индуктивность катушки от максимального значения до минимального и обнаружил, что амплитуда силы тока в контуре всё время возрастала. Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.

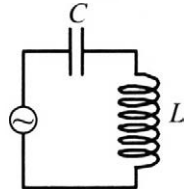
101. К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение гармонически меняется с циклической частотой $\omega_и = 2 \cdot 10^4$ с$^{-1}$ (см. рис.). Ёмкость C конденсатора колебательного контура можно плавно менять в пределах от 2,5 нФ до 1 мкФ, а индуктивность его катушки L = 0,04 Гн. Ученик постепенно уменьшал ёмкость конденсатора от максимального значения до минимального и обнаружил, что амплитуда силы тока в контуре сперва возрастала, достигала некоего максимального значения и затем уменьшалась. Какое явление наблюдал ученик? Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.



102. К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение гармонически меняется с циклической частотой $\omega_и = 4 \cdot 10^4$ с$^{-1}$ (см. рис.). Ёмкость C конденса-

тора колебательного контура можно плавно менять в пределах от 2 нФ до 0,5 мкФ, а индуктивность его катушки $L = 0{,}05$ Гн.

Ученик постепенно увеличивал ёмкость конденсатора от минимального значения до максимального и обнаружил, что амплитуда силы тока в контуре сперва возрастала, достигала некоего максимального значения и затем уменьшалась. Какое явление наблюдал ученик? Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.



103. Тонкая линза Л даёт чёткое действительное изображение предмета АВ на экране Э (рис. 1). Что произойдёт с изображением предмета на экране, если верхнюю половину линзы закрыть куском чёрного картона К (рис. 2)? Постройте изображение предмета в обоих случаях. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

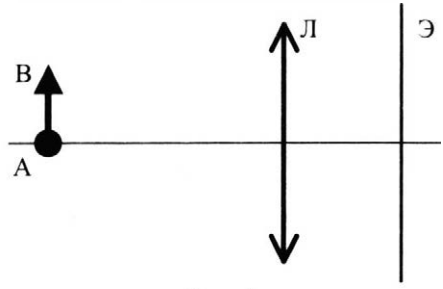


Рис. 1

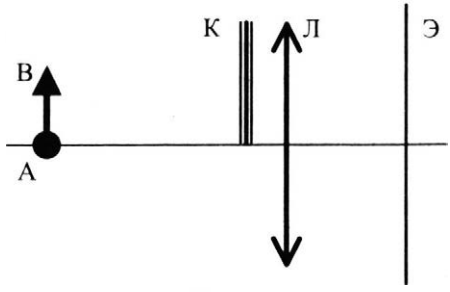


Рис. 2

104. Тонкая линза Л даёт чёткое действительное изображение предмета АВ на экране Э (рис. 1). Что произойдёт с изображением предмета на экране, если центральную часть линзы закрыть куском чёрного картона К (рис. 2)? Постройте изображение предмета в обоих случаях. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

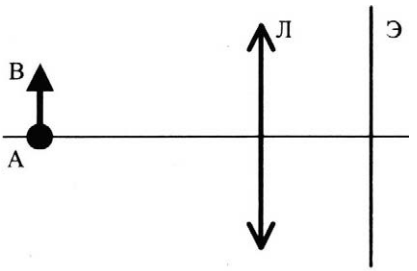


Рис. 1

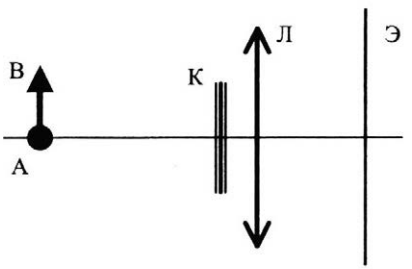


Рис. 2

105. При изучении давления света проведены два опыта с одним и тем же лазером. В первом опыте свет лазера направляется на пластинку, покрытую сажей, а во втором — на зеркальную пластинку такой же площади. В обоих опытах пластинки находятся на одинаковом расстоянии от лазера и свет падает перпендикулярно поверхности пластинок. Как изменится сила давления света на пластинку во втором опыте по сравнению с первым? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

106. На площадку падает зелёный свет от лазера. Лазер заменяют на другой, который генерирует красный свет. Мощность излучения, падающего на площадку, в обоих случаях одна и та же. Как меняется в результате такой замены число фотонов, падающих

на площадку в единицу времени? Укажите закономерности, которые вы использовали при обосновании своего ответа.

107. В опыте по изучению фотоэффекта катод освещается жёлтым светом, в результате чего в цепи возникает ток (рис. 1). Зависимость показаний амперметра I от напряжения U между анодом и катодом приведена на рисунке 2. Используя законы фотоэффекта и предполагая, что отношение числа фотоэлектронов к числу поглощённых фотонов не зависит от частоты света, объясните, как изменится представленная зависимость $I(U)$, если освещать катод зелёным светом, оставив мощность поглощённого катодом света неизменной.

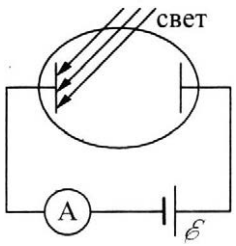


Рис. 1

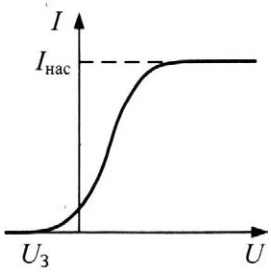


Рис. 2

108. В опыте по изучению фотоэффекта катод освещается фиолетовым светом, в результате чего в цепи возникает ток (рис. 1). Зависимость показаний амперметра I от напряжения U между анодом и катодом приведена на рисунке 2. Используя законы фотоэффекта и предполагая, что отношение числа фотоэлектронов к числу поглощённых фотонов не зависит от частоты света, объясните, как изменится представленная зависимость $I(U)$, если освещать катод красным светом, оставив мощность поглощённого катодом света неизменной.

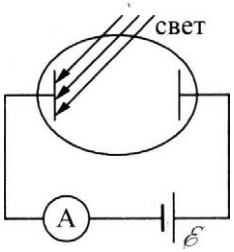


Рис. 1

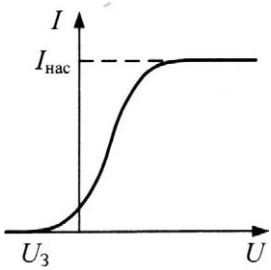


Рис. 2

Ответы

1. Электродинамика (Электричество)

1.1. Задачи с кратким ответом

1. 0,72 мН. **2.** 0,27 мН. **3.** 9 нН (наноньютонов).

4. 0,75. **5.** 320 Н/Кл. **6.** 400 Н/Кл.

7. 270 В/м. **8.** 210 Н/Кл. **9.** 830 В/м.

10. 480 Н/Кл. **11.** 1 (или +1) нКл. **12.** –1 нКл.

13. –2 нКл. **14.** 2 (или +2) нКл. **15.** 1 (или +1) нКл.

16. 0,5 Дж. **17.** 100 В/м. **18.** 0,36 Кл.

19. 100 000 В/м. **20.** 0,1 мг. **21.** 0,5 мг.

22. 3 с. **23.** 1 мг. **24.** 10 пКл.

25. 2 см. **26.** 3555 В/м. **27.** 1.

28. 2. **29.** 5000 В. **30.** 1 см.

31. 2 А. **32.** 4 Ом. **33.** 1 Ом.

34. 20 В. **35.** 27 В. **36.** 0,5 Ом.

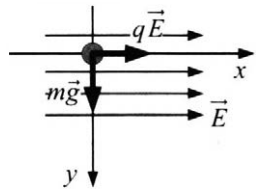
37. 6 В. **38.** 1 А. **39.** 4 В.

40. 3600 Дж. **41.** 50 с. **42.** 100 мкДж.

1.2. Задачи с развёрнутым ответом

1. *Возможное решение.*

На тело действуют сила тяжести $\overrightarrow{F_1} = m\vec{g}$ и сила со стороны электрического поля $\overrightarrow{F_2} = q\vec{E}$.



В инерциальной системе отсчёта, связанной с Землёй, в соответствии со вторым законом Ньютона вектор ускорения тела пропорционален вектору суммы сил, действующих на него: $m\vec{a} = \overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2}$.

При движении из состояния покоя тело движется по прямой в направлении вектора ускорения, т. е. в направлении равнодействующей приложенных сил. Следовательно, прямая, вдоль которой направлен вектор ускорения, образует с вертикалью угол, определяемый условием: $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{a_x}{a_y} = \dfrac{F_2}{F_1} = \dfrac{qE}{mg}$. Отсюда

$\operatorname{tg}\alpha = 1$, $\alpha = 45°$.

Ответ: $\alpha = 45°$.

2. *Ответ*: $E = \dfrac{mg}{q} = 0{,}5 \cdot 10^6$ В/м = 500 кВ/м.

3. *Возможное решение.*

Выражение для ускорения заряда в электрическом поле: $a = \dfrac{Eq}{m}$.

Формула пути при равноускоренном движении: $\dfrac{d}{2} = \dfrac{at^2}{2}$.

После преобразований получаем выражение для времени: $t = \sqrt{\dfrac{dm}{Eq}} \approx 0{,}3$ с.

Ответ: $t = \sqrt{\dfrac{dm}{Eq}} \approx 0{,}3$ с.

4. *Возможное решение.*

Выражение для ускорения заряда в электрическом поле: $a = \frac{Eq}{m}$.

Связь между временем, пройденным путём и ускорением при движении под действием электрического поля (движение в горизонтальном направлении): $t^2 = \frac{d}{a}$.

Связь между временем, пройденным путём и ускорением при движении под действием силы тяготения (движение в вертикальном направлении): $\Delta h = \frac{gt^2}{2}$.

Выполнив математические преобразования, получим ответ в общем виде: $\Delta h = \frac{mgd}{2qE}$.

Ответ: $\Delta h = \frac{mgd}{2qE} = 0{,}5$ м.

5. *Ответ*: $E = 10^5$ В/м.

6. *Возможное решение.*

Выражения для потенциальной энергии тела в поле тяжести: $E_п = mgh$; в электрическом поле: $E_п = qEh$.
Выражение для импульса, передаваемого шариком пластине при абсолютно упругом ударе: $\Delta p = 2m\upsilon$.

Закон сохранения механической энергии:

$$mgh + qEh = \frac{p^2}{2m}.$$

Отсюда $p = \sqrt{2mh \cdot (mg + qE)}$,

$$\Delta p = 2m\upsilon = 2p = 2 \cdot \sqrt{2mh \cdot (mg + qE)}.$$

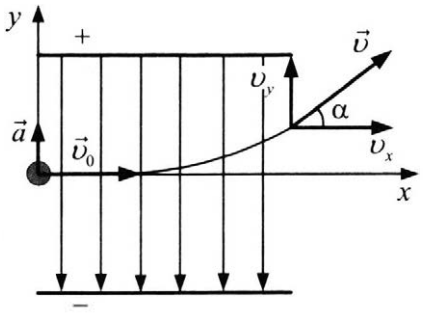
Ответ: $\Delta p = 2 \cdot \sqrt{2mh \cdot (mg + qE)} \approx 7 \cdot 10^{-4}$ кг · м/с.

7. *Ответ*: $h = \frac{(\Delta p)^2}{8m \cdot (mg + qE)} \approx 0{,}2$ м.

8. *Возможное решение.*

Зависимость координат электрона от времени с учётом начальных условий:

$$\begin{cases} x = \upsilon_0 t \\ y = \dfrac{at^2}{2} \end{cases}$$



Уравнения для проекций скорости $\upsilon_x = \upsilon_0$; $\upsilon_y = at$.

В момент вылета из конденсатора $x = L = \upsilon_0 t$,

поэтому $t = \dfrac{L}{\upsilon_0}$.

По второму закону Ньютона $a_y = \dfrac{F}{m} = \dfrac{eE}{m} = \dfrac{e\Delta\varphi}{md}$,

так как $F = eE$.

Отсюда $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{\upsilon_y}{\upsilon_x} = \dfrac{e\Delta\varphi L}{md\upsilon_0^2}$.

Ответ: $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{e\Delta\varphi L}{md\upsilon_0^2}$.

9. *Ответ*: $\Delta\varphi = \dfrac{md\upsilon_0^2 \cdot \operatorname{tg}\alpha}{eL}$.

10. *Возможное решение.*

Сила, действующая на частицу в конденсаторе со стороны поля: $F_{эл} = Eq$.

Второй закон Ньютона: $F_{эл} = ma$, или $Eq = ma$.

Проекция ускорения тела на вертикальную ось $0y$: $a = \frac{2s}{t^2} = \frac{d}{t^2}$, где d — расстояние между пластинами, t — время пролета частицы через конденсатор.

Проекция скорости частицы на горизонтальную ось $0x$: $\upsilon = \frac{l}{t}$, где l — длина пластин конденсатора. Отсюда

$$d = \frac{Eql^2}{m\upsilon^2} = \frac{5200 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 25 \cdot 10^{-4}}{1{,}67 \cdot 10^{-27} \cdot 3{,}5^2 \cdot 10^{10}} \approx 0{,}01 \text{ м}.$$

Ответ: $d \approx 0{,}01$ м.

11. *Ответ*: $\upsilon = 3$ м/с.

12. *Возможное решение.*

Центростремительное ускорение иона в конденсаторе $a = \frac{\upsilon^2}{R}$ задаётся силой $F = qE$ действия электрического поля, так что $qE = m \cdot \frac{\upsilon^2}{R}$. (Здесь q, m и υ — соответственно заряд, масса и скорость иона, E — напряжённость электрического поля.)

Отсюда: $m = \frac{RqE}{\upsilon^2} = \frac{0{,}5 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^4}{4 \cdot 10^{10}} = 10^{-25}$ (кг).

Ответ: 10^{-25} кг.

13. *Возможное решение.*

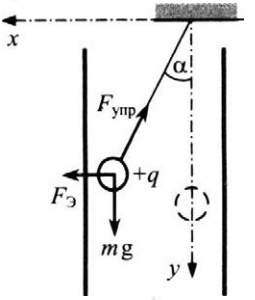
Центростремительное ускорение электрона в конденсаторе $a = \frac{\upsilon^2}{R}$ задаётся силой $F = qE$ действия электрического поля, так что $qE = m \cdot \frac{\upsilon^2}{R}$. (Здесь q, m и υ — соответственно заряд, масса и скорость электрона, E — напряжённость электрического поля.)

Отсюда: $\upsilon = \sqrt{RE \cdot \frac{q}{m}} = \sqrt{0{,}5 \cdot 5 \cdot 10^2 \cdot \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}} \approx 6{,}6 \cdot 10^6$ (м/с).

Ответ: $6{,}6 \cdot 10^6$ м/с.

14. *Возможное решение.*

Условия равновесия: $\begin{cases} k\Delta l \cdot \sin\alpha = qE, \\ k\Delta l \cdot \cos\alpha = mg. \end{cases}$



Возведём оба равенства в квадрат и сложим их:

$(k\Delta l)^2 = (mg)^2 + (qE)^2$,

откуда $E = \dfrac{\sqrt{(k\Delta l)^2 - (mg)^2}}{q}$.

Напряжённость электрического поля в конденсаторе: $E = \dfrac{U}{d}$.

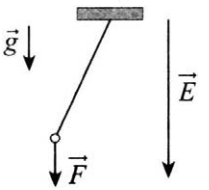
Таким образом, $U = \dfrac{d \cdot \sqrt{(k\Delta l)^2 - (mg)^2}}{q} = 10\,000$ В.

Ответ: $U = 10$ кВ.

15. *Ответ*: $q = 4 \cdot 10^{-7}$ Кл.

16. *Возможное решение.*

Период колебаний маятника определяется соотношением $T = 2\pi \cdot \sqrt{\dfrac{l}{a}}$, где a — ускорение шарика в электрическом поле и поле тяготения в отсутствие нити. По второму закону Ньютона $a = \dfrac{F}{m}$.



$\vec{F} = \vec{F}_{\text{грав.}} + \vec{F}_{\text{эл.}}$, где $\vec{F}_{\text{грав.}} = m\vec{g}$ и $\vec{F}_{\text{эл.}} = q\vec{E}$.

Так как $\vec{g} \uparrow\uparrow \vec{E}$, то $F = mg + qE \Rightarrow a = \dfrac{mg + qE}{m} = g + \dfrac{q}{m}E$.

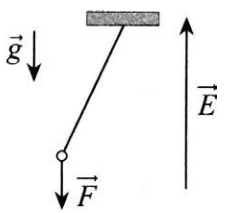
$a = 10 + \dfrac{10^{-8}}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{6} = 15\ (\text{м/с}^2)$.

$T = 2\pi \cdot \sqrt{\dfrac{l}{a}} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot \sqrt{\dfrac{0{,}5}{15}} \approx 1{,}15\ (\text{с})$.

Ответ: $T \approx 1{,}15$ с.

17. *Возможное решение.*

Период колебаний маятника определяется соотношением $T = 2\pi \cdot \sqrt{\dfrac{l}{a}}$, где a — ускорение шарика в электрическом поле и поле тяготения в отсутствие нити.



По второму закону Ньютона $a = \dfrac{F}{m}$.

$\vec{F} = \vec{F}_{\text{грав.}} + \vec{F}_{\text{эл.}}$, где $\vec{F}_{\text{грав.}} = m\vec{g}$ и $\vec{F}_{\text{эл.}} = q\vec{E}$.

Так как $\vec{g} \uparrow\downarrow \vec{E}$, то $F = mg - qE \Rightarrow$

$\Rightarrow a = \dfrac{mg - qE}{m} = g - \dfrac{q}{m}E$. $a = 10 - \dfrac{10^{-8}}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{6} = 5\ (\text{м/с}^2)$.

$l = \dfrac{T^2}{4\pi^2} \cdot a$; $l = \dfrac{1^2 \cdot 5}{4 \cdot 3{,}14^2} \approx 0{,}13$ (м).

Ответ: $l \approx 0{,}13$ м.

18. *Возможное решение.*

Если нити нет, шарик будет падать с ускорением, равным не g, а $g + \dfrac{qE}{m}$, где qE — сила действия электрического поля напряжённости E на заряд q. Поэтому в формуле для собствен-

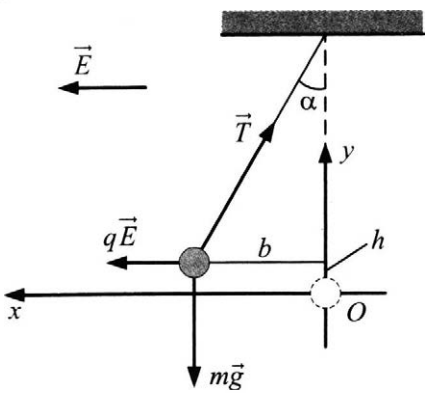
ной частоты колебаний математического маятника нужно вместо g поставить выражение $g + \frac{qE}{m}$,

так что $\omega_0 = \sqrt{\frac{g + \frac{qE}{m}}{l}} = \sqrt{\frac{10 + \frac{6 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^{6}}{3 \cdot 10^{-3}}}{0{,}5}} = 10\ (\text{с}^{-1})$.

Ответ: 10 с$^{-1}$.

19. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. На шарик действуют вертикальная сила тяжести $m\vec{g}$, горизонтальная сила со стороны электрического поля $q\vec{E}$ и вдоль нити сила её натяжения $\vec{T}$ (см. рис.).



По теореме об изменении кинетической энергии материальной точки в ИСО, $\Delta E_K = A_\Sigma$. Работа силы $\vec{T}$ равна нулю, так как эта сила в любой момент времени перпендикулярна скорости шарика. Силы $m\vec{g}$ и $q\vec{E}$ потенциальны, поэтому их работа при переходе из начальной точки в конечную не зависит от выбора траектории.

Выберем траекторию перехода в виде двух последовательных шагов: сначала из исходного положения вверх на расстояние h, затем по горизонтали на расстояние b в конечное положение. На этой траектории сумма работ силы тяжести и силы со стороны электрического поля

$A = -mgh + qEb$, где $h = l \cdot (1 - \cos\alpha)$, $b = l \cdot \sin\alpha$.

В результате получаем:

$$\Delta E_K = \frac{m\upsilon^2}{2} - 0 = A_\Sigma = -mgl \cdot (1 - \cos\alpha) + qEl \cdot \sin\alpha.$$

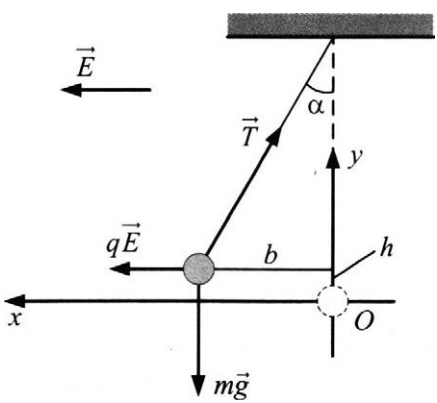
Отсюда:

$$m = \frac{2qEl \cdot \sin\alpha}{\upsilon^2 + 2gl \cdot (1 - \cos\alpha)} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 0{,}5}{0{,}81 + 2 \cdot 10 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right)} \approx 4{,}3 \cdot 10^{-4} \text{ кг}.$$

Ответ: $m \approx 4{,}3 \cdot 10^{-4}$ кг = 0,43 г.

20. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. На шарик действуют вертикальная сила тяжести $m\vec{g}$, горизонтальная сила со стороны электрического поля $q\vec{E}$ и вдоль нити сила её натяжения $\vec{T}$ (см. рис.).



По теореме об изменении кинетической энергии материальной точки в ИСО, $\Delta E_K = A_\Sigma$. Работа силы $\vec{T}$ равна нулю, так как эта сила в любой момент времени перпендикулярна скорости шарика. Силы $m\vec{g}$ и $q\vec{E}$ потенциальны, поэтому их работа при переходе из начальной точки в конечную не зависит от выбора траектории.

Выберем траекторию перехода в виде двух последовательных шагов: сначала из исходного положения вверх на расстояние h, затем по горизонтали на расстояние b в конечное положение. На этой траектории сумма работ силы тяжести и силы со стороны электрического поля

$A = -mgh + qEb$, где $h = l \cdot (1 - \cos\alpha)$, $b = l \cdot \sin\alpha$.

В результате получаем:

$$\Delta E_K = \frac{m\upsilon^2}{2} - 0 = A_\Sigma = -mgl \cdot (1 - \cos\alpha) + qEl \cdot \sin\alpha.$$

Отсюда:

$$E = \frac{m \cdot \left(\upsilon^2 + 2gl \cdot (1 - \cos\alpha)\right)}{2ql \cdot \sin\alpha} =$$

$$= \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1{,}5^2 + 2 \cdot 10 \cdot 1 \cdot (1 - 0{,}5)\right)}{2 \cdot 16 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} \approx 2{,}21 \cdot 10^5 \text{ В/м}.$$

Ответ: $E \approx 2{,}21 \cdot 10^5$ В/м = 221 кВ/м.

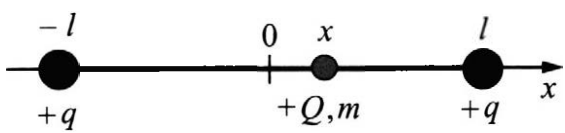
21. *Возможное решение.*

При небольшом смещении x $(|x| \ll l)$ бусинки от положения равновесия на неё действует возвращающая сила:

$$F_x = k \cdot \frac{qQ}{(l+x)^2} - k \cdot \frac{qQ}{(l-x)^2} = kqQ \cdot \frac{(l-x)^2 - (l+x)^2}{(l+x)^2 \cdot (l-x)^2} =$$

$$= -kqQ \cdot \frac{4lx}{(l+x)^2 \cdot (l-x)^2} \approx -k \cdot \frac{4qQ}{l^3} \cdot x,$$

пропорциональная смещению x. Ускорение бусинки в соответствии со вторым законом Ньютона $ma = -k \cdot \frac{4qQ}{l^3} \cdot x$ пропорционально смещению.



При такой зависимости ускорения от смещения бусинка совершает гармонические колебания, период которых $T = \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{kqQ} \cdot l^3}$.

При увеличении заряда бусинки $Q_1 = 2Q$ период колебаний уменьшится:

$$\frac{T_1}{T} = \sqrt{\frac{Q}{Q_1}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Ответ: $T_1 = \frac{T}{\sqrt{2}}$.

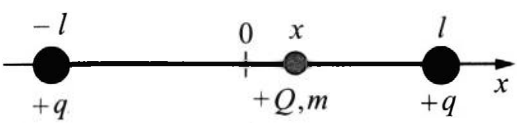
22. *Возможное решение.*

При небольшом смещении x $(|x| \ll l)$ бусинки от положения равновесия на неё действует возвращающая сила:

$$F_x = k \cdot \frac{qQ}{(l+x)^2} - k \cdot \frac{qQ}{(l-x)^2} = kqQ \cdot \frac{(l-x)^2 - (l+x)^2}{(l+x)^2 \cdot (l-x)^2} =$$

$$= -kqQ \cdot \frac{4lx}{(l+x)^2 \cdot (l-x)^2} \approx -k \cdot \frac{4qQ}{l^3} \cdot x,$$

пропорциональная смещению x. Ускорение бусинки в соответствии со вторым законом Ньютона $ma = -k \cdot \frac{4qQ}{l^3} \cdot x$ пропорционально смещению.



При такой зависимости ускорения от смещения бусинка совершает гармонические колебания, период которых $T = \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{kqQ} \cdot l^3}$.

При уменьшении заряда бусинки $Q_1 = \frac{1}{2} Q$ период колебаний увеличится: $T_1/T = \sqrt{2}$.

Ответ: $T_1 = \sqrt{2} \cdot T$.

23. *Ответ*: При увеличении заряда бусинки $Q_1 = 4Q$ период колебаний уменьшится: $T_1 = 0{,}5\ T$.

24. *Возможное решение.*

В соответствии с законами Ома для полной электрической цепи и её участка напряжение на полюсах источника линейно зависит от силы тока: $U = \mathscr{E} - I\,r$.

Запишем закон Ома для двух случаев измерений:

$$\begin{cases} U_1 = \mathscr{E} - I_1 r, \\ U_2 = \mathscr{E} - I_2 r. \end{cases}$$

Подставим значения токов и напряжений и получим $\mathscr{E} = 5{,}5$ В; $r = 1{,}1$ Ом.

Силу тока при напряжении $U_0 = 1{,}0$ В можно найти из уравнения $U_0 = \mathscr{E} - I_0\,r$. Отсюда $I_0 = \dfrac{\mathscr{E} - U_0}{r} = \dfrac{5{,}5 - 1{,}0}{1{,}1} \approx 4{,}1$ А.

Ответ: $\approx 4{,}1$ А.

25. *Ответ*: $I = 2$ А.

26. *Возможное решение.*

При последовательном включении ламп напряжение источника равно сумме напряжений на всех лампах: $U = 2U_L$.

Напряжение на одной лампе $U_L = 110$ В определяется по графику при силе тока в цепи $I = 0{,}35$ А.

Отсюда: напряжение источника $U = 2U_L = 220$ В.

Ответ: $U = 220$ В.

27. *Ответ*: 110 В.

28. *Возможное решение.*

При напряжении источника $U_1 = 12$ В сила тока через лампу определяется из графика: $I_1 = 2$ А.

Сопротивление нити накала при этом определяется законом Ома: $R_1 = \dfrac{U_1}{I_1} = 6$ Ом.

При уменьшении напряжения на лампе в 2 раза $U_2 = 6$ В сила тока через неё станет $I_2 = 1{,}4$ А (см. вольт-амперную характеристику).

Сопротивление нити накала при этом напряжении $R_2 = \frac{U_2}{I_2} \approx 4{,}3$ Ом.

Так как сопротивление нити пропорционально температуре $R = \beta T$, то $\frac{T_2}{T_1} = \frac{R_2}{R_1}$,

и $T_2 = T_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} = T_1 \cdot \frac{U_2 I_1}{I_2 U_1} = 3100 \cdot \frac{6 \cdot 2}{1{,}4 \cdot 12} \approx 2214$ К.

Ответ: $T_2 \approx 2214$ К.

29. *Ответ*: 3100 К.

30. *Возможное решение.*

Пусть R_A — сопротивление амперметра; R_V — сопротивление вольтметра; $\mathcal{E}$ — ЭДС источника. В схеме 1 сопротивление внешней цепи $R_0 = R_A + \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}$, внутреннее сопротивление источника равно нулю, поэтому показание амперметра $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_0}$.

В схеме 2 внутреннее сопротивление источника равно нулю, поэтому напряжение на участке, содержащем резистор и амперметр, равно $\mathcal{E}$.

Показание амперметра $I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R + R_A}$.

Отсюда: $\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_0}{R + R_A} = \frac{R_A R + R_A R_V + R R_V}{(R + R_A) \cdot (R + R_V)}$.

Подставляя значения сопротивлений, получим ответ:

$I_2 = \frac{91}{101} \cdot I_1 \approx 0{,}9 \cdot I_1$.

Ответ: $I_2 \approx 0{,}9 I_1$.

31. *Возможное решение.*

Пусть R_A — сопротивление амперметра; R_V — сопротивление вольтметра; $\mathcal{E}$ — ЭДС источника.

В схеме 1 сопротивление внешней цепи равно $R_A + \dfrac{R \cdot R_V}{R + R_V}$, внутреннее сопротивление источника равно нулю, поэтому показание амперметра $I_1 = \dfrac{\mathscr{E}}{R_A + \dfrac{R \cdot R_V}{R + R_V}}$.

Показание вольтметра $U_1 = I_1 \cdot \dfrac{R \cdot R_V}{R + R_V} = \dfrac{\mathscr{E}}{R_A + \dfrac{R \cdot R_V}{R + R_V}} \cdot \dfrac{R \cdot R_V}{R + R_V}$.

В схеме 2 напряжение на вольтметре равно $\mathscr{E}$, так как внутреннее сопротивление источника равно нулю. Поэтому $U_2 = \mathscr{E}$ и $\dfrac{U_1}{U_2} = \dfrac{\dfrac{R \cdot R_V}{R + R_V}}{R_A + \dfrac{R \cdot R_V}{R + R_V}}$.

Отсюда: $U_1 = U_2 \cdot \dfrac{\dfrac{R \cdot R_V}{R + R_V}}{R_A + \dfrac{R \cdot R_V}{R + R_V}} = U_2 \cdot \dfrac{\dfrac{9}{10}}{\dfrac{1}{10} + \dfrac{9}{10}} = \dfrac{9}{10} U_2$.

Ответ: $U_1 = 0{,}9 \cdot U_2$.

32. *Возможное решение.*

Для определения силы тока используем закон Ома для полной цепи. Вольтметр и резистор R_1 соединены параллельно.

Следовательно, $\dfrac{1}{R_{\text{общ}}} = \dfrac{1}{R_{\text{V}}} + \dfrac{1}{R_1}$.

Отсюда $R_{\text{общ}} = \dfrac{R_1 \cdot R_{\text{V}}}{R_{\text{V}} + R_1} = \dfrac{20 \cdot 10\,000}{10\,020} \approx 19{,}96 \approx 20$ (Ом).

Следовательно,

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R_{\text{общ.}} + R_2 + R_A + r} = \frac{36}{20 + 150 + 0{,}4 + 1} = \frac{36}{171{,}4} \approx 0{,}21 \text{ (А)}.$$

Амперметр показывает силу тока около 0,22 А. Цена деления шкалы амперметра 0,02 А, что больше, чем отклонение показаний от расчёта. Следовательно, **амперметр дает верные показания**.

Для определения напряжения используем закон Ома для участка цепи: $I = \dfrac{U}{R_1}$.

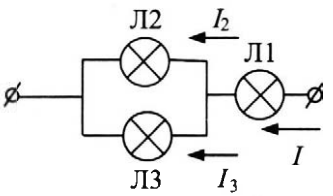
Отсюда $U = I \cdot R_1 = 0{,}21 \cdot 20 = 4{,}2$ (В). Вольтметр же показывает напряжение 4,6 В. Цена деления вольтметра 0,2 В, что в два раза меньше отклонения показаний.

Следовательно, **вольтметр даёт неверные показания**.

33. *Ответ*: амперметр даёт верные показания, а вольтметр — неверные.

34. *Возможное решение.*

Пусть на концах участка цепи напряжение U, а сила тока через участок I.



Напряжение на концах цепи из последовательно соединённых участков равно сумме напряжений на участках:

$U = U_1 + U_2 = \alpha \cdot I^2 + 3\alpha \cdot I_2^2$.

Для параллельно соединённых ламп Л2 и Л3 имеем $U_2 = U_3$, $I = I_2 + I_3$,

или $3\alpha \cdot I_2^2 = 6\alpha \cdot I_3^2$,

откуда $I_3 = \dfrac{I_2}{\sqrt{2}}$ и $I = I_2 + \dfrac{I_2}{\sqrt{2}} \approx 1{,}71 \cdot I_2$, $I_2 \approx \dfrac{I}{1{,}71}$.

Тогда из п. 1 и 2 получим

$$U \approx \alpha \cdot I^2 + 3\alpha \cdot \frac{I^2}{(1{,}71)^2} \approx \alpha \cdot I^2 + 1{,}02\alpha \cdot I^2 \approx 2\alpha \cdot I^2.$$

Ответ: $U \approx 2\alpha \cdot I^2$.

35. *Ответ*: $U \approx 1{,}7\alpha \cdot I^2$.

36. *Возможное решение.*

Ток в цепи до замыкания ключа К

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2}, \qquad (1)$$

где $\mathscr{E}$ — ЭДС источника.

Мощность, выделяемая соответственно на резисторах R_1 и R_2:

$$P_1 = I^2 R_1, \quad (2)$$

$$P_2 = I^2 R_2. \quad (3)$$

Так как после замыкания ключа ток через резистор R_1 не течёт, искомая мощность, выделяемая на резисторе R_2 после замыкания ключа К,

$$P_2' = \frac{\mathscr{E}^2}{R_2}. \quad (4)$$

Объединяя (1) – (4), получаем:

$$P_2' = P_2 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} + 1\right)^2 = 9 \text{ Вт}.$$

Ответ: $P_2' = 9$ Вт.

37. *Ответ*: 4,5 Вт.

38. *Возможное решение.*

Резисторы R_1 и R_3, R_2 и R_4 соединены друг с другом последовательно, а пары соединены между собой параллельно. В связи с этим общее сопротивление внешней цепи

$$R_0 = \frac{(R_1 + R_3)\cdot(R_2 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{(4+6)\cdot(6+9)}{4+6+6+9} = 6 \text{ Ом}.$$

Согласно закону Ома для полной цепи общий ток, протекающий во внешней цепи, $I = \frac{\mathscr{E}}{R_0 + r} = \frac{20}{6+2} = 2{,}5$ А.

Напряжение на внешней цепи $U = IR_0 = 2{,}5 \cdot 6 = 15$ В.

Токи в ветвях рассчитываются по закону Ома для участка цепи, в частности:

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_3} = \frac{15}{4+6} = 1{,}5 \text{ А}.$$

Мощность, выделяемая на резисторе R_3:

$$P_3 = I_1^2 R_3 = 1{,}5^2 \cdot 6 = 13{,}5 \text{ Вт}.$$

Ответ: $P_3 = 13{,}5$ Вт.

39. *Ответ*: $P = 6$ Вт.

40. *Возможное решение.*

Внутреннее сопротивление r источника находим, определив по графику $I(R)$ значения I_1 и I_2 силы тока при двух разных произвольных значениях R_1 и R_2 сопротивления резистора. Записывая закон Ома для полной замкнутой цепи, получаем систему уравнений для вычисления $\mathscr{E}$ и r:

$$\begin{cases} \mathscr{E} = I_1 \cdot (r + R_1), \\ \mathscr{E} = I_2 \cdot (r + R_2). \end{cases}$$

При решении полученной системы уравнений выбор двух значений сопротивления реостата произволен. Используем эту возможность в свою пользу.

Пусть $R_1 = 0$, тогда $I_1 = \mathscr{E}/r = 6$ А — сила тока короткого замыкания. Найдём значение R_2, при котором $I_2 = (1/2)I_1$. Раз сила тока уменьшилась вдвое, это значит, что сопротивление цепи вдвое возросло по сравнению со случаем короткого замыкания, т. е. стало равно $2r$. С другой стороны, сопротивление цепи равно $r + R_2$. Из равенства $2r = r + R_2$ следует, что $r = R_2$. Судя по графику, $R_2 = 2$ Ом. Таким образом, внутреннее сопротивление источника $r = 2$ Ом.

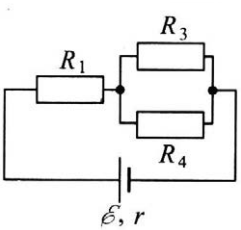
Мощность тока, выделяемая на внутреннем сопротивлении источника, $P_r = I^2 r$. Отсюда $I = \sqrt{\dfrac{P_r}{r}} = \sqrt{\dfrac{8\ \text{Вт}}{2\ \text{Ом}}} = 2$ А. Такая сила тока наблюдается в цепи, согласно графику, при $R = 4$ Ом.

Ответ: $R = 4$ Ом.

41. *Ответ*: $R = 2$ Ом.

42. *Возможное решение.*

После перегорания резистора R_2 данную электрическую схему можно заменить эквивалентной схемой (см. рис.). Тогда сопротивление внешней цепи $R_0 = R + \dfrac{R}{2} = 1{,}5R$.



По закону Ома для полной цепи сила тока, текущего через источник в схеме, $I = \dfrac{\mathscr{E}}{1{,}5 \cdot R + r}$.

Сила тока, текущего через резистор R_1, равна силе тока, текущего через источник. По закону Джоуля—Ленца мощность, выделяющаяся на нем,

$$P = I^2 R = \frac{\mathscr{E}^2 R}{(1{,}5 \cdot R + r)^2} = \frac{12\,100 \cdot 20}{1024} \approx 236 \text{ Вт}.$$

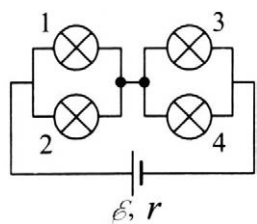
Ответ: $P \approx 236$ Вт.

43. *Ответ*: $P \approx 26$ Вт.

44. *Возможное решение.*

Сопротивление внешней цепи

$$R_0 = \frac{R_1}{2} + \frac{R_2}{2} = \frac{R_1 + R_2}{2}.$$



По закону Ома для полной цепи ток, текущий через источник в цепи,

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R_0 + r} = \frac{2\mathscr{E}}{R_1 + R_2 + 2r}.$$

Сила тока, текущего через лампу 4, равна половине силы тока, текущего через источник. По закону Джоуля—Ленца мощность, выделяющаяся на лампе 4,

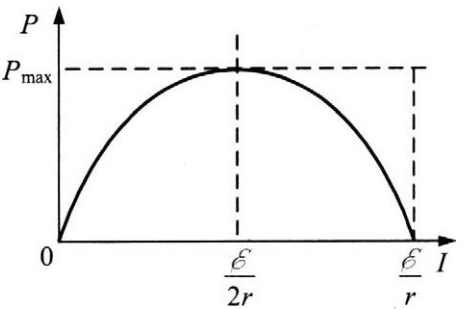
$$P = \left(\frac{I}{2}\right)^2 \cdot R_2 = \frac{\mathscr{E}^2 R_2}{(R_1 + R_2 + 2r)^2} = \frac{10\,000 \cdot 10}{1600} = 62{,}5 \text{ Вт}.$$

Ответ: $P = 62{,}5$ Вт.

45. *Ответ*: $P = 125$ Вт.

46. *Возможное решение.*

Мощность, выделяемая в цепи,
$P = IU = I \cdot (\mathscr{E} - Ir)$.



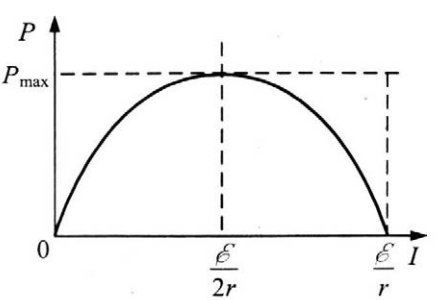
Корни уравнения $I \cdot (\mathscr{E} - Ir) = 0$: $I_1 = 0$, $I_2 = \frac{\mathscr{E}}{r}$.

Поэтому максимум функции $P(I)$ достигается при $I = \frac{\mathscr{E}}{2r}$ и равен $P_{max} = \frac{\mathscr{E}^2}{4r} = 4{,}5$ (Вт).

Ответ: $P_{max} = 4{,}5$ Вт.

47. *Возможное решение.*

Мощность, выделяемая на реостате, $P = IU = I \cdot (\mathscr{E} - Ir)$.



Корни уравнения $I \cdot (\mathscr{E} - Ir) = 0$: $I_1 = 0$, $I_2 = \frac{\mathscr{E}}{r}$.

Поэтому максимум функции $P(I)$ достигается при $I = \frac{\mathscr{E}}{2r}$ и равен $P_{max} = \frac{\mathscr{E}^2}{4r}$. С другой стороны, $P = I^2R = \frac{\mathscr{E}^2 R}{(r+R)^2}$.

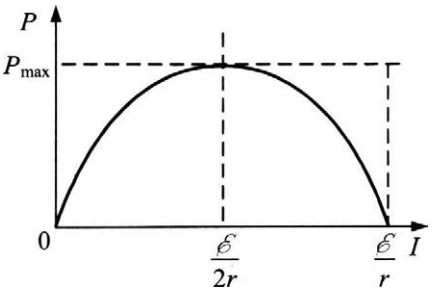
Отсюда получаем, что P_{max} достигается при $R = r$.

Поэтому $P_{max} = \dfrac{\mathcal{E}^2}{4r}$. ЭДС источника $\mathcal{E} = \sqrt{4R\,P_{max}} = 6$ В.

Ответ: $\mathcal{E} = 6$ В.

48. *Возможное решение.*

Мощность, выделяемая на реостате, $P = IU = I \cdot (\mathcal{E} - Ir)$. График $P(I)$ — парабола ветвями вниз.



Корни уравнения $I \cdot (\mathcal{E} - Ir) = 0$: $I_1 = 0; I_2 = \dfrac{\mathcal{E}}{r}$.

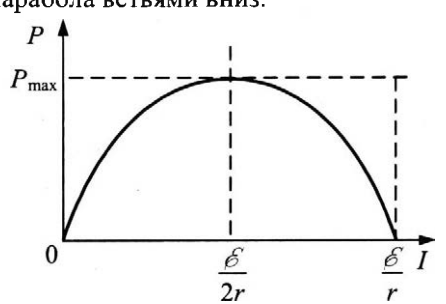
Поэтому максимум функции $P(I)$ достигается при $I = \dfrac{\mathcal{E}}{2r}$ и равен

$P_{max} = \dfrac{\mathcal{E}^2}{4r} = 4{,}5$ Вт. Отсюда: $r = \dfrac{\mathcal{E}^2}{4P_{max}} = \dfrac{12^2}{4 \cdot 4{,}5} = 8$ Ом.

Ответ: $r = 8$ Ом.

49. *Возможное решение.*

Мощность, выделяемая на реостате, $P = IU = I \cdot (\mathcal{E} - Ir)$. График $P(I)$ — парабола ветвями вниз.



Корни уравнения $I\cdot(\mathscr{E}-Ir)=0$: $I_1=0; I_2=\dfrac{\mathscr{E}}{r}$.

Поэтому максимум функции $P(I)$ достигается при $I=\dfrac{\mathscr{E}}{2r}$ и равен $P_{\max}=\dfrac{\mathscr{E}^2}{4r}=4{,}5$ Вт.

Отсюда: $r=\dfrac{\mathscr{E}^2}{4P_{\max}}=\dfrac{12^2}{4\cdot 4{,}5}=8$ Ом.

Короткое замыкание возникает в случае, когда сопротивление внешней цепи равно нулю: $R=0$. Согласно закону Ома для полной цепи $I_{\text{КЗ}}=\dfrac{\mathscr{E}}{r}=\dfrac{12}{8}=1{,}5$ А.

Ответ: $I_{\text{КЗ}}=1{,}5$ А.

50. *Возможное решение.*

Если при подключении батареи потенциал точки А оказывается выше, чем потенциал точки В, $\varphi_{\text{A}}>\varphi_{\text{B}}$, то ток через диод не течёт и эквивалентная схема цепи имеет вид, изображённый на рисунке 1.

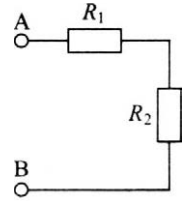


Рис. 1

Суммарное сопротивление последовательно соединённых резисторов равно $R_0=R_1+R_2$, а потребляемая мощность $P_1=\dfrac{\mathscr{E}^2}{R_1+R_2}$.

При изменении полярности подключения батареи $\varphi_{\text{A}}<\varphi_{\text{B}}$ открытый диод подключён к резистору R_2 параллельно. Эквивалентная схема цепи в этом случае изображена на рисунке 2. При этом потребляемая мощность увеличивается (так как знаменатель дроби уменьшается): $P_2=\dfrac{\mathscr{E}^2}{R_1}>P_1$.

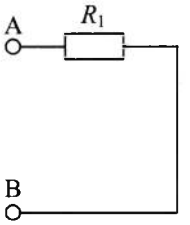


Рис. 2

Из этих уравнений: $R_2 = \dfrac{\mathscr{E}^2}{P_1} - \dfrac{\mathscr{E}^2}{P_2}$, $R_1 = \dfrac{\mathscr{E}^2}{P_2}$.

Подставляя значения физических величин, указанные в условии, получаем: $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом.

Ответ: $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом.

51. *Возможное решение.*

При подключении положительного полюса батареи к точке А потенциал точки А выше потенциала точки В ($\varphi_A > \varphi_B$), поэтому ток через резистор R_1 не течёт, а течёт через резистор R_2. Эквивалентная схема цепи имеет вид, изображённый на рисунке 1. Потребляемая мощность $P_1 = \dfrac{\mathscr{E}^2}{R_2}$.

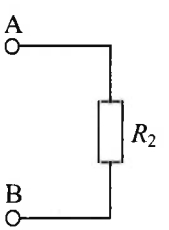


Рис. 1

При изменении полярности подключения батареи $\varphi_A < \varphi_B$ ток через резистор R_2 не течёт, но течёт через резистор R_1. Эквивалентная схема цепи в этом случае изображена на рисунке 2. При этом потребляемая мощность $P_2 = \dfrac{\mathscr{E}^2}{R_1}$.

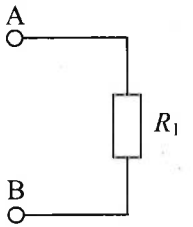


Рис. 2

Из этих уравнений: $R_2 = \dfrac{\mathcal{E}^2}{P_1}$, $R_1 = \dfrac{\mathcal{E}^2}{P_2}$.

Подставляя значения физических величин, указанные в условии, получаем: $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом.

Ответ: $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом.

52. *Возможное решение.*

Как следует из рисунка 1, при силе тока $I_1 = 0{,}1$ А напряжение на светодиоде $U_D = 3$ В.

По закону Ома для участка цепи напряжение на резисторе, по которому течёт этот ток (последовательное включение), $U_1 = I_1 R$.

По закону Ома для полной (замкнутой) цепи $\mathcal{E}_1 = U_1 + U_D$.

Решение системы даёт: $U_1 = I_1 R = \mathcal{E}_1 - U_D$, сопротивление резистора $R = \dfrac{\mathcal{E}_1 - U_D}{I_1} = \dfrac{6-3}{0{,}1} = 30$ Ом.

Напряжение на диоде $U_D = 3$ В не зависит от силы тока через него в интервале значений $0{,}05\ \text{А} \le I \le 0{,}2\ \text{А}$, поэтому напряжение на резисторе $U_2 = \mathcal{E}_2 - U_D$ для любой силы тока из этого интервала. Следовательно, сила тока в цепи при изменении ЭДС источника

$$I_2 = \frac{U_2}{R} = \frac{\mathcal{E}_2 - U_D}{R} = I_1 \cdot \frac{\mathcal{E}_2 - U_D}{\mathcal{E}_1 - U_D} = 0{,}1 \cdot \frac{4{,}5-3}{6-3} = 0{,}05\ \text{А}.$$

Полученное значение укладывается в интервал применимости выбранной модели, когда напряжение на светодиоде не зависит от силы тока.

Ответ: $I_2 = 0{,}05$ А.

53. *Возможное решение.*

Как следует из рисунка 1, при силе тока $I_1 = 0{,}15$ А напряжение на светодиоде $U_D = 3$ В.

По закону Ома для участка цепи напряжение на резисторе, по которому течёт этот ток (последовательное включение), $U_1 = I_1 R$.

По закону Ома для полной (замкнутой) цепи $\mathcal{E}_1 = U_1 + U_D$.

Решение системы даёт: $U_1 = I_1 R = \mathcal{E}_1 - U_D$, сопротивление резистора $R = \dfrac{\mathcal{E}_1 - U_D}{I_1} = \dfrac{4{,}5 - 3}{0{,}15} = 10$ Ом.

Напряжение на диоде $U_D = 3$ В не зависит от силы тока через него в интервале значений $0{,}05\text{ А} \le I \le 0{,}2\text{ А}$, поэтому $\mathcal{E}_2 = U_2 + U_D$, где U_2 — напряжение на резисторе, для любой силы тока из этого интервала. Следовательно, сила тока в цепи при изменении ЭДС источника

$$I_2 = \frac{U_2}{R} = \frac{\mathcal{E}_2 - U_D}{R} \Rightarrow \mathcal{E}_2 = I_2 R + U_D = 0{,}1 \cdot 10 + 3 = 4\text{ В}.$$

Ответ: $\mathcal{E}_2 = 4$ В.

54. *Возможное решение.*

Мощность $P = I^2 R$.

Ключ разомкнут. Из закона Ома для замкнутой цепи:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r} = \frac{\mathcal{E}}{2R + r}.\quad P_1 = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(2R + r)^2}.$$

Ключ замкнут.

$$R_{23} = \frac{R}{2};\quad I_{II} = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_{23} + r} = \frac{\mathcal{E}}{\frac{3}{2} \cdot R + r}.\quad P_{II} = \frac{\mathcal{E}^2 R}{\left(\frac{3}{2} \cdot R + r\right)^2}.$$

Отношение мощностей $\dfrac{P_{II}}{P_1} = \dfrac{(2R + r)^2}{\left(\frac{3}{2} \cdot R + r\right)^2} = \dfrac{(2 \cdot 1 + 0{,}5)^2}{\left(\frac{3}{2} \cdot 1 + 0{,}5\right)^2} \approx 1{,}56.$

Ответ: мощность увеличится в $\dfrac{25}{16} \approx 1{,}56$ раза.

55. *Ответ*: уменьшится в 1,56 раза.

56. *Возможное решение.*

Количество теплоты согласно закону Джоуля—Ленца:

$$Q = I^2 Rt. \qquad (1)$$

Это количество теплоты затратится на нагревание проводника:

$$Q = cm\Delta T, \qquad (2)$$

где масса проводника $m = \rho lS$; (3)

c — удельная теплоёмкость алюминия; S — площадь поперечного сечения; l — длина проводника.

Сопротивление проводника $R = \dfrac{\rho_{эл} l}{S}$. (4)

Из (1) – (4) получаем: $t = \dfrac{\Delta T c \rho S^2}{\rho_{эл} I^2} = \dfrac{10 \cdot 900 \cdot 2700 \cdot 4 \cdot 10^{-12}}{2{,}5 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2} \approx 39$ с.

Ответ: $t \approx 39$ с.

57. *Возможное решение.*

Количество теплоты согласно закону Джоуля—Ленца:

$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot t. \qquad (1)$$

Это количество теплоты затратится на нагревание проводника:

$$Q = cm\Delta T, \qquad (2)$$

где масса проводника $m = \rho lS$; (3)

c — удельная теплоёмкость меди; S — площадь поперечного сечения; l — длина проводника.

Сопротивление проводника $R = \dfrac{\rho_{эл} l}{S}$. (4)

Из (1) – (4) получаем:

$$U = \sqrt{\frac{\Delta T c \rho l^2 \rho_{эл}}{t}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 380 \cdot 8900 \cdot 10^2 \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-8}}{15}} \approx 2 \text{ В}.$$

Ответ: $U \approx 2$ В.

58. *Возможное решение.*

Определены значения напряжения и силы тока

$U_1 = 3{,}2$ В $\quad I_1 = 0{,}5$ А.

$U_2 = 2{,}6$ В $\quad I_2 = 1$ А.

Записан закон Ома для полной цепи: $I = \dfrac{\mathcal{E}}{R + r}$ или $\mathcal{E} = U + Ir$.

Составлены два уравнения: $\mathscr{E} = U_1 + I_1 r$; $\mathscr{E} = U_2 + I_2 r$ и записано равенство: $U_1 + I_1 r = U_2 + I_2 r$.

Определены числовые значения внутреннего сопротивления и ЭДС: $r = \dfrac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \dfrac{3{,}2\text{В} - 2{,}6\text{В}}{0{,}5\text{А}} = 1{,}2$ Ом

$\mathscr{E} = 3{,}2$ В + (0,5 А · 1,2 Ом) = 3,8 В

или $\mathscr{E} = 2{,}6$ В + (1,0 А · 1,2 Ом) = 3,8 В.

Записано выражение для КПД источника тока в первом опыте: $\eta = \dfrac{U_1 I_1}{\mathscr{E} I_1} = \dfrac{U_1}{\mathscr{E}}$, и рассчитано его значение $\eta = \dfrac{3{,}2}{3{,}8} \cdot 100\,\% = 84\,\%$.

Ответ: 84 %.

Примечание: отклонения в записанных показаниях приборов в пределах цены деления этих приборов не считаются ошибкой; соответственно, могут различаться и числовые значения ответа.

59. *Возможное решение.*

Согласно показаниям приборов,

$U_1 = 3{,}2$ В $\quad I_1 = 0{,}5$ А.

$U_2 = 2{,}6$ В $\quad I_2 = 1$ А.

Закон Ома для полной цепи: $I = \dfrac{\mathscr{E}}{R + r}$.

Отсюда: $\mathscr{E} = U + Ir$, $\mathscr{E} = U_1 + I_1 r$; $\mathscr{E} = U_2 + I_2 r$; $U_1 + I_1 r = U_2 + I_2 r$.

Следовательно, $r = \dfrac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \dfrac{3{,}2\text{В} - 2{,}6\text{В}}{0{,}5\text{А}} = 1{,}2$ Ом.

Количество теплоты, выделившейся в источнике тока во втором опыте, $Q_2 = I_2^2 rt$, $Q_2 = 72$ Дж.

Ответ: $Q_2 = 72$ Дж.

Примечание: отклонения в записанных показаниях приборов в пределах цены деления этих приборов не считаются ошибкой, соответственно, могут различаться и числовые значения ответа.

60. *Возможное решение.*

Формула для расчёта требуемого отношения $\alpha = \dfrac{A_{\text{упр}}}{A}$,

где $A_{\text{упр}} = F_{\text{упр}} \cdot S$, а $A = U \cdot I \cdot t$.

Показания приборов и необходимые для расчёта данные:
$F_{\text{тяги.дв}} = 0{,}4$ Н; $t = 3{,}98$ с; $U = 4{,}6$ В; $I = 0{,}22$ А; $S = 26$ см.

Расчёт отношения α: $\alpha = \dfrac{0{,}4\text{Н} \cdot 0{,}26\text{м}}{4{,}6\text{В} \cdot 0{,}22\text{А} \cdot 3{,}98\text{с}} \approx 0{,}026 \approx 3\,\%$.

Ответ: $\alpha \approx 3\,\%$.

Примечание: возможны изменения в результатах в связи с погрешностью прямых измерений. В связи с этим изменяется числовое значение ответа.

61. *Возможное решение.*

Элементы ответа.

Приведена формула для расчёта отношения $\alpha = \dfrac{|A_{\text{тр}}|}{A}$ и указано, что $|A_{\text{тр}}| = F_{\text{упр}} \cdot S$, а $A = U \cdot I \cdot t$ и $F_{\text{тр}} = F_{\text{упр}}$.

Записаны необходимые для расчёта силы трения данные: $t = 3{,}98$ с; $U = 4{,}6$ В; $I = 0{,}22$ А; $S = 26$ см.

Получено выражение для силы трения $F_{\text{тр}} = \dfrac{\alpha \cdot U \cdot I \cdot t}{S}$ и рассчитан модуль силы трения $F_{\text{тр}} = \dfrac{0{,}05 \cdot 4{,}6 \cdot 0{,}22 \cdot 3{,}98}{0{,}26} \approx 0{,}8$ Н.

Примечание: возможны изменения в результатах в связи с погрешностью прямых измерений. В связи с этим изменяется числовое значение ответа.

62. *Возможное решение.*

При перемещении каретки совершается работа $A = F_{\text{упр}} \cdot S$. При этом двигатель потребляет энергию $W = IUt$. Дано соотношение: $\eta = \dfrac{A}{W} = \dfrac{F_{\text{упр}} S}{IUt}$.

Поскольку каретка движется равномерно, то сила упругости нити равна силе трения $F_{\text{упр}} = F_{\text{тр}}$.

Отсюда $U = \dfrac{F_{\text{тр}} \cdot S}{\eta \cdot I \cdot t}$,

где $F_{\text{тр}} = 0{,}4\,\text{Н}$; $t = 3{,}98\,\text{с}$; $S = 26\,\text{см} = 0{,}26\,\text{м}$; $I = 0{,}22\,\text{А}$.

Следовательно, $U = \dfrac{0{,}4 \cdot 0{,}26}{0{,}05 \cdot 0{,}22 \cdot 3{,}98} \approx 2{,}4\,(\text{В})$.

Ответ: $U \approx 2{,}4$ В.

63. *Возможное решение.*

Выражение для расчёта: $\alpha = \dfrac{F_{\text{тяги}} \cdot S}{U \cdot I \cdot t}$. Следовательно, для показаний секундомера справедлива формула: $t = \dfrac{F_{\text{тяги}} \cdot S}{\alpha \cdot I \cdot U}$.

При равномерном движении сила трения равна силе тяги.

Показания приборов и необходимые для расчётов данные:

$F_{\text{тяги}} = 0{,}4$ Н;

$U = 4{,}6$ В; $I = 0{,}22$ А; $S = 26$ см.

Численное значение показаний секундомера:

$$t = \frac{0{,}4 \cdot 0{,}26}{4{,}6 \cdot 0{,}22 \cdot 0{,}03} = 3{,}4 \text{ с}.$$

Ответ: 3,4 с.

Примечание: возможны изменения в результатах в связи с погрешностью прямых измерений. В связи с этим изменяется числовое значение ответа.

64. *Возможное решение.*

Электрический ток через последовательно включённые R_1 и C не идёт, поэтому напряжения на конденсаторе и резисторе R_2 одинаковы и равны: $U = IR_2$, $U = Ed$, где E — напряжённость поля в конденсаторе. Отсюда $d = \dfrac{IR_2}{E}$.

Согласно закону Ома, $I = \dfrac{\mathscr{E}}{r + R_2} \Rightarrow d = \dfrac{\mathscr{E} R_2}{(R_2 + r) \cdot E}$.

Ответ: $d = 10^{-3}$ м = 1 мм.

65. *Возможное решение.*

После зарядки конденсатора сила тока через резистор R_3: $I_3 = 0 \Rightarrow U_3 = 0 \Rightarrow U_{R_3C} = U_3 + U_C = U_C$.

При параллельном соединении $U_2 = U_{R_3C} = U_C$.

$$I = \frac{\mathscr{E}}{r + R_1 + R_2}. \; U_C = IR_2 = \frac{\mathscr{E} R_2}{r + R_1 + R_2};$$

$$U_C = \frac{3{,}6 \cdot 7}{1 + 4 + 7} = \frac{25{,}2}{12} = 2{,}1 \text{ (В)};$$

$q = CU_C$; $q = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}1 = 4{,}2 \cdot 10^{-6}$ (Кл).

Ответ: $q = 4{,}2$ мкКл.

66. *Возможное решение.*

Конденсатор заряжен, поэтому ток через него не течёт. Согласно закону Ома для замкнутой цепи через источник течёт ток силы $I = \dfrac{\mathscr{E}}{r + R_0}$, где $R_0 = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ — сопротивление внешней цепи (параллельно соединённых резисторов R_1 и R_2). Так как конденсатор подключён параллельно с резисторами R_1 и R_2, то напряжение на конденсаторе

$$U = IR_0 = \frac{\mathscr{E} R_0}{r + R_0} = \frac{\mathscr{E} R_1 R_2}{r \cdot (R_1 + R_2) + R_1 R_2}.$$

Определим энергию электрического поля конденсатора:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C}{2} \cdot \left(\frac{\mathscr{E} R_1 R_2}{r \cdot (R_1 + R_2) + R_1 R_2} \right)^2,$$

откуда найдём ёмкость конденсатора C:

$$C = 2W \cdot \left(\frac{r \cdot (R_1 + R_2) + R_1 R_2}{\mathscr{E} R_1 R_2} \right)^2 =$$

$$= 120 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{0{,}4 \cdot 10 + 24}{24 \cdot 10} \right)^2 \approx 1{,}6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}.$$

Ответ: $C \approx 1{,}6$ мкФ.

67. *Возможное решение.*

Конденсатор заряжен, поэтому ток через него не течёт. Согласно закону Ома, для замкнутой цепи через источник течёт ток силы $I = \dfrac{\mathscr{E}}{r + R_0}$, где $R_0 = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ — сопротивление внешней цепи (параллельно соединённых резисторов R_1 и R_2). Так как конденсатор подключён параллельно с резисторами R_1 и R_2, то напряжение на конденсаторе

$$U = IR_0 = \frac{\mathscr{E} R_0}{r + R_0} = \frac{\mathscr{E} R_1 R_2}{r \cdot (R_1 + R_2) + R_1 R_2}.$$

Определим энергию электрического поля конденсатора:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C}{2} \cdot \left(\frac{\mathscr{E} R_1 R_2}{r \cdot (R_1 + R_2) + R_1 R_2} \right)^2,$$

откуда найдем ЭДС источника:

$$\mathscr{E} = \sqrt{\frac{2W}{C}} \cdot \frac{r \cdot (R_1 + R_2) + R_1 R_2}{R_1 R_2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 10^{-6}}} \cdot \frac{0{,}4 \cdot 12 + 20}{20} = 2{,}48 \text{ В}.$$

Ответ: $\mathscr{E} = 2{,}48$ В.

68. *Возможное решение.*

Закон сохранения энергии: $W_н + A_{бат} + A = W_к + Q$, где $W_н$ и $W_к$ — энергия электрического поля конденсатора соответственно в начале и в конце процесса, $A_{бат}$ — работа источника тока, A — работа, совершённая против сил притяжения пластин, Q — количество теплоты, выделившееся на резисторе;

$W_н = \frac{1}{2} \cdot C_1 \mathscr{E}^2$, $W_к = \frac{1}{2} \cdot C_2 \mathscr{E}^2$, $A_{бат} = \mathscr{E} \Delta q = \mathscr{E} \cdot (C_2 \mathscr{E} - C_1 \mathscr{E}) =$

$= \mathscr{E}^2 \Delta C$, где ΔC — изменение ёмкости конденсатора.

Из этих уравнений получаем $\frac{1}{2} \cdot \mathscr{E}^2 \Delta C + A = Q$.

По условию $\Delta q = \mathscr{E} \Delta C = -1$ мкКл.

Следовательно, $A - Q = 50$ мкДж и $A = 60$ мкДж.

Ответ: $A = 60$ мкДж.

69. *Ответ*: $Q = 10$ мкДж.

70. *Возможное решение.*

Первоначальный заряд конденсатора $q = C_1 U$.

В результате перезарядки конденсаторов после замыкания ключа их заряды равны соответственно q_1 и q_2, причём

$q_1 + q_2 = C_1 U$ (по закону сохранения электрического заряда). (1)

В результате перезарядки на конденсаторах устанавливаются одинаковые напряжения, так как ток в цепи прекращается и напряжение на резисторе R становится равным нулю. Поэтому

$$\frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2}. \qquad (2)$$

По закону сохранения энергии выделившееся в цепи количество теплоты равно разности значений энергии конденсаторов в начальном и конечном состояниях:

$$Q = \frac{C_1 U^2}{2} - \left(\frac{q_1^2}{2C_1} + \frac{q_2^2}{2C_2} \right). \qquad (3)$$

Решая систему уравнений (1) – (3), получаем:

$$U = \sqrt{\frac{2Q \cdot (C_1 + C_2)}{C_1 C_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot \left(10^{-6} + 2 \cdot 10^{-6}\right)}{10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}} = 300 \text{ В}.$$

Ответ: $U = 300$ В.

71. *Ответ*: $Q = 30$ мДж.

72. *Возможное решение.*

Количество теплоты, выделяющееся на резисторе после размыкания ключа: $Q = W_C = \dfrac{CU^2}{2} = \dfrac{qU}{2}$.

Напряжение на конденсаторе равно падению напряжения на резисторе.

С учётом закона Ома для полной цепи $U = IR = \dfrac{\mathscr{E}R}{r+R}$.

Комбинируя эти формулы, находим: $r = R \cdot \left(\dfrac{\mathscr{E}q}{2Q} - 1 \right)$.

Ответ: $r = 5$ Ом.

73. *Возможное решение.*

Напряжение на конденсаторе равно напряжению на резисторе. Количество теплоты, выделяющееся на резисторе после размыкания ключа

$$Q = \frac{CU^2}{2},$$

где U — напряжение на резисторе.

Напряжение $U = IR = \mathscr{E} \cdot \dfrac{R}{r+R} = \dfrac{\mathscr{E}}{1+k}$,

где $k = \dfrac{r}{R}$.

$$k = \mathscr{E} \cdot \sqrt{\frac{C}{2Q}} - 1 = 0{,}2.$$

Ответ: $k = 0{,}2$.

74. *Возможное решение.*

После установления равновесия ток через резисторы прекратится, конденсатор C_1 будет заряжен до напряжения, равного ЭДС батареи, а C_2 — разряжен (его пластины соединены между собой через резисторы):

$U_{1\max} = \mathscr{E}$, $U_{2\max} = 0$.

При этом через батарею пройдёт заряд q: $q = C_1\mathscr{E}$.

Энергия заряженного конденсатора C_1 равна W: $W = C_1 \cdot \frac{\mathscr{E}^2}{2}$.

Работа сторонних сил источника тока пропорциональна заряду, прошедшему через него: $A = q\mathscr{E} = C_1\mathscr{E}^2$.

Эта работа переходит в энергию конденсаторов и теплоту:

$$Q = A - W = C_1 \cdot \frac{\mathscr{E}^2}{2}.$$

Подставляя значения физических величин, получим
$Q = 0{,}3$ Дж.

Ответ: $Q = 0{,}3$ Дж.

75. *Возможное решение.*

В батарее конденсаторы C_1 и C_3, C_2 и C_4 соединены в пары параллельно, а образовавшиеся пары — последовательно. Значит, общая электроёмкость системы равна

$$C_0 = \frac{C_{13} \cdot C_{24}}{C_{13} + C_{24}} = \frac{(C_1 + C_3) \cdot (C_2 + C_4)}{C_1 + C_3 + C_2 + C_4} =$$
$$= \frac{(3C + C) \cdot (2C + 4C)}{3C + C + 2C + 4C} = \frac{12C}{5}.$$

Общий заряд батареи, а также заряд на парах C_1 и C_3, C_2 и C_4 равен $q_0 = q_{13} = q_{24} = C_0\mathscr{E} = \frac{12 \cdot C \cdot \mathscr{E}}{5}$, так как пары соединены последовательно.

Следовательно, напряжение на паре C_1 и C_3 равно $U_{13} = \frac{q_0}{C_{13}} = \frac{12 \cdot C \cdot \mathscr{E}}{5 \cdot 4 \cdot C} = \frac{3 \cdot \mathscr{E}}{5}$.

Таким образом, энергия конденсатора C_1 равна $W_1 = \frac{C_1 U_{13}^2}{2} = \frac{3C \cdot 9\mathscr{E}^2}{2 \cdot 25} = \frac{27 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{50}$.

Ответ: $W_1 = \frac{27 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{50}$.

76. *Возможное решение.*

В батарее конденсаторы C_1 и C_3, C_2 и C_4 соединены в пары параллельно, а образовавшиеся пары — последовательно. Значит, общая электроёмкость системы равна

$$C_0 = \frac{C_{13} \cdot C_{24}}{C_{13} + C_{24}} = \frac{(C_1 + C_3) \cdot (C_2 + C_4)}{C_1 + C_3 + C_2 + C_4} =$$
$$= \frac{(3C + C) \cdot (2C + 4C)}{3C + C + 2C + 4C} = \frac{12C}{5}.$$

Общий заряд батареи, а также заряд на парах C_1 и C_3, C_2 и C_4 равен $q_0 = q_{13} = q_{24} = C_0\mathscr{E} = \frac{12 \cdot C \cdot \mathscr{E}}{5}$, так как пары соединены последовательно.

Следовательно, напряжение на паре C_2 и C_4 равно $U_{24} = \frac{q_0}{C_{24}} = \frac{12 \cdot C \cdot \mathscr{E}}{5 \cdot 6 \cdot C} = \frac{2 \cdot \mathscr{E}}{5}$.

Таким образом, энергия конденсатора C_4 равна $W_4 = \frac{C_4 U_{24}^2}{2} = \frac{4C \cdot 4 \cdot \mathscr{E}^2}{2 \cdot 25} = \frac{8 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{25}$.

Ответ: $W_4 = \frac{8 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{25}$.

77. *Возможное решение.*

В батарее конденсаторы C_1 и C_3, C_2 и C_4 соединены в пары параллельно, а получившиеся пары — последовательно. Значит, общая электроёмкость системы равна

$$C_0 = \frac{C_{13} \cdot C_{24}}{C_{13} + C_{24}} = \frac{(C_1 + C_3) \cdot (C_2 + C_4)}{C_1 + C_3 + C_2 + C_4} =$$
$$= \frac{(C + 3C) \cdot (2C + 4C)}{C + 3C + 2C + 4C} = \frac{12 \cdot C}{5}.$$

Энергия батареи конденсаторов в начальном состоянии равна $W_{\text{нач}} = \frac{C_0 \cdot \mathscr{E}^2}{2} = \frac{6 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{5}$.

Если в конденсаторе C_3 возникнет пробой, это эквивалентно короткому замыканию пары C_1 и C_3. В этом случае общая электроёмкость батареи равна $C_{24} = C_2 + C_4 = 6C$, а энергия, запасённая в батарее, $W_{\text{кон}} = \frac{C_{24} \cdot \mathscr{E}^2}{2} = \frac{6 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{2}$.

Таким образом, при пробое конденсатора C_3 энергия батареи увеличится на

$$\Delta W = W_{\text{кон}} - W_{\text{нач}} = \frac{6 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{2} - \frac{6 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{5} = \frac{9 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{5} = 1{,}8 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2.$$

Ответ: $\Delta W = 1{,}8 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2$.

78. *Возможное решение.*

В батарее конденсаторы C_1 и C_3, C_2 и C_4 соединены в пары параллельно, а получившиеся пары – последовательно. Значит, общая электроёмкость системы равна

$$C_0 = \frac{C_{13} \cdot C_{24}}{C_{13} + C_{24}} = \frac{(C_1 + C_3) \cdot (C_2 + C_4)}{C_1 + C_3 + C_2 + C_4} =$$

$$= \frac{(C + 3C) \cdot (2C + 4C)}{C + 3C + 2C + 4C} = \frac{12 \cdot C}{5}.$$

Энергия батареи конденсаторов в начальном состоянии равна

$$W_{\text{нач}} = \frac{C_0 \cdot \mathscr{E}^2}{2} = \frac{6 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{5}.$$

Если в конденсаторе C_2 возникнет пробой, это эквивалентно короткому замыканию пары C_2 и C_4. В этом случае общая электроёмкость батареи равна $C_{13} = C_1 + C_3 = 4C$, а энергия, запасённая в батарее, $W_{\text{кон}} = \frac{C_{13} \cdot \mathscr{E}^2}{2} = \frac{4 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{2} = 2 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2$.

Таким образом, при пробое конденсатора C_2 энергия батареи увеличится на

$$\Delta W = W_{\text{кон}} - W_{\text{нач}} = 2 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2 - \frac{6 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{5} = \frac{4 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2}{5} = 0{,}8 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2.$$

Ответ: $\Delta W = 0{,}8 \cdot C \cdot \mathscr{E}^2$.

79. *Возможное решение.*

Когда ключ К находится в положении 1, эквивалентная схема электрической цепи выглядит, как показано на рисунке 1. Когда заряд на конденсаторе уже установился, ток через конденсатор равен нулю. Напряжение на конденсаторе равно напряжению на резисторе R_1: $U_{1C} = IR_1$, где $I = \frac{\mathscr{E}}{r + R_1 + R_2}$.

Заряд конденсатора $q_1 = CU_{1C} = \frac{C\mathscr{E}R_1}{r + R_1 + R_2}$.

Правая обкладка конденсатора соединена с положительным полюсом источника и заряжена положительно. Поэтому её заряд равен q_1.

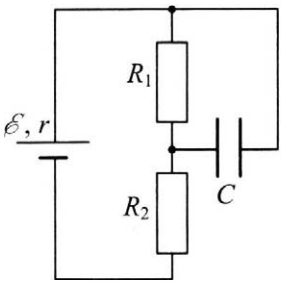


Рис. 1

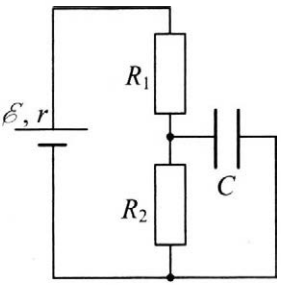


Рис. 2

Когда ключ К находится в положении 2, эквивалентная схема электрической цепи выглядит, как показано на рис. 2. Когда заряд на конденсаторе уже установился, ток через конденсатор равен нулю. Напряжение на конденсаторе равно напряжению на резисторе R_2: $U_{2C} = IR_2$, где по-прежнему $I = \dfrac{\mathscr{E}}{r + R_1 + R_2}$.

Заряд конденсатора $q_2 = CU_{2C} = \dfrac{C\mathscr{E}R_2}{r + R_1 + R_2}$.

Правая обкладка конденсатора соединена теперь с отрицательным полюсом источника и заряжена отрицательно. Поэтому её заряд равен $(-q_2)$.

Изменение заряда на правой обкладке конденсатора $\Delta q = (-q_2) - q_1 = -\dfrac{C\mathscr{E}\cdot(R_1 + R_2)}{r + R_1 + R_2}$, откуда:

$$\mathscr{E} = \frac{(-\Delta q)\cdot(r + R_1 + R_2)}{C\cdot(R_1 + R_2)} = \frac{0{,}52\cdot 10^{-6}\cdot(1+5+8)}{0{,}1\cdot 10^{-6}\cdot(5+8)} = 5{,}6\ \text{В}.$$

Ответ: $\mathscr{E} = 5{,}6$ В.

80. *Возможное решение.*

Когда ключ К находится в положении 1, эквивалентная схема электрической цепи выглядит, как показано на рисунке 1. Когда заряд на конденсаторе уже установился, ток через конденсатор равен нулю. Напряжение на конденсаторе равно напряжению на резисторе R_1: $U_{1C} = IR_1$, где $I = \dfrac{\mathscr{E}}{r + R_1 + R_2}$.

Заряд конденсатора $q_1 = CU_{1C} = \dfrac{C\mathscr{E}R_1}{r + R_1 + R_2}$.

Правая обкладка конденсатора соединена с положительным полюсом источника и заряжена положительно. Поэтому её заряд равен q_1.

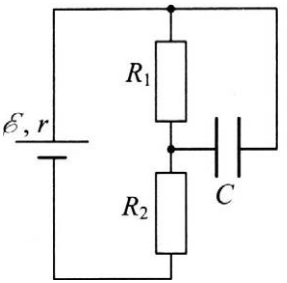


Рис. 1

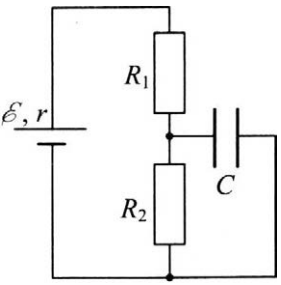


Рис. 2

Когда ключ К находится в положении 2, эквивалентная схема электрической цепи выглядит, как показано на рис. 2. Когда заряд на конденсаторе уже установился, ток через конденсатор равен нулю. Напряжение на конденсаторе равно напряжению на резисторе R_2: $U_{2C} = IR_2$, где по-прежнему $I = \dfrac{\mathscr{E}}{r + R_1 + R_2}$.

Заряд конденсатора $q_2 = CU_{2C} = \dfrac{C\mathscr{E}R_2}{r + R_1 + R_2}$.

Правая обкладка конденсатора соединена теперь с отрицательным полюсом источника и заряжена отрицательно. Поэтому её заряд равен $(-q_2)$.

Изменение заряда на правой обкладке конденсатора $\Delta q = (-q_2) - q_1 = -\dfrac{C\mathscr{E}\cdot(R_1 + R_2)}{r + R_1 + R_2}$, откуда:

$$C = \frac{(-\Delta q)\cdot(r + R_1 + R_2)}{\mathscr{E}\cdot(R_1 + R_2)} = \frac{0{,}85\cdot 10^{-6}\cdot(1+7+10)}{4{,}5\cdot(7+10)} = 0{,}2\cdot 10^{-6}\ \Phi.$$

Ответ: $C = 0{,}2$ мкФ.

81. *Возможное решение.*

Обозначим напряжение на конденсаторе после перевода ключа в положение 1 через U_1; после перевода ключа в положение 2 — через U_2. Поскольку энергия W конденсатора, заряженного до напряжения U, $W = CU^2/2$, то отношение энергии кон-

денсатора при положении ключа 2 к энергии конденсатора при положении 1 ключа $n = \dfrac{W_2}{W_1} = \dfrac{CU_2^2/2}{CU_1^2/2} = \dfrac{U_2^2}{U_1^2}$.

Пусть сила тока, текущего через резисторы, равна I. При этом напряжения U_1 и U_2 на конденсаторе равны напряжениям на соответствующих участках цепи, имеющих сопротивления R_1 и $R_1 + R_2$. На основании закона Ома для участка цепи получаем: $U_1 = IR_1$ и $U_2 = I \cdot (R_1 + R_2)$.

Следовательно,

$$n = \frac{U_2^2}{U_1^2} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)^2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)^2 = (1+3)^2 = 16.$$

Ответ: $n = 16$.

82. *Возможное решение.*

Обозначим напряжение на конденсаторе после перевода ключа в положение 1 через U_1; после перевода ключа в положение 2 — через U_2. Поскольку энергия W конденсатора, заряженного до напряжения U, $W = CU^2/2$, то отношение энергии конденсатора при положении ключа 1 к энергии конденсатора при положении 2 ключа $n = \dfrac{W_1}{W_2} = \dfrac{CU_1^2/2}{CU_2^2/2} = \dfrac{U_1^2}{U_2^2}$.

Пусть сила тока, текущего через резисторы, равна I. При этом напряжения U_1 и U_2 на конденсаторе равны напряжениям на соответствующих участках цепи, имеющих сопротивления $R_1 + R_2$ и R_1. На основании закона Ома для участка цепи получаем: $U_1 = I(R_1 + R_2)$ и $U_2 = IR_1$.

Следовательно,

$$n = \frac{U_1^2}{U_2^2} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right)^2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)^2 = \left(1 + \frac{1}{2}\right)^2 = 1{,}5^2 = 2{,}25.$$

Ответ: $n = 2{,}25$.

83. *Возможное решение.*

До размыкания ключа электрический ток протекает через параллельно соединённые лампу и резистор. Общее сопротивление внешней цепи равно $R_0 = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \dfrac{30 \cdot 20}{30 + 20} = 12$ Ом,

где R_1 — сопротивление лампы, R_2 — сопротивление резистора. Согласно закону Ома для полной цепи $I = \dfrac{\mathcal{E}}{R_0 + r} = \dfrac{45}{12+3} = 3$ А. При этом напряжение на конденсаторе равно $U = IR_0 = 3 \cdot 12 = 36$ В. Таким образом, до размыкания ключа в конденсаторе была накоплена энергия $W = \dfrac{CU^2}{2} = \dfrac{250 \cdot 10^{-6} \cdot 36^2}{2} = 162 \cdot 10^{-3}$ Дж = 162 мДж.

После размыкания ключа вся энергия, накопленная в конденсаторе, будет выделяться на параллельно включённых лампе и резисторе. Согласно закону Джоуля—Ленца, количество теплоты q, выделяющееся за короткий промежуток времени Δt, обратно пропорционально сопротивлению, поскольку напряжение u на лампе и резисторе хотя и уменьшается с течением времени, но в любой момент времени на обоих элементах одинаково: $q_1 = \dfrac{u^2}{R_1} \cdot \Delta t$, $q_2 = \dfrac{u^2}{R_2} \cdot \Delta t \Rightarrow \dfrac{q_2}{q_1} = \dfrac{R_1}{R_2}$.

Поэтому то же самое отношение справедливо и для полного количества теплоты Q_1, выделяемого на лампе и Q_2 на резисторе:

$\dfrac{Q_2}{Q_1} = \dfrac{R_1}{R_2}$ и, кроме того, $W = Q_1 + Q_2$.

Окончательно получим для количества теплоты, выделившегося на резисторе:

$$Q_2 = \frac{WR_1}{R_1 + R_2} = \frac{162 \cdot 10^{-3} \cdot 30}{30 + 20} = 97{,}2 \cdot 10^{-3} = 97{,}2 \text{ мДж}.$$

Ответ: $Q_2 = 97{,}2$ мДж.

84. *Возможное решение.*

До размыкания ключа электрический ток протекает через последовательно соединённые лампу и резистор. Общее сопротивление внешней цепи равно $R_0 = R_1 + R_2 = 15 + 10 = 25$ Ом, где R_1 — сопротивление лампы, R_2 — сопротивление резистора. Согласно закону Ома для полной цепи $I = \dfrac{\mathcal{E}}{R_0 + r} = \dfrac{6}{25+5} = 0{,}2$ А. При этом напряжение на конден-

саторе равно $U = IR_0 = 0{,}2 \cdot 25 = 5$ В. Таким образом, до размыкания ключа в конденсаторе была накоплена энергия $W = \dfrac{CU^2}{2} = \dfrac{400 \cdot 10^{-6} \cdot 5^2}{2} = 5 \cdot 10^{-3}$ Дж = 5 мДж.

После размыкания ключа вся энергия, накопленная в конденсаторе, будет выделяться на последовательно включённых лампе и резисторе. Согласно закону Джоуля—Ленца, количество теплоты q, выделяющееся за короткий промежуток времени Δt, прямо пропорционально сопротивлению, сила тока i в лампе и резисторе хотя и уменьшается с течением времени, но в любой момент времени в обоих элементах одна и та же:

$$q_1 = i^2 \cdot R_1 \cdot \Delta t, \quad q_2 = i^2 \cdot R_2 \cdot \Delta t \;\Rightarrow\; \frac{q_2}{q_1} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Поэтому то же самое отношение справедливо и для полного количества теплоты Q_1, выделяемого на лампе и Q_2 на резисторе:

$\dfrac{Q_2}{Q_1} = \dfrac{R_2}{R_1}$ и, кроме того, $W = Q_1 + Q_2$.

Окончательно получим для количества теплоты, выделившегося на лампе: $Q_1 = \dfrac{WR_1}{R_1 + R_2} = \dfrac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 15}{15 + 10} = 3 \cdot 10^{-3} = 3$ мДж.

Ответ: $Q_1 = 3$ мДж.

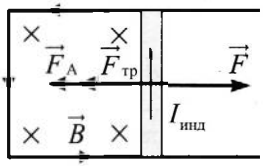
2. Электродинамика (Электромагнитное поле)

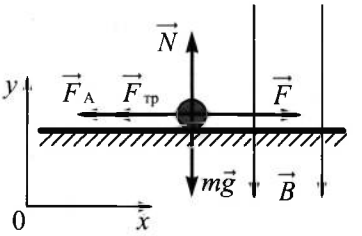
2.1. Задачи с кратким ответом

1.	0 Н.	**2.**	5 А.	**3.**	1 Тл.	**4.**	0,6 Н.
5.	0,4 Н.	**6.**	1 мм^2.	**7.**	10 А.	**8.**	В 3 раз(а).
9.	5 А.	**10.**	0,4 м.	**11.**	0,2 кг.	**12.**	10 А.
13.	0,08 м.	**14.**	500 мТл.	**15.**	10 см.	**16.**	0,5.
17.	0,5.	**18.**	4.	**19.**	16.	**20.**	1.
21.	0,5.	**22.**	2.	**23.**	0,2 Тл.	**24.**	18 см.
25.	0,8 Тл.	**26.**	0,1 Вб.	**27.**	0,5 Тл.	**28.**	0,05 В.
29.	0,08 В.	**30.**	10 А.	**31.**	3 с.	**32.**	0,05 Тл/с.
33.	1 мА.	**34.**	1 м/с.	**35.**	10 мА.	**36.**	0,4 Тл.
37.	1,5 А.	**38.**	0,3 А.	**39.**	3,75 мкДж.	**40.**	2,5 мкДж.
41.	32 мГн.	**42.**	1,6 мА.	**43.**	20 нДж.	**44.**	32 нДж.
45.	5,1 нКл.	**46.**	0,4 нФ.	**47.**	16,0 нДж.	**48.**	1 мкКл.
49.	6 мА.	**50.**	1 А.	**51.**	80 %.	**52.**	0,3 м.
53.	2 м.	**54.**	16 м^2.	**55.**	6 м.	**56.**	1,5 м.
57.	3 см.	**58.**	60 см.	**59.**	12 см.	**60.**	25 см.
61.	15 см.	**62.**	20 см.	**63.**	60 см.	**64.**	390 см.
65.	9 мм.	**66.**	2.	**67.**	1,58.	**68.**	$1{,}9 \cdot 10^8$ м/с.
69.	1,5.	**70.**	1,4.	**71.**	435 нм.	**72.**	1,5.
73.	682 нм.	**74.**	1,55.	**75.**	440 нм.	**76.**	500 нм.
77.	1.	**78.**	2.	**79.**	4 см.	**80.**	0,5 мкм.
81.	450 нм.						

2.2. Задачи с развёрнутым ответом

1. *Возможное решение.*





При движении перемычки в однородном магнитном поле на её концах возникает ЭДС электромагнитной индукции: $\mathcal{E} = BVl$, где B — индукция магнитного поля; V и l — соответственно скорость и длина перемычки. Согласно закону Ома для полной цепи в замкнутом контуре возникает индукционный ток: $I_{инд} = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{BVl}{R}$, где R — сопротивление перемычки. Поскольку скорость перемычки постоянна, то ЭДС и индукционный ток также будут постоянными. Согласно правилу Ленца индукционный ток, возникающий в контуре, будет направлен так, чтобы своим магнитным полем препятствовать увеличению магнитного потока при движении перемычки, т. е. против часовой стрелки (см. рис.). Благодаря появлению индукционного тока на перемычку со стороны магнитного поля начнёт действовать сила Ампера, направленная согласно правилу левой руки в противоположную движению сторону: $F_A = BI_{инд}l = \frac{B^2l^2V}{R}$.

На перемычку действуют пять сил: сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции опоры $\vec{N}$, сила трения $\vec{F}_{тр}$, сила Ампера $\vec{F}_A$ и сила $\vec{F}$, приложенная к перемычке (см. рис). Перемычка движется с постоянной скоростью, поэтому её ускорение равно нулю. Второй закон Ньютона в проекциях имеет вид:

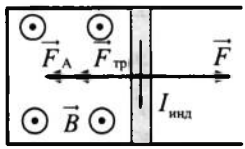
$0x$: $0 = F - F_{тр} - F_A$; $0y$: $0 = N - mg$.

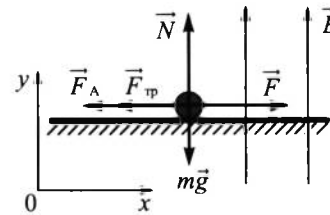
Сила трения скольжения $F_{тр} = \mu N = \mu mg$. В итоге получаем:

$$V = \frac{(F - \mu mg)\cdot R}{(Bl)^2} = \frac{(1{,}13 - 0{,}25\cdot 0{,}092\cdot 10)\cdot 0{,}1}{(0{,}15\cdot 1)^2} = 4 \text{ м/с}.$$

Ответ: $V = 4$ м/с.

2. *Возможное решение.*





При движении перемычки в однородном магнитном поле на её концах возникает ЭДС электромагнитной индукции: $\mathcal{E} = BVl$, где B — индукция магнитного поля; V и l — соответственно скорость и длина перемычки. Согласно закону Ома для полной цепи в замкнутом контуре возникает индукционный ток: $I_{инд} = \dfrac{\mathcal{E}}{R} = \dfrac{BVl}{R}$, где R — сопротивление перемычки. Поскольку скорость перемычки постоянна, то ЭДС и индукционный ток также будут постоянными. Согласно правилу Ленца индукционный ток, возникающий в контуре, будет направлен так, чтобы своим магнитным полем препятствовать увеличению магнитного потока при движении перемычки (см. рис.). Благодаря появлению индукционного тока на перемычку со стороны магнитного поля начнёт действовать сила Ампера, направленная согласно правилу левой руки в противоположную движению сторону:

$$F_A = BI_{инд}l = \frac{B^2l^2V}{R}.$$

На перемычку действуют пять сил: сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции опоры $\vec{N}$, сила трения $\vec{F}_{тр}$, сила Ампера $\vec{F}_A$ и сила $\vec{F}$, приложенная к перемычке (см. рис.). Перемычка движется с постоянной скоростью, поэтому её ускорение равно нулю. Второй закон Ньютона в проекциях имеет вид:

$0x$: $0 = F - F_{тр} - F_A$;

$0y$: $0 = N - mg$.

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

В итоге получаем:

$$R = \frac{V \cdot (Bl)^2}{F - \mu mg} = \frac{4 \cdot (0{,}1 \cdot 1{,}5)^2}{1{,}13 - 0{,}25 \cdot 0{,}092 \cdot 10} = 0{,}1 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 0{,}1$ Ом.

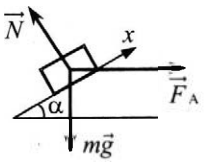
3. *Возможное решение.*

На рисунке показаны силы, действующие на стержень с током:

— сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз;

— сила реакции опоры $\vec{N}$, направленная перпендикулярно к наклонной плоскости;

— сила Ампера $\vec{F}_A$, направленная горизонтально вправо, что вытекает из условия задачи.



Модуль силы Ампера $F_A = IBL$, где L — длина стержня.

Систему отсчёта, связанную с наклонной плоскостью, считаем инерциальной.

Для решения задачи достаточно записать второй закон Ньютона в проекциях на ось x (см. рис.):

$ma_x = -mg \sin\alpha + IBL \cos\alpha$,

где m — масса стержня.

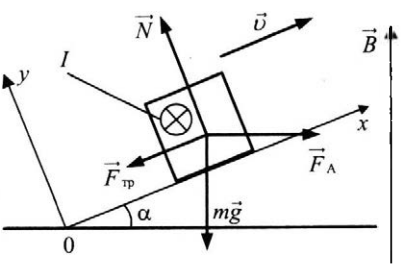
Отсюда находим $I = \dfrac{m}{L} \cdot \dfrac{(a_x + g \cdot \sin\alpha)}{B \cdot \cos\alpha}$.

Ответ: $I \approx 4$ А.

4. *Ответ*: $a = 1{,}9$ м /с^2.

5. *Возможное решение.*

На проводник с током со стороны магнитного поля действует сила Ампера, равная по модулю $F_A = IBL$ и направленная горизонтально, перпендикулярно проводнику.



Силы, действующие на проводник, показаны на рисунке. Считая систему отсчёта, связанную с наклонной плоскостью, инерциальной, запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси $0x$ и $0y$ (см. рис.):

$0x$: $F_A \cdot \cos\alpha - mg \cdot \sin\alpha - F_{тр} = 0$, (1)

$0y$: $N - mg \cdot \cos\alpha - F_A \cdot \sin\alpha = 0$. (2)

Брусок скользит по наклонной плоскости, поэтому

$F_{тр} = \mu N$. (3)

Решаем систему уравнений (1) – (3).

Из уравнения (2) выражаем N, подставляем полученное выражение в уравнение (3) и получаем выражение для $F_{тр}$. Подставив его в (1), получаем уравнение для F_A:

$F_A \cdot \cos\alpha - mg \cdot \sin\alpha - \mu mg \cdot \cos\alpha - \mu F_A \cdot \sin\alpha = 0$

с решением $F_A = IBL = mg\dfrac{\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu \cdot \sin\alpha}$,

откуда $B = \dfrac{mg}{IL} \cdot \dfrac{\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha}{\cos\alpha - \mu \cdot \sin\alpha} \approx 0{,}04$ (Тл).

Ответ: $B \approx 0{,}04$ Тл.

6. *Ответ*: $I = 11$ А.

7. *Возможное решение.*

По рамке течёт ток I. Пусть модуль вектора магнитной индукции равен B. На стороны рамки действует сила Ампера.

На сторону AD: $F_{A1} = IaB \cdot \sin(\pi - \alpha) = \dfrac{1}{2} \cdot IaB$, где $\alpha = 30°$;

На сторону AC: $F_{A2} = IaB \cdot \sin\alpha = \dfrac{1}{2} \cdot IaB$;

На сторону CD: $F_{A3} = IaB$.

Суммарный момент этих сил относительно оси CD:

$$M_A = F_{A1} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{4} + F_{A2} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{4} = \frac{\sqrt{3} \cdot Ia^2B}{4}.$$

Момент силы тяжести: $M_{mg} = -\dfrac{mga}{2\sqrt{3}}$.

Условия отрыва: $M_A + M_{mg} \geq 0$, $\dfrac{\sqrt{3}Ia^2B}{4} \geq \dfrac{mga}{2\sqrt{3}}$.

Отсюда $B \geq \dfrac{2mg}{3aI}$. Допускается ответ в виде равенства.

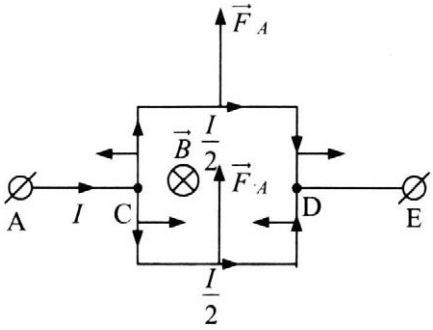
Ответ: $B \geq \dfrac{2mg}{3aI}$.

8. *Ответ*: $I \geq mg / 2aB$.

9. *Возможное решение.*

В точке C ток I разделится на два одинаковых по силе тока: $I_1 = \frac{I}{2}$, так как сопротивление обеих половин рамки одинаково.

На каждый из участков прямого провода будет действовать своя сила Ампера, перпендикулярная направлению тока и вектору магнитной индукции. Направление силы Ампера, действующей на проводник с током, определим по правилу левой руки (см. рис.).



Так как $F_A = I_1 Bl$, где l — длина проводника, то силы, действующие на вертикальные стороны рамки, компенсируют друг друга, а силы, действующие на горизонтальные стороны, складываются, так как они сонаправлены друг другу.

Окончательно получим:

$$F = 2F_A = 2 \cdot \frac{I}{2} \cdot BL = IBL = 1{,}5 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}2 = 0{,}06 \text{ Н},$$

где L — длина стороны рамки.

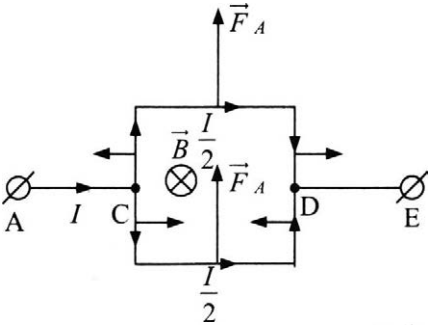
Ответ: $F = 0{,}06$ Н.

10. *Возможное решение.*

Согласно закону Ома для участка цепи в точке C ток I разделится на два одинаковых по силе тока: $I_1 = \frac{I}{2}$, так как сопротивление обеих половин рамки одинаково.

На каждый из участков прямого провода будет действовать своя сила Ампера, перпендикулярная направлению тока и век-

тору магнитной индукции. Направление силы Ампера, действующей на проводник с током, определим по правилу левой руки (см. рис.).



Так как $F_A = I_1 BL$, где L — длина проводника, то силы, действующие на вертикальные стороны рамки, компенсируют друг друга, а силы, действующие на горизонтальные стороны, складываются, так как они сонаправлены друг другу: $F = 2F_A = 2 \cdot \frac{I}{2} \cdot Bl = IBl$, где l — длина стороны рамки.

Окончательно получим: $B = \frac{F}{Il} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{2{,}5 \cdot 0{,}1} = 0{,}3$ Тл.

Ответ: $B = 0{,}3$ Тл.

11. *Возможное решение.*

При протекании тока по стержню, находящемуся в магнитном поле, на него действует сила Ампера $F = IBl = 0{,}1$ Н, направленная горизонтально.

В соответствии со вторым законом Ньютона сила Ампера вызывает горизонтальное ускорение стержня, которое в начальный момент равно $a = \frac{F}{m} = \frac{IBl}{m} = 10$ м/с^2.

За время действия силы Ампера $t = 0{,}1$ с стержень переместится на малое расстояние. Горизонтальная составляющая суммы сил натяжения нитей R при этом не влияет на движение стержня в горизонтальном направлении, и это движение можно считать равноускоренным. Следовательно, скорость стержня в момент выключения тока можно вычислить по формуле $\upsilon = at = \frac{IBl}{m} \cdot t$.

Ответ: $\upsilon = 1$ м/с.

12. *Возможное решение.*

При протекании тока по стержню, находящемуся в магнитном поле, на него действует сила Ампера $F = IBl$, направленная горизонтально.

В соответствии со вторым законом Ньютона сила Ампера вызывает горизонтальное ускорение стержня, которое в начальный момент $a = \frac{F}{m} = \frac{IBl}{m}$.

Так как отклонение нитей от вертикали за время протекания тока мало, они не влияют на горизонтальное ускорение стержня, которое в этом случае постоянно и равно начальному. За время действия силы Ампера $t = 0{,}1$ с равноускоренно движущийся стержень приобретет скорость $\upsilon = a_x t = \frac{IBl}{m} \cdot t$ и кинетическую энергию $E_{\text{кин}} = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{(IBlt)^2}{2m}$.

Отсюда: $I = \frac{\sqrt{2mE}}{Blt} = \frac{\sqrt{2 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}005}}{0{,}1 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}1} = 10$ А.

Ответ: $I = 10$ А.

13. *Возможное решение.*

Изменение кинетической энергии протона при движении протона в электрическом поле конденсатора: $\frac{m\upsilon^2}{2} = eU$.

В соответствии со вторым законом Ньютона, уравнение движения протона в магнитном поле: $\frac{m\upsilon^2}{R} = Be\upsilon$.

Решив систему уравнений, получаем $B = \sqrt{\frac{2mU}{eR^2}}$.

Ответ: $B \approx 34$ мТл.

14. *Возможное решение.*

Второй закон Ньютона для движения электрона по окружности в однородном магнитном поле $Be\upsilon = \frac{m\upsilon^2}{R}$ или $\upsilon = \frac{BeR}{m}$.

Формула периода движения электрона по окружности $T = \frac{2\pi R}{\upsilon}$ или $T = \frac{2\pi m}{Be}$.

Формула для вычисления пути, пройденного электроном к тому моменту, когда вектор его скорости повернётся на 1°:

$s = \upsilon t$, где $t = \dfrac{T}{360}$.

Ответ: $s = \dfrac{\pi m \upsilon}{Be \cdot 180} = 0{,}01$ мм.

15. *Возможное решение.*

Второй закон Ньютона для движения тела по окружности в однородном магнитном поле: $Bq\upsilon = \dfrac{m\upsilon^2}{R}$ или $\upsilon = \dfrac{BqR}{m}$.

Формула периода движения по окружности:

$T = \dfrac{2\pi R}{\upsilon}$ или $T = \dfrac{2\pi m}{Bq}$.

Формула для вычисления пути, пройденного телом массы m к тому моменту, когда вектор его скорости повернётся на 1°:

$s = \upsilon t$, где $t = \dfrac{T}{360}$.

Ответ: $s = \dfrac{\pi m \upsilon}{Bq \cdot 180} \approx 29$ км.

16. *Возможное решение.*

Кинетическая энергия иона при входе в магнитное поле

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = qU, \qquad (1)$$

где m, υ и q — соответственно масса, скорость и заряд иона.

В магнитном поле на ион действует сила Лоренца, перпендикулярная скорости иона и вектору магнитной индукции $F_Л = q\upsilon B$, придающая ему центростремительное ускорение $a_Ц = \dfrac{\upsilon^2}{R}$.

Получаем: $q\upsilon B = m \cdot \dfrac{\upsilon^2}{R}$. (2)

Решая систему уравнений (1) и (2), находим:

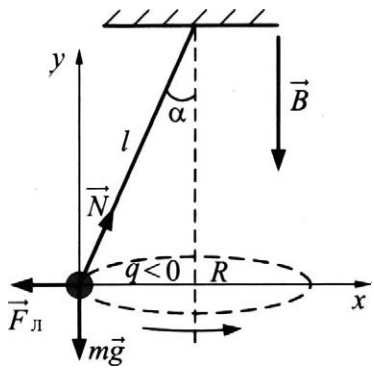
$$\frac{m}{q} = \frac{R^2B^2}{2U} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^4} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}.$$

Ответ: $\dfrac{m}{q} = 5 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

17. *Ответ*: $B = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{2U \cdot \frac{m}{q}} = \frac{1}{0{,}2} \cdot \sqrt{2 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-7}} = 0{,}5$ Тл.

18. *Возможное решение.*

На шарик действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила натяжения нити $\vec{N}$ и сила Лоренца $\vec{F}_{\text{Л}}$ (см. рис.).



Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси координат инерциальной системы отсчета, связанной с Землёй:

$$\begin{cases} N \cdot \sin\alpha - |q|\upsilon B = \dfrac{m\upsilon^2}{R}, \\ N \cdot \cos\alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Выражая N, получим: $mg \cdot \operatorname{tg}\alpha = \dfrac{m\upsilon^2}{R} + |q|\upsilon B.$

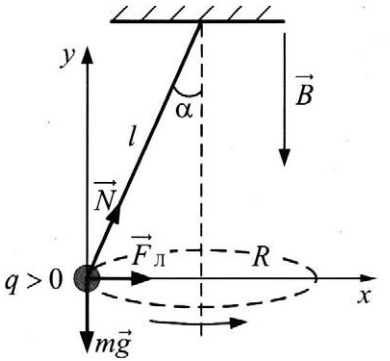
Так как $R = l \cdot \sin\alpha$, получим

Ответ: $q = -|q| = -\dfrac{m}{B} \cdot \left(\dfrac{g}{\upsilon} \cdot \operatorname{tg}\alpha - \dfrac{\upsilon}{l \cdot \sin\alpha} \right).$

19. *Ответ*: $m = \dfrac{qB}{\dfrac{\upsilon}{l \cdot \sin\alpha} - \dfrac{g}{\upsilon} \cdot \operatorname{tg}\alpha}$

20. *Возможное решение.*

На шарик действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила натяжения нити $\vec{N}$ и сила Лоренца $\vec{F}_{\text{Л}}$ (см. рис.).



Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси координат инерциальной системы отсчёта, связанной с Землёй. Учтём, что $F_Л = q\upsilon B$. Тогда:

$$\begin{cases} N \cdot \sin\alpha + q\upsilon B = \dfrac{m\upsilon^2}{R}, \\ N \cdot \cos\alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Решим полученную систему:

$$mg \cdot \operatorname{tg}\alpha = \frac{m\upsilon^2}{R} - q\upsilon B.$$

Учитывая, что $R = l \cdot \sin\alpha$, получим выражение для удельного заряда:

$$\frac{q}{m} = \frac{1}{B} \cdot \left(\frac{\upsilon}{l \cdot \sin\alpha} - \frac{g}{\upsilon} \cdot \operatorname{tg}\alpha \right).$$

Ответ: $\dfrac{q}{m} = \dfrac{1}{B} \cdot \left(\dfrac{\upsilon}{l \cdot \sin\alpha} - \dfrac{g}{\upsilon} \cdot \operatorname{tg}\alpha \right)$.

21. *Возможное решение.*

Сила, действующая на заряд со стороны электрического поля, направлена противоположно вектору $\vec{E}$. Величина силы определяется формулой $F_1 = |q|E$.

Сила Лоренца, действующая на заряд со стороны магнитного поля, направлена по правилу левой руки перпендикулярно плоскости чертежа «от нас». Величина силы определяется формулой $F_2 = |q|\upsilon B \cdot \sin\alpha$. Величина результирующей силы $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$.

$$F = |q| \cdot \sqrt{E^2 + (\upsilon B \cdot \sin\alpha)^2} =$$

$$= 1{,}5 \cdot 10^{-12} \cdot \sqrt{1200^2 + \left(10^5 \cdot 0{,}03 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2} \approx 3{,}7 \cdot 10^{-9} \text{ Н}.$$

Ответ: $F \approx 3{,}7 \cdot 10^{-9}$ Н.

22. *Ответ*: $F \approx 6{,}1 \cdot 10^{-9}$ Н.

23. *Возможное решение.*

При пересечении рамкой границы области поля со скоростью υ изменяющийся магнитный поток создаёт ЭДС индукции $|\mathscr{E}_{\text{инд}}| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \upsilon Bb$. Сила тока в это время $I = \frac{|\mathscr{E}_{\text{инд}}|}{R} = \frac{\upsilon Bb}{R}$.

При этом возникает тормозящая сила Ампера: $F_{\text{А}} = IBb = \upsilon \cdot \frac{(Bb)^2}{R}$, равная по модулю внешней силе: $F = F_{\text{А}}$.

Ток течёт в рамке только во время изменения магнитного потока, т. е. при входе в пространство между полюсами и при выходе. За это время рамка перемещается на расстояние $x = 2b$, а приложенная внешняя сила совершает работу $A = F \cdot x = 2Fb$.

Для сопротивления получим:

$$R = 2\upsilon \cdot \frac{B^2 b^3}{A} = 2 \cdot 1 \cdot \frac{1 \cdot 125 \cdot 10^{-6}}{2{,}5 \cdot 10^{-3}} = 0{,}1 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 0{,}1$ Ом.

24. *Ответ*: $B = \sqrt{\frac{AR}{2\upsilon b^3}} = \sqrt{\frac{2{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}1}{2 \cdot 1 \cdot 125 \cdot 10^{-6}}} = 1$ Тл.

25. *Возможное решение.*

ЭДС индукции в проводнике, движущемся в однородном магнитном поле $\mathscr{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

Изменение магнитного потока за малое время Δt равно $\Delta\Phi = B\Delta S$, где площадь ΔS определяется произведением длины проводника l на его перемещение Δx за время Δt т. е. $\Delta\Phi = Bl\Delta x$.

Следовательно, $|\mathscr{E}| = \dfrac{Bl\Delta x}{\Delta t} = Bl\upsilon$, где υ — скорость движения проводника.

В конце пути длиной x скорость проводника $\upsilon = \sqrt{2ax}$ (a — ускорение), так что $|\mathscr{E}| = Bl \cdot \sqrt{2ax}$,

отсюда $B = \dfrac{|\mathscr{E}|}{l \cdot \sqrt{2ax}} = 0{,}5$ Тл.

Ответ: 0,5 Тл.

26. *Ответ*: $l = \dfrac{|\mathscr{E}|}{B \cdot \sqrt{2ax}} = 1$ м.

27. *Возможное решение.*

Пользуемся общей формулой для ЭДС индукции в движущемся проводнике:

$$|\mathscr{E}| = \upsilon BL \cdot \sin(90° - \alpha) = \upsilon BL \cdot \cos\alpha, \qquad (1)$$

где α — угол между направлением вектора индукции и нормалью к поверхности наклонной плоскости.

Скорость проводника в конечном положении находится из закона сохранения механической энергии:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = mgh = mgl \cdot \sin\alpha,$$

откуда $\upsilon = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl \cdot \sin\alpha}$. (2)

Из (1) и (2) находим:

$$B = \frac{\mathscr{E}}{L \cdot \cos\alpha \cdot \sqrt{2gl \cdot \sin\alpha}} = \frac{0{,}2}{0{,}3 \cdot 0{,}866 \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}5}} \approx 0{,}19 \text{ Тл}.$$

Ответ: $B \approx 0{,}19$ Тл.

28. *Возможное решение.*

Пользуемся общей формулой для ЭДС индукции в движущемся проводнике:

$$|\mathscr{E}| = \upsilon BL \cdot \sin(90° - \alpha) = \upsilon BL \cdot \cos\alpha, \qquad (1)$$

где α — угол между направлением вектора индукции и нормалью к поверхности наклонной плоскости.

Скорость проводника в конечном положении находится из закона сохранения механической энергии:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = mgh = mgl \cdot \sin\alpha,$$

откуда $\upsilon = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl \cdot \sin\alpha}$. (2)

Из (1) и (2) находим:

$$\mathscr{E} = BL \cdot \cos\alpha \cdot \sqrt{2gl \cdot \sin\alpha} =$$

$$= 0{,}2 \cdot 0{,}25 \cdot 0{,}866 \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}5} \approx 0{,}13 \text{ Тл}.$$

Ответ: $B \approx 0{,}13$ Тл.

29. *Возможное решение.*

Выражение для модуля ЭДС индукции в случае однородного поля:

$\mathscr{E} = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \frac{S\Delta B_Z}{\Delta t}$, где S — площадь фигуры; $\Delta B_Z = B_{2Z} - B_{1Z}$.

Закон Ома: $\mathscr{E} = IR$, где R — сопротивление контура; $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ — ток в контуре за время Δt изменения магнитного поля.

Выражение для заряда, протекающего по цепи:

$$\Delta q = I\Delta t = \frac{S}{R} \cdot (B_{2Z} - B_{1Z}).$$

$$B_{1Z} = B_{2Z} - \frac{R\Delta q}{S} = 4{,}7 - \frac{5 \cdot 0{,}08}{0{,}1} = 0{,}7 \text{ Тл}.$$

Ответ: $B_{1Z} = 0{,}7$ Тл.

30. *Ответ*: $\Delta q = I\Delta t = \frac{S}{R} \cdot (B_{2Z} - B_{1Z}) = \frac{0{,}1 \cdot (4{,}7 - 0{,}7)}{5} = 0{,}08$ Кл.

31. *Возможное решение.*

Силы Ампера $\vec{F}_A$ действуют только на стороны рамки, параллельные оси OO_1.

Их суммарный момент $M = 2F_A \cdot \frac{a}{2} = F_A \cdot a = IBha$, (1)

где B — модуль индукции магнитного поля, a — длина горизонтальной стороны рамки, h — длина стороны рамки, параллельной оси OO_1.

Начнём поворот рамки вокруг оси OO_1, отодвигая, например, от нас левую сторону рамки и придвигая к нам её правую сто-

рону. При повороте рамки в магнитном поле в ней возникает индукционный ток. В нашем случае он течёт в рамке по часовой стрелке. Рассмотрим очередной (k-й) фрагмент движения рамки: поворот за малое время Δt на малый угол $\Delta\alpha$. По рамке течёт ток.

$I_{k\,\text{инд}} = \dfrac{|\mathscr{E}_{k\,\text{инд}}|}{R} = \dfrac{|\Delta\Phi_k|}{R \cdot \Delta t}$, где $\Delta\Phi_k$ — изменение магнитного потока через площадь рамки на k-м шаге.

Заряд, протекший через рамку за время Δt:

$$\Delta q_k = I_{k\,\text{инд}} \cdot \Delta t = \frac{|\Delta\Phi_k|}{R}.$$

За время поворота на 90° суммарное изменение магнитного потока через площадку, ограниченную рамкой, составит $\Delta\Phi = BS$ где $S = ah$ — площадь рамки. Заряд, протёкший за это время через рамку, будет равен сумме слагаемых Δq_k и поэтому будет равен $q_1 = \dfrac{|\Delta\Phi|}{R} = \dfrac{BS}{R}$.

Продолжим поворот рамки в ту же сторону. После 90° левая сторона рамки окажется правее её первоначально правой стороны. Поэтому направление тока относительно рамки изменится на противоположное. Но модуль заряда q_2, прошедшего по рамке при повороте от 90° до 180°, будет таким же, что и q_1, т. е. $|q_2| = q_1$. Поэтому будем считать, что за время поворота от 0 до до 180° по рамке протёк заряд

$q = q_1 + |q_2| = 2q_1 = 2 \cdot \dfrac{BS}{R}$, но половина этого заряда прошла по рамке в одну сторону, а другая — в противоположную.

Используя формулу (1) ($M = IBah = IBS$),

получим: $q = \dfrac{2M}{RI} = \dfrac{2 \cdot 1{,}5}{5 \cdot 0{,}25} = 2{,}4$ Кл.

Ответ: $q = 2{,}4$ Кл.

32. *Возможное решение.*

Силы Ампера F_A действуют только на стороны рамки, параллельные оси OO_1.

Их суммарный момент $M = 2F_A \cdot \dfrac{a}{2} = F_A \cdot a = IBha,$ (1)

где B — модуль индукции магнитного поля, a — длина горизонтальной стороны рамки, h — длина стороны рамки, параллельной оси OO_1.

Начнём поворот рамки вокруг оси OO_1, отодвигая, например, от нас левую сторону рамки и придвигая к нам её правую сторону. При повороте рамки в магнитном поле в ней возникает индукционный ток. В нашем случае он течёт в рамке по часовой стрелке. Рассмотрим очередной (k-й) фрагмент движения рамки: поворот за малое время Δt на малый угол $\Delta\alpha$. По рамке течёт ток.

$$I_{k\,\text{инд}} = \frac{\left|\mathcal{E}_{k\,\text{инд}}\right|}{R} = \frac{\left|\Delta\Phi_k\right|}{R \cdot \Delta t},$$

где $\Delta\Phi_k$ — изменение магнитного потока через площадь рамки на k-м шаге.

Заряд, протекший через рамку за время Δt:

$$\Delta q_k = I_{k\,\text{инд}} \cdot \Delta t = \frac{\left|\Delta\Phi_k\right|}{R}.$$

За время поворота на 90° суммарное изменение магнитного потока через площадку, ограниченную рамкой, составит $\Delta\Phi = BS$ где $S = ah$ — площадь рамки. Заряд, протёкший за это время через рамку, будет равен сумме слагаемых Δq_k и поэтому будет равен $q_1 = \frac{\left|\Delta\Phi\right|}{R} = \frac{BS}{R}$.

Используя формулу (1) ($M = IBah = IBS$),

получим: $q = \frac{M}{RI} = \frac{1{,}5}{0{,}25 \cdot 7{,}5} = 0{,}8$ Кл.

Ответ: $q = 0{,}8$ Кл.

33. *Возможное решение.*

ЭДС индукции в кольце $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

Изменение магнитного потока за время Δt: $\Delta\Phi = \Delta(BS)$, где S (площадь кольца) постоянна и равна $\frac{\pi D^2}{4}$.

Следовательно, $\left|\mathcal{E}\right| = S\left|\frac{\Delta B}{\Delta t}\right|$.

По закону Ома для участка цепи $|\mathcal{E}| = IR = I\frac{\rho l}{S_{\text{пр}}}$, где $S_{\text{пр}} = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь поперечного сечения медного провода, длина кольца $l = \pi D$.

Возникающий в проводнике индукционный ток $I = \left|\frac{\Delta B}{\Delta t}\right| \cdot \frac{\pi D d^2}{16\rho}$.

Отсюда диаметр медного кольца $D = \frac{16I\rho}{\pi d^2 \left|\frac{\Delta B}{\Delta t}\right|}$.

Ответ: $D \approx 0{,}2$ м.

34. *Ответ*: $\left|\frac{\Delta B}{\Delta t}\right| = \frac{16I\rho}{\pi d^2 D} \approx 1$ Тл/с.

35. *Возможное решение.*

При изменении пронизывающего контур магнитного поля в проводящем контуре возникает ЭДС электромагнитной индукции $\mathcal{E}$, а соответственно, и электрический ток. Согласно закону Ома сила тока $i = \frac{\mathcal{E}}{R}$; согласно закону электромагнитной индукции ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока сквозь контур: $\mathcal{E} = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$. В нашем случае $\Phi = BS$, так что $\mathcal{E} = -S\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t}$.

Следовательно, $i = -\frac{S}{R} \cdot \frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} = \frac{S}{R} ab \sin(bt)$.

Согласно полученной формуле сила тока в контуре колеблется, и амплитуда этих колебаний $i_{\text{м}} = \frac{Sab}{R}$.

Следовательно, $S = \frac{Ri_{\text{м}}}{ab} = \frac{1{,}2 \cdot 35 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3} \cdot 3500} = 2 \cdot 10^{-3}$ м^2.

Ответ: $S = 2 \cdot 10^{-3}$ м^2.

36. *Ответ*: $R = \frac{Sab}{i_{\text{м}}} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 3500}{35 \cdot 10^{-3}} = 1{,}2$ Ом.

37. *Возможное решение.*

Когда правый проводник покоится, на левый действует сила Ампера $F = IBl$, где $I = \frac{\mathcal{E}_{\text{инд}}}{R}$ — индукционный ток, R — сопротивление цепи, l — расстояние между рельсами. Поскольку силу Ампера надо уменьшить втрое, ЭДС индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -B\frac{\Delta S}{\Delta t}$ в контуре надо в три раза уменьшить. Значит, скорость изменения площади, ограниченной контуром, также должна быть меньше в три раза. Отсюда следует, что правый проводник должен, как и левый, двигаться вправо, причём его скорость должна быть равна $\upsilon = \frac{2}{3}V$.

Ответ: $\upsilon = \frac{2}{3}V$.

38. *Ответ*: Правый проводник должен, как и левый, двигаться вправо, причём его скорость должна быть равна $0{,}5V$.

39. *Возможное решение.*

При движении перемычки в ней возникает ЭДС

$\mathcal{E} = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = Bl\upsilon$.

Закон Ома для замкнутой цепи $abcd$: $I = \frac{\mathcal{E}}{4R} = \frac{Bl\upsilon}{4R}$,

где R — сопротивление перемычки ab.

Следовательно, $U = \mathcal{E} - I \cdot R = \frac{3}{4}Bl\upsilon$.

Ответ: $B = \frac{4U}{3l\upsilon}$.

40. *Ответ*: $\upsilon = \frac{4U}{3lB}$.

41. *Возможное решение.*

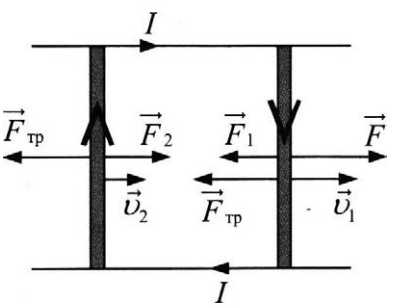
При движении стержней с разными скоростями изменение потока вектора магнитной индукции, пронизывающего контур,

за промежуток времени Δt определяется по формуле $\Delta\Phi = Bl(\upsilon_1 - \upsilon_2)\Delta t = Bl\upsilon_{\text{отн}}\Delta t$, что приводит к возникновению в контуре ЭДС индукции. Согласно закону Фарадея $\mathcal{E} = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Bl\upsilon_{\text{отн}}$. Здесь мы пренебрегли самоиндукцией контура.

В соответствии с законом Ома для замкнутой цепи в контуре появился ток

$$I = \frac{|\mathcal{E}|}{2R} = \frac{Bl\upsilon_{\text{отн}}}{2R}.$$

На проводники с током в магнитном поле действуют силы Ампера $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, $F_1 = F_2 = IBl = \dfrac{(Bl)^2 \cdot \upsilon_{\text{отн}}}{2R}$, как показано на рисунке.



Кроме этих сил, на каждый стержень действует тормозящая сила трения, $F_{\text{тр}} = \mu mg$.

Так как стержни движутся равномерно, сумма сил, приложенных к каждому стержню, равна нулю. На второй стержень действуют только сила Ампера $\vec{F}_2$ и сила трения, поэтому $\dfrac{(Bl)^2 \upsilon_{\text{отн}}}{2R} = \mu mg$. Отсюда: относительная скорость

$$\upsilon_{\text{отн}} = \frac{2\mu mgR}{(Bl)^2} = \frac{2 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}1 \cdot 10 \cdot 0{,}2}{(1 \cdot 0{,}2)^2} = 1 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\upsilon_{\text{отн}} = 1$ м/с.

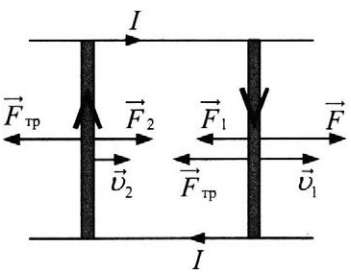
42. *Возможное решение.*

При движении стержней с разными скоростями изменение потока вектора магнитной индукции, пронизывающего контур, за промежуток времени Δt определяется по формуле $\Delta\Phi = Bl(\upsilon_1 - \upsilon_2)\Delta t = Bl\upsilon_{\text{отн}}\Delta t$, что приводит к возникновению в контуре ЭДС индукции. Согласно закону Фарадея $\mathcal{E} = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Bl\upsilon_{\text{отн}}$. Здесь мы пренебрегли самоиндукцией контура.

В соответствии с законом Ома для замкнутой цепи в контуре появился ток

$$I = \frac{|\mathcal{E}|}{2R} = \frac{Bl\upsilon_{\text{отн}}}{2R}.$$

На проводники с током в магнитном поле действуют силы Ампера $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, $F_1 = F_2 = IBl = \dfrac{(Bl)^2 \cdot \upsilon_{\text{отн}}}{2R}$, как показано на рисунке.



Кроме этих сил, на каждый стержень действует тормозящая сила трения, $F_{\text{тр}} = \mu mg$.

Так как стержни движутся равномерно, сумма сил, приложенных к каждому стержню, равна нулю. На второй стержень действуют только сила Ампера $\vec{F}_2$ и сила трения, поэтому $\dfrac{(Bl)^2 \cdot \upsilon_{\text{отн}}}{2R} = \mu mg$. Отсюда коэффициент трения:

$$\mu = \frac{\upsilon_{\text{отн}} \cdot (Bl)^2}{2mgR} = \frac{0{,}5 \cdot (0{,}5 \cdot 0{,}2)^2}{2 \cdot 0{,}05 \cdot 10 \cdot 0{,}2} = 0{,}025.$$

Ответ: $\mu = 0{,}025$.

43. *Возможное решение.*

Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС в контуре AEDC равна по модулю скорости изменения потока вектора магнитной индукции:

$$\left|\mathscr{E}_{\text{инд}}\right| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \left|B \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t}\right| = \left|Bl \cdot (\upsilon_1 + \upsilon_2)\right|. \quad (1)$$

По закону Ома для полной цепи сила тока в этом контуре

$$I = \frac{\left|\mathscr{E}_{\text{инд}}\right|}{2R}. \quad (2)$$

Объединяя (1) и (2), получим:

$$I = \frac{Bl \cdot (\upsilon_1 + \upsilon_2)}{2R} = \frac{0{,}5 \cdot 0{,}2 \cdot (1+3)}{2 \cdot 0{,}1} = 2 \text{ А}.$$

Ответ: $I = 2$ А.

44. *Возможное решение.*

Согласно закону электромагнитной индукции ЭДС в контуре AEDC равна по модулю скорости изменения потока вектора магнитной индукции:

$$\left|\mathscr{E}_{\text{инд}}\right| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \left|B \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t}\right| = \left|Bl \cdot (\upsilon_1 + \upsilon_2)\right|. \quad (1)$$

По закону Ома для полной цепи сила тока в этом контуре

$$I = \frac{\left|\mathscr{E}_{\text{инд}}\right|}{2R}. \quad (2)$$

Объединяя (1) и (2), получим:

$$R = \frac{Bl \cdot (\upsilon_1 + \upsilon_2)}{2I} = \frac{0{,}5 \cdot 0{,}2 \cdot (2+3)}{2 \cdot 5} = 0{,}05 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R = 0{,}05$ Ом.

45. *Возможное решение.*

При изменении магнитного поля поток вектора магнитной индукции $\Phi(t) = B(t) \cdot S$ через рамку площадью S изменяется, что создаёт в ней ЭДС индукции $\mathscr{E}$. В соответствии с законом индукции Фарадея

$\mathscr{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t} \cdot S$. Эта ЭДС вызывает в рамке ток, сила которого определяется законом Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t}\frac{S}{R}.$$

За время Δt по рамке пройдёт заряд $q = I\Delta t$ и ЭДС индукции совершит работу $A = \mathscr{E}q = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\cdot I\Delta t = -I\Delta\Phi$, которая перейдёт в тепло.

Подставляя сюда выражения для силы тока и изменения потока $\Delta\Phi = S\Delta B_n$, получим работу ЭДС индукции:

$$A = \frac{S^2}{R}\cdot\frac{(\Delta B_n)^2}{\Delta t}.$$

За время $\Delta t_1 = t_1 = 4\,\text{с}$ на участке графика ab изменение $\Delta B_1 = B_1 - B_0 = 1{,}2$ Тл. На участке bc индукционный ток не возникает. На третьем участке cd $\Delta t_3 = t_3 - t_1 = \Delta t_1 = 4\,\text{с}$ и $\Delta B_3 = B_2 - B_1 = -1{,}4$ Тл, поэтому суммарное количество теплоты

$$Q = A = A_1 + A_2 = \frac{S^2}{R}\cdot\left[\frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_3)^2}{\Delta t_3}\right].$$

Отсюда: $S = \sqrt{\dfrac{QR\Delta t_1}{(\Delta B_1)^2 + (\Delta B_3)^2}}$.

Подставляя значения физических величин, получим:

$$S = \sqrt{\frac{4{,}1\cdot10^{-3}\cdot0{,}2\cdot4}{1{,}2^2 + 1{,}4^2}} = \sqrt{\frac{32{,}8}{3{,}4}}\cdot10^{-2} \approx 3{,}1\cdot10^{-2}\ \text{м}^2.$$

Ответ: $S \approx 3{,}1\cdot10^{-2}\ \text{м}^2$.

46. *Возможное решение.*

При изменении магнитного поля поток вектора магнитной индукции $\Phi(t) = B(t)\cdot S$ через рамку площадью $S = l^2$ изменяется, что создаёт в ней ЭДС индукции $\mathscr{E}$. В соответствии с законом индукции Фарадея $\mathscr{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t}\cdot S$.

Эта ЭДС вызывает в рамке ток, сила которого определяется законом Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t}\cdot\frac{S}{R}.$$

За время Δt по рамке пройдет заряд $q = I\Delta t$ и ЭДС индукции совершит работу $A = \mathcal{E}q = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\cdot I\Delta t = -I\Delta\Phi$, которая перейдёт в тепло.

Подставляя сюда выражения для силы тока и изменения потока: $\Delta\Phi = S\Delta B$, получим работу ЭДС индукции:

$$A = \frac{S^2}{R}\cdot\frac{(\Delta B_n)^2}{\Delta t} = \frac{l^4}{R}\cdot\frac{(\Delta B_n)^2}{\Delta t}.$$

За время $\Delta t_1 = t_1 = 2$ с на первом участке $\Delta B_1 = B_1 - B_0 = 0{,}6$ Тл, а на втором участке $\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 8$ с и $\Delta B_2 = B_2 - B_1 = -1{,}0$ Тл, поэтому суммарное количество выделившейся теплоты

$$Q = A = A_1 + A_2 = \frac{l^4}{R}\cdot\left[\frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_2)^2}{\Delta t_2}\right].$$

Отсюда находим сопротивление рамки:

$$R = \frac{l^4}{Q}\cdot\left[\frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_2)^2}{\Delta t_2}\right].$$

Подставляя значения физических величин, получим:

$$R = \frac{(0{,}1)^4}{10^{-4}}\cdot\left[\frac{0{,}36}{2} + \frac{1}{8}\right] = 0{,}18 + 0{,}125 \approx 0{,}3 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R \approx 0{,}3$ Ом.

47. *Возможное решение.*

При изменении магнитного поля поток вектора магнитной индукции $\Phi(t) = B_n(t)\cdot S$ через рамку площадью $S = l^2$ изменяется, что создаёт в ней ЭДС индукции $\mathcal{E}$. В соответствии с законом индукции Фарадея

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t}\cdot S.$$

Эта ЭДС вызывает в рамке ток, сила которого определяется законом Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t}\cdot\frac{S}{R}.$$

Согласно закону Джоуля—Ленца за время Δt в рамке выделится количество теплоты:

$$Q = I^2 R\Delta t = \frac{S^2}{R}\cdot\frac{(\Delta B_n)^2}{\Delta t} = \frac{l^4}{R}\cdot\frac{(\Delta B_n)^2}{\Delta t}.$$

За время $\Delta t_1 = t_1 = 4$ с на первом участке графика $\Delta B_1 = B_1 - B_0 = -1$ Тл, а на втором участке $\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 6$ с и $\Delta B_2 = B_2 - B_1 = 0{,}6$ Тл, поэтому суммарное количество выделившейся теплоты

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{l^4}{R}\cdot\left[\frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_2)^2}{\Delta t_2}\right].$$

Подставляя сюда значения физических величин, получим:

$$Q = \frac{(0{,}2)^4}{0{,}4}\cdot\left[\frac{1}{4} + \frac{0{,}36}{6}\right] = \frac{16\cdot 10^{-3}}{4}\cdot(0{,}25 + 0{,}06) = 1{,}24\cdot 10^{-3}\text{ Дж}.$$

Ответ: $Q = 1{,}24$ мДж.

48. *Возможное решение.*

До размыкания ключа электрический ток протекает через последовательно соединённые резисторы R_1, R_2 и катушку L. Согласно закону Ома для полной цепи $I = \dfrac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r} = \dfrac{6}{8+3+1} = 0{,}5$ А. При этом напряжение на конденсаторе равно $U = IR_2 = 0{,}5\cdot 3 = 1{,}5$ В. Таким образом, до размыкания ключа в конденсаторе была накоплена энергия

$$W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{8\cdot 10^{-6}\cdot 2{,}25}{2} = 9\cdot 10^{-6}\text{ Дж} = 9\text{ мкДж},$$

а в катушке индуктивности —

$$W_L = \frac{LI^2}{2} = \frac{32\cdot 10^{-6}\cdot 0{,}25}{2} = 4\cdot 10^{-6}\text{ Дж} = 4\text{ мкДж}.$$

После размыкания ключа вся накопленная в элементах цепи энергия выделится в виде тепла на резисторе R_2: $Q = W_C + W_L = 9 + 4 = 13$ мкДж.

Ответ: $Q = 13$ мкДж.

49. *Возможное решение.*

До размыкания ключа электрический ток протекает через последовательно соединённые резисторы R_1, R_2 и катушку L. Согласно закону Ома для полной цепи

$I = \dfrac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r} = \dfrac{24}{7+4+1} = 2$ А. При этом напряжение на конденсаторе равно $U = IR_2 = 2 \cdot 4 = 8$ В. Таким образом, до размыкания ключа в конденсаторе была накоплена энергия

$$W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 64}{2} = 32 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 32 \text{ мкДж},$$

а в катушке индуктивности —

$$W_L = \frac{LI^2}{2} = \frac{15 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{2} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 30 \text{ мкДж}.$$

После размыкания ключа вся накопленная в элементах цепи энергия выделится в виде тепла на резисторе R_2: $Q = W_C + W_L = 32 + 30 = 62$ мкДж.

Ответ: $Q = 62$ мкДж.

50. *Возможное решение.*

В идеальном контуре сохраняется энергия колебаний:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} \text{ или } \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

Из равенств следует: $I^2 = I_m^2 - \dfrac{C}{L}U^2$ и $\dfrac{C}{L} = \dfrac{I_m^2}{U_m^2}$.

В результате получаем: $I = I_m\sqrt{1 - \dfrac{U^2}{U_m^2}}$.

Ответ: $I = 4{,}0$ мА.

51. *Ответ*: $I_m = \dfrac{I}{\sqrt{1 - \dfrac{U^2}{U_m^2}}} = 5$ мА.

52. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения энергии в колебательном контуре: $\dfrac{q^2}{2C} + \dfrac{LI^2}{2} = \dfrac{LI_m^2}{2}$.

Период свободных электромагнитных колебаний в контуре определяется формулой Томсона: $T = 2\pi \cdot \sqrt{LC}$.

Из закона сохранения энергии определяем: $q^2 = LC \cdot \left(I_m^2 - I^2\right)$, откуда получаем:

$$q = \frac{T}{2\pi} \cdot \sqrt{I_m^2 - I^2} = \frac{6{,}3 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3{,}14} \cdot \sqrt{\left(10 \cdot 10^{-3}\right)^2 - \left(6 \cdot 10^{-3}\right)^2} \approx$$

$\approx 8 \cdot 10^{-9}$ Кл = 8 нКл.

Ответ: $q \approx 8$ нКл.

53. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения энергии в колебательном контуре: $\frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$.

Период свободных электромагнитных колебаний в контуре определяется формулой Томсона: $T = 2\pi \cdot \sqrt{LC}$.

Из закона сохранения энергии определяем: $q^2 = LC \cdot \left(I_m^2 - I^2\right)$, откуда получаем:

$$T = \frac{2\pi q}{\sqrt{I_m^2 - I^2}} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{\left(5 \cdot 10^{-3}\right)^2 - \left(3 \cdot 10^{-3}\right)^2}} = 3{,}14 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 3{,}14 \text{ мкс}.$$

Ответ: $T = 3{,}14$ мкс.

54. *Возможное решение.*

Судя по приведённым в таблице данным, в контуре наблюдаются гармонические электромагнитные колебания с периодом T = 8 мкс и амплитудой разности потенциалов на обкладках конденсатора U_m = 4 В.

Согласно тем же данным, разность потенциалов на обкладках конденсатора изменяется по закону $U(t) = U_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$.

Поскольку заряд $q(t) = C \cdot U(t)$ на обкладках конденсатора совершает гармонические колебания, а сила тока связана с зарядом соотношением $I(t) = q_t'$, получаем

$$q_t' = \frac{2\pi}{T} \cdot CU_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) = I_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right),$$

что приводит к равенству $CU_m = \frac{T}{2\pi} \cdot I_m$.

Отсюда $C = \frac{TI_m}{2\pi U_m} \approx 0{,}016$ мкФ.

Ответ: $\approx 0{,}016$ мкФ.

55. *Ответ*: $L \approx 0{,}1$ мГн.

56. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения энергии

$\frac{LI_{max}^2}{2} = \frac{L \cdot I^2(t)}{2} + \frac{q^2(t)}{2C}$, где $I(t)$ и $q(t)$ — соответственно сила тока в контуре и заряд конденсатора в момент времени t, I_{max} — амплитуда силы тока в контуре.

Отсюда: $q^2(t) = LC \cdot (I_{max}^2 - I^2(t))$.

Согласно формуле Томсона период колебаний в контуре $T = 2\pi \cdot \sqrt{LC}$.

Объединяя 1 и 2, получим: $q(t) = \frac{T}{2\pi} \cdot \sqrt{I_{max}^2 - I^2(t)}$.

Из графика находим: период колебаний $T = 8$ мкс, амплитуду силы тока в контуре $I_{max} = 0{,}6$ А и силу тока в момент времени $t = 3$ мкс $I \approx 0{,}4$ А.

Вычисляем искомый заряд:

$q = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3{,}14} \cdot \sqrt{0{,}36 - 0{,}16} \approx 0{,}6$ мкКл.

Ответ: $q \approx 0{,}6$ мкКл.

Примечание для экспертов: в данном случае сила тока в контуре меняется по закону $I(t) = I_{max} \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$. Поэтому при $t = 3$ мкс $I(t) = I_{max} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$ и $q \approx 0{,}54$ мкКл $\approx 0{,}5$ мкКл. В зависимости от хода решения оба ответа (0,5 и 0,6 мкКл) могут быть верными.

57. *Ответ*: $q \approx 0{,}6$ мкКл.

58. *Возможное решение.*

Период колебаний энергии конденсатора:

$T = \pi \cdot \sqrt{LC}$. (1)

Циклическая частота колебаний энергии конденсатора:

$\omega = \frac{2\pi}{T}$. (2)

Изменение циклической частоты:

$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$. (3)

Объединяя (1) и (3), получаем:

$$C_2 = \frac{4C_1}{(\Delta\omega \cdot \sqrt{LC_1} + 2)^2} = 0{,}25 \text{ мкФ}.$$

Ответ: $C_2 = 0{,}25$ мкФ.

59. *Ответ*: увеличилась на $\Delta\omega = 2 \cdot 10^4$ с$^{-1}$.

60. *Возможное решение.*

В момент, когда сила тока в катушке равна нулю, заряд конденсатора находится из закона сохранения энергии:

$$\frac{1}{2} \cdot LI_0^2 = \frac{Q_0^2}{2C}. \quad (1)$$

При быстром изменении ёмкости заряд не успевает измениться, поэтому изменение энергии конденсатора:

$$\Delta W = \frac{Q_0^2}{2\varepsilon C} - \frac{Q_0^2}{2C} = \frac{Q_0^2 \cdot (1-\varepsilon)}{2\varepsilon C} = \frac{\frac{1}{2} \cdot Q_0^2}{C} \cdot \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}. \quad (2)$$

Используя (1), находим $\Delta W = \frac{1}{2} \cdot LI_0^2 \cdot \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} = -\frac{1}{6} \cdot LI_0^2$.

Ответ: $\Delta W = -\frac{1}{6} \cdot LI_0^2$.

61. *Ответ*: $\Delta W = 0{,}25 \cdot LI_0^2$.

62. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения энергии:

$$\frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2} \quad (1)$$

(C — ёмкость конденсатора, $U_{\max}$ — максимальное напряжение на конденсаторе).

Формула Томсона для периода электромагнитных колебаний в контуре:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{LC}. \quad (2)$$

Формула, связывающая длину волны с периодом колебаний:

$$\lambda = cT \quad (3)$$

(c — скорость света).

Максимальная напряжённость поля конденсатора:

$$E_{\max} = \frac{U_{\max}}{d}. \quad (4)$$

Решив систему уравнений (1) – (4), получим:

$$I_{\max} = \frac{\lambda d}{2\pi cL} \cdot E_{\max} = \frac{5 \cdot 10^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} \cdot 3 \approx 0{,}27 \text{ мА}.$$

Ответ: $I_{\max} \approx 0{,}27$ мА.

63. *Ответ*: $d = 1$ мм.

64. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения энергии

$$\frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2} \qquad (1)$$

(C — ёмкость конденсатора, $U_{\max}$ — максимальное напряжение на конденсаторе).

Формула Томсона для периода электромагнитных колебаний в контуре:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{LC}. \qquad (2)$$

Формула, связывающая длину волны с периодом колебаний:

$$\lambda = cT \qquad (3)$$

(c — скорость света).

Решив систему уравнений (1) – (3), находим величину $U_{\max}$, откуда получаем для искомой напряжённости поля конденсатора:

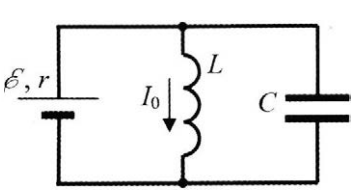
$$E_{\max} = \frac{U_{\max}}{d} = \frac{2\pi cL}{\lambda d} \cdot I_{\max} =$$

$$= \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 12 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-3} \approx 12 \text{ В/м}.$$

Ответ: $E_{\max} \approx 12$ В/м.

65. *Возможное решение.*

Непосредственно перед размыканием ключа К ток через конденсатор равен нулю, по катушке течёт ток $I_0 = \frac{\mathscr{E}}{r}$, напряжение U_{0C} на конденсаторе равно напряжению на катушке, поэтому $U_{0C} = 0$.



После размыкания ключа К в контуре возникают гармонические колебания напряжения между обкладками конденсатора и тока в контуре. В частности, благодаря начальному условию $U_{0C}=0$ потенциал верхней обкладки конденсатора относительно нижней $U(t)=-U_{\max}\cdot\sin\omega t$, где $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ — циклическая частота колебаний. (Знак «–» в формуле связан с тем, что сразу после размыкания ключа К ток приносит положительный заряд на нижнюю обкладку конденсатора.)

Энергия электромагнитных колебаний в контуре сохраняется:

$\dfrac{LI^2}{2}+\dfrac{CU^2}{2}=\dfrac{LI_0^2}{2}=\dfrac{CU_{\max}^2}{2}$, откуда получаем: $U_{\max}=I_0\cdot\sqrt{\dfrac{L}{C}}$.

Учитывая, что $U_{\max}=\mathscr{E}$, $I_0=\dfrac{\mathscr{E}}{r}$, получим: $C=\dfrac{L}{r^2}$.

Период свободных электромагнитных колебаний в контуре: $T=2\pi\cdot\sqrt{LC}=2\pi\cdot\dfrac{L}{r}$.

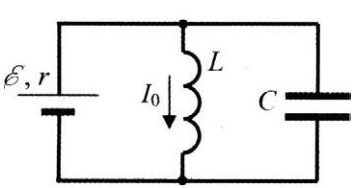
Судя по зависимости $U(t)=-U_{\max}\cdot\sin\omega t$, наименьшим положительным корнем уравнения $|U(t)|=\mathscr{E}$ (т. е. уравнения $|\mathscr{E}\cdot\sin\omega t|=\mathscr{E}$) является

$$\tau=\frac{T}{4}=\frac{\pi}{2}\cdot\frac{L}{r}=\frac{3{,}14}{2}\cdot\frac{2\cdot10^{-3}}{3}\approx10^{-3}\text{ с}.$$

Ответ: $\tau\approx1$ мс.

66. *Возможное решение.*

Непосредственно перед размыканием ключа К ток через конденсатор равен нулю, по катушке течёт ток $I_0=\dfrac{\mathscr{E}}{r}$, напряжение U_{0C} на конденсаторе равно напряжению на катушке, поэтому $U_{0C}=0$.



После размыкания ключа К в контуре возникают гармонические колебания напряжения между обкладками конденсатора и тока в контуре. В частности, благодаря начальному условию $U_{0C} = 0$ потенциал верхней обкладки конденсатора относительно нижней $U(t) = -U_{\max} \cdot \sin \omega t$, где $\omega = \dfrac{2\pi}{T} = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ — циклическая частота колебаний. (Знак «–» в формуле связан с тем, что сразу после размыкания ключа К ток приносит положительный заряд на нижнюю обкладку конденсатора.)

Энергия электромагнитных колебаний в контуре сохраняется: $\dfrac{LI^2}{2} + \dfrac{CU^2}{2} = \dfrac{LI_0^2}{2} = \dfrac{CU_{\max}^2}{2}$, откуда получаем: $U_{\max} = I_0 \cdot \sqrt{\dfrac{L}{C}}$.

Учитывая, что $U_{\max} = \mathscr{E}$, $I_0 = \dfrac{\mathscr{E}}{r}$, получим: $C = \dfrac{L}{r^2}$.

Период свободных электромагнитных колебаний в контуре: $T = 2\pi \cdot \sqrt{LC} = 2\pi \cdot \dfrac{L}{r}$.

Судя по зависимости $U(t) = -U_{\max} \cdot \sin \omega t$, наименьшим положительным корнем уравнения $|U(t)| = 0$ (т. е. уравнения $|\mathscr{E} \sin \omega t| = 0$) является

$$\tau = \frac{T}{2} = \frac{\pi L}{r} = \frac{3{,}14 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{3} \approx 2{,}1 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Ответ: $\tau \approx 2{,}1$ мс.

67. *Возможное решение.*

Энергия заряженного конденсатора C_1 до замыкания ключа К:

$$W_э = \frac{C_1 U^2}{2}. \qquad (1)$$

Заряд конденсатора C_1:

$$q = C_1 U. \qquad (2)$$

Суммарная энергия заряженных конденсаторов после замыкания ключа К:

$$W_{э1} + W_{э2} = \frac{C_1 U_1^{\,2}}{2} + \frac{C_2 U_2^{\,2}}{2}. \qquad (3)$$

Так как процесс зарядки конденсатора C_2 происходит медленно, нет потерь энергии на излучение, а следовательно, после замыкания ключа К первоначальная энергия заряженного кон-

денсатора C_1 в новом состоянии равновесия распределяется между конденсаторами:

$W_э = W_{э1} + W_{э2}$. (4)

Кроме того, выполняется закон сохранения заряда:

$q = q_1 + q_2 = C_1U_1 + C_2U_2$. (5)

Объединяя соотношения (1) – (5), получаем систему уравнений

$$\begin{cases} C_1U^2 = C_1U_1^2 + C_2U_2^2, \\ C_1U = C_1U_1 + C_2U_2. \end{cases}$$

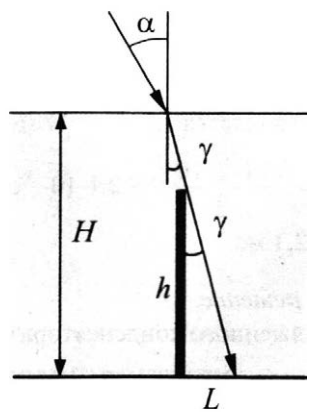
Решая эту систему, получаем

$$C_1 = \frac{C_2U_2}{2U - U_2}.$$

Ответ: $C_1 = 0{,}5$ мкФ.

68. *Ответ*: $C_2 = 2$ мкФ.

69. *Возможное решение.*



Согласно рисунку, длина тени L определяется высотой сваи h и углом γ между сваей и скользящим по её вершине лучом света: $L = h \cdot \mathrm{tg}\gamma$. Этот угол является и углом преломления солнечных лучей на поверхности воды. Согласно закону преломления, $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n$,

$$\sin\gamma = \frac{\sin\alpha}{n} = \frac{1}{2n},\ \mathrm{tg}\gamma = \frac{\sin\gamma}{\sqrt{1-\sin^2\gamma}} = \frac{1}{\sqrt{4n^2-1}}.$$

Следовательно, $L = h \cdot \dfrac{1}{\sqrt{4n^2 - 1}} = \dfrac{2}{\sqrt{4 \cdot \dfrac{16}{9} - 1}} = \dfrac{6}{\sqrt{55}} \approx 0{,}8 (\text{м})$.

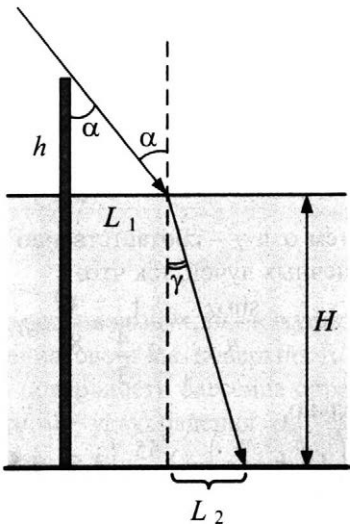
Ответ: $L \approx 0{,}8$ м.

70. *Ответ*: $\alpha = \arcsin \dfrac{4}{\sqrt{73}} \approx 28°$.

71. *Возможное решение.*

Как видно по рисунку, длина тени $L = L_1 + L_2$,

где $L_1 = h \cdot \operatorname{tg}\alpha$, $L_2 = H \cdot \operatorname{tg}\gamma$ и $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$.



Вместе с тем α и γ — соответственно углы падения и преломления солнечных лучей, так что:

$\dfrac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n$; $\sin\gamma = \dfrac{\sin\alpha}{n} = \dfrac{1}{2 \cdot \dfrac{4}{3}} = \dfrac{3}{8}$; $\operatorname{tg}\gamma = \dfrac{3}{\sqrt{55}}$.

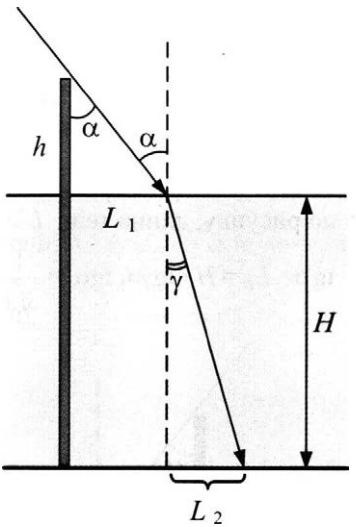
Следовательно, $L = 0{,}5 \cdot \dfrac{1}{\sqrt{3}} + 2{,}5 \cdot \dfrac{3}{\sqrt{55}} \approx 1{,}3$ м.

Ответ: $L \approx 1{,}3$ м.

72. *Возможное решение.*

Как видно по рисунку, длина тени $L = L_1 + L_2$,

где $L_1 = h \cdot \operatorname{tg}\alpha$, $L_2 = H \cdot \operatorname{tg}\gamma$ и $\operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{\sqrt{3}}$.



Вместе с тем α и γ – соответственно углы падения и преломления солнечных лучей, так что:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n;\ \sin\gamma = \frac{\sin\alpha}{n} = \frac{1}{2\cdot\frac{4}{3}} = \frac{3}{8};\ \operatorname{tg}\gamma = \frac{3}{\sqrt{55}}.$$

Следовательно,

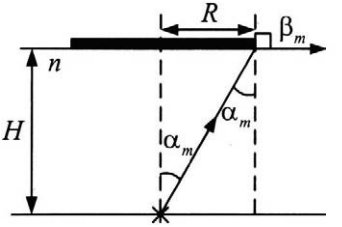
$$H = \frac{\sqrt{55}}{3}\cdot\left(L - h\cdot\frac{1}{\sqrt{3}}\right) = \frac{\sqrt{55}}{3}\cdot\left(1{,}5 - 0{,}5\cdot\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \approx 3\ \text{м}.$$

Ответ: $H \approx 3$ м.

73. *Возможное решение.*

Свет переходит из воды в воздух, поэтому угол преломления β больше угла падения света на поверхность воды α. Радиус светлого пятна на поверхности бассейна определяется по максимально возможному углу падения α_m: ему соответствует угол преломления $\beta_m = \frac{\pi}{2}$ (при бóльших углах падения не существует преломлённого луча — наблюдается полное внут-

реннее отражение, α_m — предельный угол полного внутреннего отражения).



Радиус светлого пятна связан с глубиной бассейна (см. рис.): $R = H \cdot \operatorname{tg}\alpha_m = H \cdot \dfrac{\sin\alpha_m}{\sqrt{1-\sin^2\alpha_m}}$. Чтобы светлого пятна не было видно, минимальный радиус плота должен быть равен радиусу светлого пятна.

По закону преломления $\sin\alpha_m = \dfrac{1}{n}$.

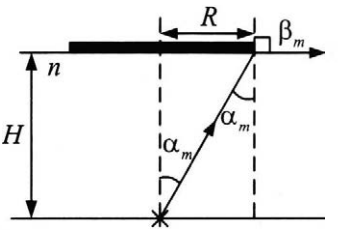
Окончательно получим:

$$H = R \cdot \sqrt{n^2 - 1} = 1{,}7 \cdot \sqrt{\frac{16}{9} - 1} \approx 1{,}5 \text{ м}.$$

Ответ: $H \approx 1{,}5$ м.

74. *Возможное решение.*

Свет переходит из воды в воздух, поэтому угол преломления β больше угла падения света на поверхность воды α. Радиус светлого пятна на поверхности бассейна определяется по максимально возможному углу падения α_m: ему соответствует угол преломления $\beta_m = \dfrac{\pi}{2}$ (при бóльших углах падения не существует преломлённого луча — наблюдается полное внутреннее отражение, α_m — предельный угол полного внутреннего отражения).



Радиус светлого пятна связан с глубиной бассейна (см. рис.): $R = H \cdot \operatorname{tg}\alpha_m = H \cdot \dfrac{\sin\alpha_m}{\sqrt{1-\sin^2\alpha_m}}$. Чтобы светлого пятна не было видно, минимальный радиус плота должен быть равен радиусу светлого пятна.

По закону преломления $\sin\alpha_m = \dfrac{1}{n}$.

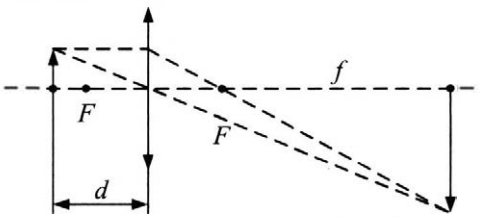
Окончательно получим:

$$R = \frac{H}{\sqrt{n^2-1}} = \frac{1{,}8}{\sqrt{\dfrac{16}{9}-1}} \approx 2 \text{ м}.$$

Ответ: $R \approx 2$ м.

75. *Возможное решение.*

На рисунке схематически изображено положение линзы, предмета и изображения на экране, образованного лучами, прошедшими через линзу.



Используя формулу для тонкой линзы $\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{f} + \dfrac{1}{d}$,

где d — расстояние от линзы до предмета, f — расстояние от линзы до экрана, определяем фокусное расстояние линзы $F = \dfrac{fd}{f+d}$.

Как следует из подобия треугольников (см. рис.), увеличение Г, даваемое линзой, определяется отношением $\Gamma = \dfrac{f}{d} = 5$, что позволяет записать фокусное расстояние линзы в виде

$$F = f \cdot \frac{1}{1+\Gamma}. \qquad (1)$$

После перемещения экрана на расстояние l = 0,3 м для нового положения предмета и изображения можно записать выражение для фокусного расстояния:

$$F = f_1 \cdot \frac{1}{1+\Gamma_1} = (f-l) \cdot \frac{1}{1+\Gamma_1}, \qquad (2)$$

где $\Gamma_1 = \frac{f_1}{d_1} = 3$ — увеличение, даваемое линзой после перемещения экрана. Здесь $f_1 = f - l$ — расстояние от линзы до экрана, а d_1 — расстояние от линзы до предмета после перемещения экрана.

Исключая из уравнений (1) и (2) f, получим фокусное расстояние линзы $F = l \cdot \frac{1}{\Gamma - \Gamma_1}$.

Ответ: $F = 0{,}15$ м, или $F = 15$ см.

76. *Возможное решение.*

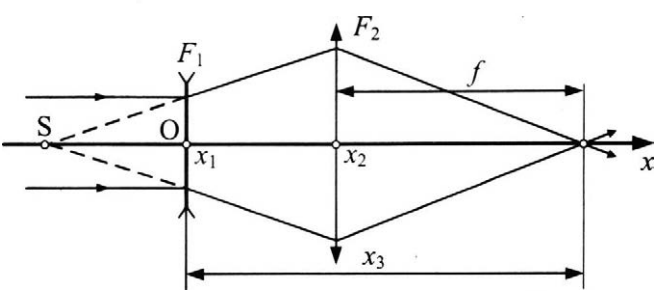
В первом случае для фокусного расстояния и увеличения можно записать следующие формулы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$; $F = \frac{fd}{f+d}$; $\Gamma = \frac{f}{d}$, где d — расстояние от предмета до линзы, f — расстояние от линзы до изображения, Γ — увеличение. Следовательно, $f = 90$ см, $d = 18$ см. После того как экран и предмет передвинули, для нового положения предмета и изображения можно записать: $F = \frac{f_1 d_1}{f_1 + d_1}$; где $f_1 = f - 30$.

Следовательно, $d_1 = 20$ см и $\Delta d = 2$ см.

Ответ: $\Delta d = 2$ см.

77. *Возможное решение.*

Ход лучей через систему линз изображён на рисунке:



Из рисунка ясно, что расстояние OS = $-F_1$ = 20 см. Расстояние от источника до собирающей линзы $d = -F_1 + (x_2 - x_1)$. Расстояние от второй линзы до изображения f равно $x_3 - x_2$.
Формула тонкой собирающей линзы

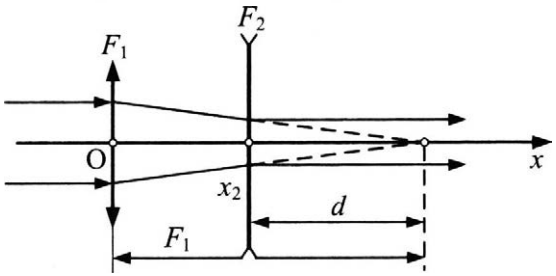
$$\frac{1}{-F_1 + (x_2 - x_1)} + \frac{1}{x_3 - x_2} = \frac{1}{F_2} \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ фокусное расстояние собирающей линзы

$$F_2 = \frac{(x_3 - x_2) \cdot \big((x_2 - x_1) - F_1\big)}{x_3 - x_1 - F} \cdot F_2 = 20 \text{ см}.$$

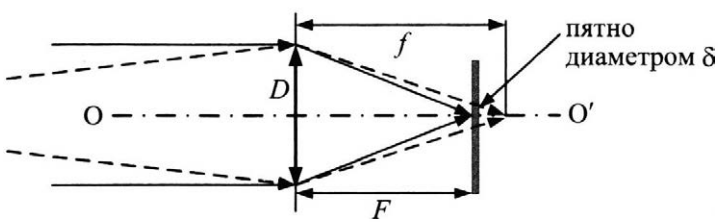
Ответ: $F_2 = 20$ см.

78. *Возможное решение.*
На рисунке изображён ход лучей через систему линз.



Формула тонкой рассеивающей линзы с учетом правила знаков $-\frac{1}{d} + \frac{1}{\infty} = -\frac{1}{|F_2|} \Rightarrow |F_2| = d$.
Искомое фокусное расстояние F_2:
$F_1 = (x_2 - x_1) + d = (x_2 - x_1) + |F_2|$,
$|F_2| = F_1 - (x_2 - x_1)$ и $|F_2| = 15$ см, $F_2 = -15$ см.
Ответ: $F_2 = -15$ см.

79. *Возможное решение.*



Лучи, идущие от предмета, находящегося на расстоянии d, собираются на расстоянии f, которое больше фокусного расстояния, и поэтому образуют на пленке пятно диаметром δ. Из подобия треугольников получаем соотношение: $\frac{\delta}{D} = \frac{f - F}{f}$, а поскольку $D = \frac{F}{\alpha}$,

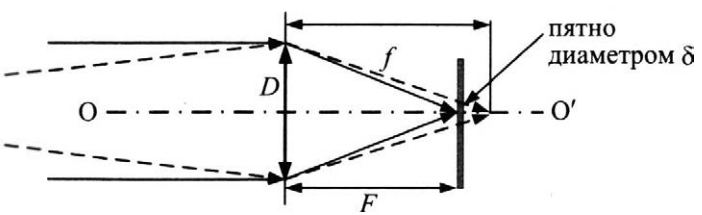
где α — относительное отверстие, то $\frac{\delta\alpha}{F} = \frac{f - F}{f}$.

Из формулы тонкой линзы $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$ находим: $d = \frac{fF}{f - F}$.

Отсюда: $d_1 = \frac{F_1^2}{\alpha\delta}$; $d_2 = \frac{F_2^2}{\alpha\delta} \Rightarrow \frac{d_1}{d_2} = \frac{F_1^2}{F_2^2}$; $d_2 = d_1 \frac{F_2^2}{F_1^2} = 1{,}25$ м.

Ответ: $d_2 = 1{,}25$ м.

80. *Возможное решение.*



Лучи, идущие от предмета, находящегося на расстоянии d, собираются на расстоянии f, которое больше фокусного расстояния, и поэтому образуют на плёнке пятно диаметром δ. Из подобия треугольников получаем соотношение:

$\frac{\delta}{D} = \frac{f - F}{f}$, а поскольку $D = \frac{F}{\alpha}$,

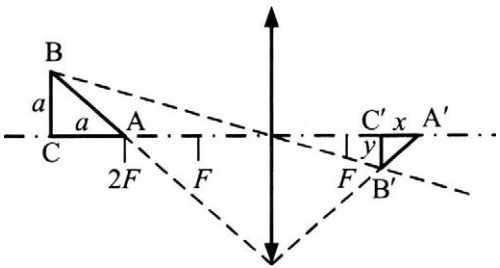
то $\frac{\delta\alpha}{F} = \frac{f - F}{f}$.

Из формулы тонкой линзы $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$ находим: $\frac{f - F}{f} = \frac{F}{d}$.

Отсюда: $F = \sqrt{\delta\alpha d} = 5 \cdot 10^{-2}$ м.

Ответ: $F = 50$ мм.

81. *Возможное решение.*



Длину x горизонтального катета A′C′ изображения находим по формуле линзы: $\frac{1}{2F+a}+\frac{1}{2F-x}=\frac{1}{F}$,

откуда $x=\frac{aF}{F+a}=\frac{a}{1+aD}$.

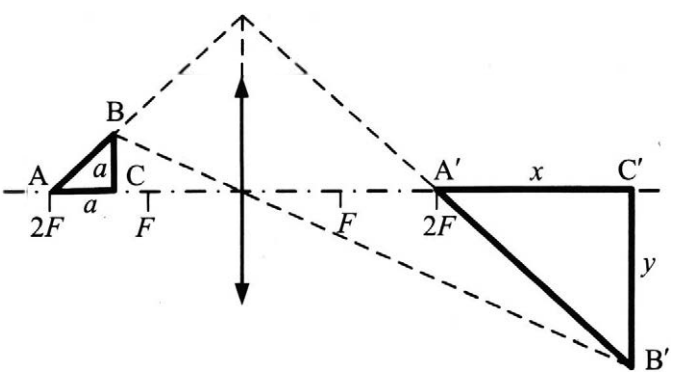
Длину y вертикального катета B′C′ изображения находим из подобия: $y=a\cdot\frac{2F-x}{2F+a}=\frac{aF}{F+a}=\frac{a}{1+aD}=x$.

Площадь изображения

$$S_1=\frac{1}{2}\cdot \text{A}'\text{C}'\cdot \text{B}'\text{C}'=\frac{a^2}{2\cdot(1+aD)^2}\approx 6{,}6\ \text{см}^2.$$

Ответ: $S_1\approx 6{,}6\ \text{см}^2$.

82. *Возможное решение.*



Длину x горизонтального катета A′C′ изображения находим по формуле линзы: $\frac{1}{2F-a}+\frac{1}{2F+x}=\frac{1}{F}$,

откуда $x=\frac{aF}{F-a}=\frac{a}{1-aD}$.

Длину y вертикального катета B′C′ изображения находим из подобия: $y=a\cdot\frac{2F+x}{2F-a}=\frac{aF}{F-a}=\frac{a}{1-aD}=x$.

Площадь изображения

$$S_1=\frac{1}{2}\cdot \text{A}'\text{C}'\cdot \text{B}'\text{C}'=\frac{a^2}{2\cdot(1-aD)^2}\approx 9{,}9\ \text{см}^2.$$

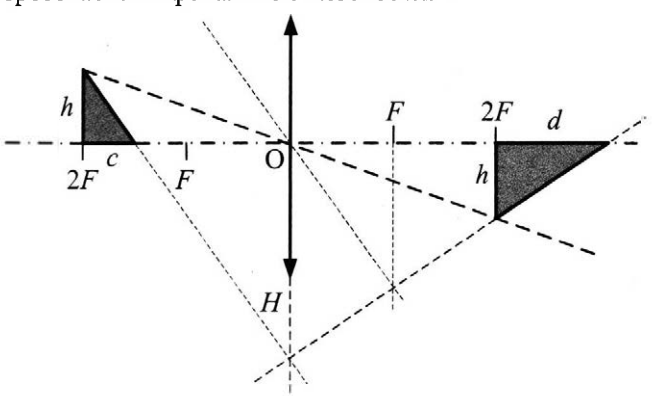
Ответ: $S_1\approx 9{,}9\ \text{см}^2$.

83. *Возможное решение.*

Построим изображение источника, используя свойства линзы:

• луч, прошедший через оптический центр линзы O, не преломляется;

• параллельный пучок лучей, падающих на собирающую линзу, пересекается в фокальной плоскости.



Из формулы линзы следует, что изображение вершины прямого угла треугольника находится на расстоянии $2F$ от линзы. Поэтому высота изображения вертикального катета равна h.

Из подобия треугольников получаем соотношения подобия: $\frac{H}{h}=\frac{2F-c}{c}=\frac{2F+d}{d}$, откуда находим связь между c, F и d:

$d=\frac{cF}{F-c}$.

Площадь треугольника — источника $S_0 = \frac{hc}{2}$, а площадь его изображения

$$S = \frac{hd}{2} = \frac{hc}{2} \cdot \frac{F}{F-c} = S_0 \cdot \frac{F}{F-c}.$$

Подставляя значения физических величин, получим:

$$S = \frac{2 \cdot 3}{2} \cdot \frac{8}{8-2} = 4 \text{ см}^2.$$

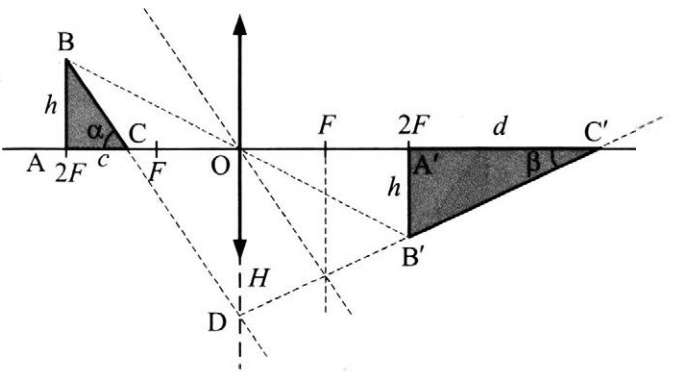
Ответ: площадь изображения $S = 4$ см^2.

84. *Возможное решение.*

Построим изображение треугольника, используя свойства линзы:

• луч, прошедший через оптический центр O, не преломляется;

• параллельный пучок лучей пересекается в фокальной плоскости.



Вертикальный катет длиной h находится на расстоянии $2F$ от линзы, поэтому его изображение, согласно формуле линзы, тоже находится на расстоянии $2F$ от линзы.

И длина изображения этого катета тоже равна h.

Из подобия треугольников ABC и COD получаем $\frac{H}{h} = \frac{2F-c}{c}$.

Из подобия треугольников ODC′ и A′B′C′ $\frac{H}{h} = \frac{2F+d}{d}$.

Исключая $\frac{H}{h}$ из этих выражений, получим $d = \frac{cF}{F-c}$.

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{h}{d} = \frac{h\cdot(F-c)}{cF} = \frac{F-c}{F}\cdot\operatorname{tg}\alpha = \left(1-\frac{c}{F}\right)\cdot\operatorname{tg}\alpha.$$

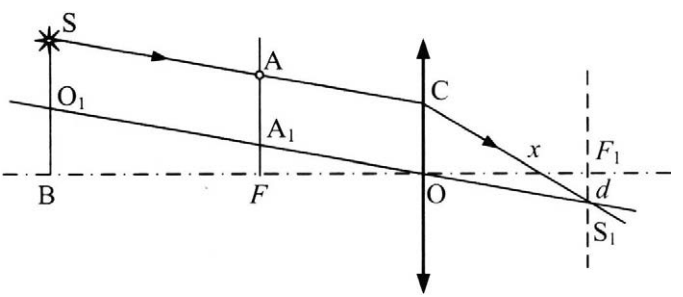
Подставляя значения физических величин, получим

$$\operatorname{tg}\beta = \left(1-\frac{4}{10}\right)\cdot\sqrt{3} \approx 1 \Rightarrow \beta \approx 45^\circ.$$

Ответ: $\beta \approx 45^\circ$.

85. *Возможное решение.*

Построим ход луча $SACS_1$, прошедшего через экран и собирающую линзу, используя основные свойства тонкой линзы: параллельный пучок лучей, падающих на линзу (в частности, $SC \parallel OO_1$), собирается в её фокальной плоскости; луч O_1OS_1, прошедший через оптический центр линзы (точку O), не преломляется.



Луч SAC, принадлежащий параллельному пучку лучей SA и O_1A_1, после преломления пересечёт луч O_1OS_1 в фокальной плоскости линзы в точке S_1 на расстоянии d от главной оптической оси BO. Так как расстояние от фокальных плоскостей AF и S_1F_1 до плоскости линзы одинаково,

то $A_1F = F_1S_1 = d$, $OC = AA_1 = O_1S = h - d$, $O_1B = H - (h - d)$.

Луч CS_1 пересечёт главную оптическую ось на расстоянии x от линзы, которое определяется из подобия треугольников ΔOCx и ΔxF_1S_1.

Из пропорции $\dfrac{x}{h-d} = \dfrac{F-x}{d}$ получаем: $x = F\cdot\left(1-\dfrac{d}{h}\right)$.

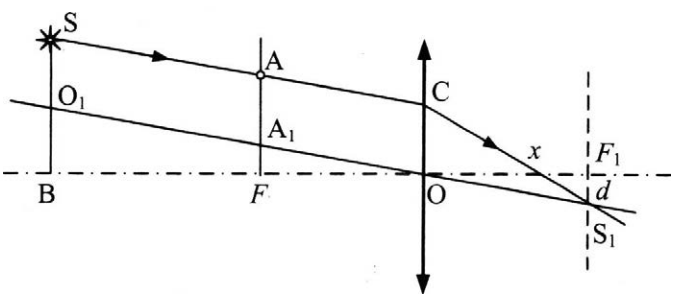
Для определения d воспользуемся подобием треугольников ΔO_1BO и ΔA_1FO и составим пропорцию $\dfrac{H-(h-d)}{b}=\dfrac{d}{F}$, откуда: $d=\dfrac{H-h}{b-F}\cdot F$. После подстановки получаем:

$$x=\frac{F}{h}\cdot\frac{bh-FH}{b-F}=\frac{20}{4}\cdot 3{,}2=16 \text{ см}.$$

Ответ: $x=16$ см.

86. *Возможное решение.*

Построим ход луча $SACS_1$, прошедшего через экран и собирающую линзу, используя основные свойства тонкой линзы: параллельный пучок лучей, падающих на линзу (в частности, $SC \parallel OO_1$), собирается в её фокальной плоскости; луч O_1OS_1, прошедший через оптический центр линзы (точку O), не преломляется.



Луч SAC, принадлежащий параллельному пучку лучей SA и O_1A_1, после преломления пересечёт луч O_1OS_1 в фокальной плоскости линзы в точке S_1 на расстоянии d от главной оптической оси BO. Так как расстояние от фокальных плоскостей AF и S_1F_1 до плоскости линзы одинаково, то $A_1F = F_1S_1 = d$, $OC = AA_1 = O_1S = h - d$, $O_1B = H - (h - d)$.

Луч CS_1 пересечёт главную оптическую ось на расстоянии x от линзы, которое определяется из подобия треугольников ΔOCx и ΔxF_1S_1. Из пропорции $\dfrac{x}{h-d}=\dfrac{F-x}{d}$ получаем:

$$x=F\cdot\left(1-\frac{d}{h}\right).$$

Для определения d воспользуемся подобием треугольников ΔO_1BO и ΔA_1FO и составим пропорцию $\frac{H-(h-d)}{b}=\frac{d}{F}$,

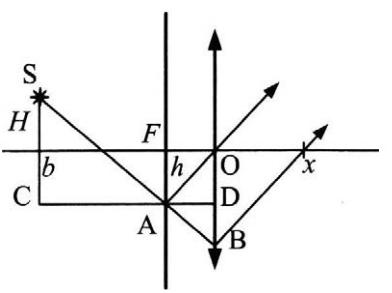
откуда: $d=\frac{H-h}{b-F}\cdot F$. После подстановки получаем:

$$H=\frac{h}{F^2}\cdot\left(Fb-x\cdot(b-F)\right)=\frac{5}{400}\cdot(20\cdot 60-16\cdot 40)=7 \text{ см}.$$

Ответ: $H = 7$ см.

87. *Возможное решение.*

Проведём луч SA до пересечения с плоскостью линзы (точка B на расстоянии y = OB от центра линзы O). Проведём через точку A отрезок CD || OF.



Из подобия ΔACS и ΔABD следует: $\frac{H+h}{b-F}=\frac{y-h}{F}$, откуда:

$$y=h+F\cdot\frac{H+h}{b-F}=\frac{hb+FH}{b-F}=\frac{3\cdot 70+20\cdot 6}{70-20}=6{,}6 \text{ см}.$$

Из точки A проведём луч AO, который проходит линзу, не преломляясь. Точка A является побочным фокусом линзы, поэтому лучи AO и AB, пройдя линзу, идут параллельно друг другу.

Из подобия ΔAFO и ΔBOx следует:

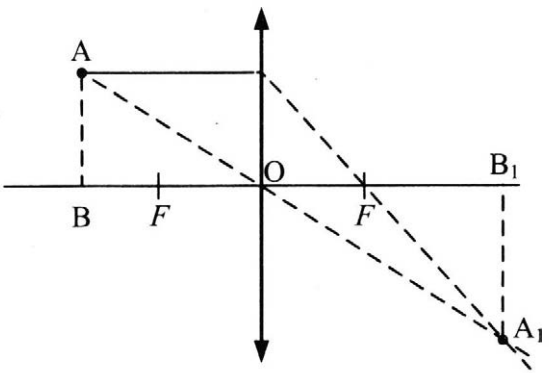
$$\frac{h}{F}=\frac{y}{x},$$

откуда: $x=y\cdot\frac{F}{h}=\frac{F}{h}\cdot\frac{hb+FH}{b-F}=\frac{20}{3}\cdot\frac{3\cdot 70+20\cdot 6}{70-20}=44$ см.

Ответ: $x = 44$ см.

88. *Возможное решение.*

Построим изображение источника света в линзе. Изображением светящейся точки A в некоторый момент времени будет точка A_1. Введём обозначения: радиус, по которому движется источник света, $r = AB$; радиус, по которому движется изображение источника света, $R = A_1B_1$; расстояние $OB = d$; расстояние $OB_1 = f$, фокусное расстояние линзы $OF = F$.



Из формулы тонкой линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$

при $d = \frac{3F}{2}$ получим: $f = 3F$.

Из подобия треугольников AOB и A_1OB_1 следует, что:

$\frac{d}{f} = \frac{r}{R} = \frac{1}{2}$.

Угловая скорость источника света $\omega = \frac{\upsilon}{r}$, равна угловой скорости его изображения, так как в любой момент времени источник света и его изображение лежат в одной плоскости с главной оптической осью линзы.

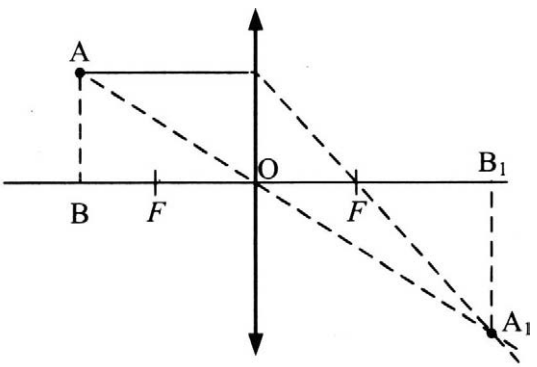
Тогда скорость движения изображения точечного источника света:

$\upsilon' = \omega R = \frac{\upsilon R}{r} = 2\upsilon = 2 \cdot 2 = 4$ м/с.

Ответ: $\upsilon' = 4$ м/с.

89. *Возможное решение.*

Построим изображение источника света в линзе. Изображением светящейся точки А в некоторый момент времени будет точка A_1. Введём обозначения: радиус, по которому движется источник света, $r = AB$; радиус, по которому движется изображение источника света, $R = A_1B_1$; расстояние $OB = d$; расстояние $OB_1 = f$, фокусное расстояние линзы $OF = F$.



Из формулы тонкой линзы $D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$

Получим: $f = \frac{d}{Dd - 1} = \frac{0,3}{5 \cdot 0,3 - 1} = 0,6\text{м} = 2d.$

Из подобия треугольников АОВ и A_1OB_1 следует, что:

$\frac{d}{f} = \frac{r}{R} = \frac{1}{2}.$

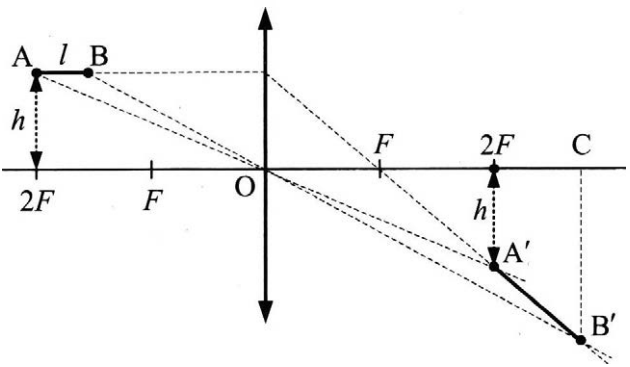
Угловая скорость источника света $\omega = \frac{\upsilon}{r}$, равна угловой скорости его изображения, так как в любой момент времени источник света и его изображение лежат в одной плоскости с главной оптической осью линзы.

Тогда скорость движения изображения точечного источника света: $\upsilon' = \omega R = \frac{\upsilon R}{r} = 2\upsilon = 2 \cdot 3 = 6$ м/с.

Ответ: $\upsilon' = 6$ м/с.

90. *Возможное решение.*

Построение изображения A′B′ предмета AB в линзе показано на рисунке.



Так как точка A находится на расстоянии $2F$ от линзы, то её изображение A′ также находится на расстоянии $2F$ от линзы, и расстояние от точки A′ до главной оптической оси равно h.
Длина изображения

A′B′ $L = \sqrt{(\text{OC} - 2F)^2 + (\text{B'C} - h)^2}$.

Из формулы тонкой линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{2F - l} + \frac{1}{\text{OC}}$

получим: $\text{OC} = \frac{F \cdot (2F - l)}{F - l} = 30$ см.

$\frac{\text{B'C}}{h} = \frac{\text{OC}}{2F - l}$,

откуда: $\text{B'C} = h \cdot \frac{\text{OC}}{2F - l} = 15$ см.

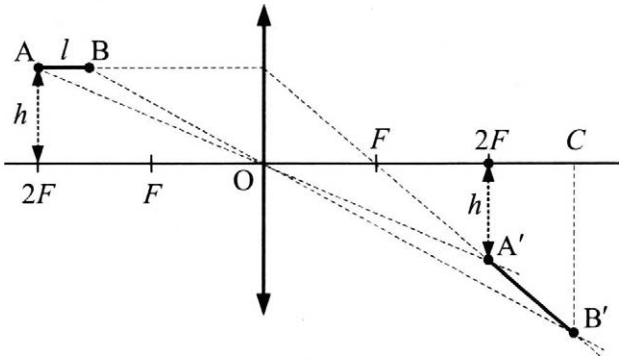
Окончательно получим: $L = \sqrt{(10)^2 + (7{,}5)^2} = 12{,}5$ см.

Ответ: L = 12,5 см.

91. *Возможное решение.*

Фокусное расстояние линзы равно $F = \frac{1}{D} = \frac{1}{5} = 0{,}2$ м = 20 см.

Построение изображения A′B′ предмета AB в линзе показано на рисунке.



Так как точка A находится на расстоянии $2F$ от линзы, то её изображение A′ также находится на расстоянии $2F$ от линзы, и расстояние от точки A′ до главной оптической оси равно h.

Длина изображения A′B′ $L = \sqrt{(\mathrm{OC} - 2F)^2 + (\mathrm{B'C} - h)^2}$.

Из формулы тонкой линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{2F - l} + \frac{1}{\mathrm{OC}}$ получим:

$\mathrm{OC} = \frac{F \cdot (2F - l)}{F - l} = 60$ см.

$\frac{\mathrm{B'C}}{h} = \frac{\mathrm{OC}}{2F - l}$, откуда: $\mathrm{B'C} = h \cdot \frac{\mathrm{OC}}{2F - l} = 30$ см.

Окончательно получим: $L = \sqrt{(20)^2 + (15)^2} = 25$ см.

Ответ: $L = 25$ см.

92. *Возможное решение.*

При колебаниях маятника максимальная скорость груза υ может быть определена из закона сохранения энергии: $\frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$, где A — амплитуда колебаний (амплитуда смещения). Отсюда $\upsilon = A \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$.

Максимальная скорость изображения u на экране, расположенном на расстоянии b от линзы, пропорциональна скорости груза υ, движущегося на расстоянии a от плоскости тонкой линзы: $u = \upsilon \cdot \frac{b}{a}$.

Расстояние a определяется по формуле тонкой линзы: $\frac{1}{F}=\frac{1}{a}+\frac{1}{b}$, откуда $a=b\cdot\frac{F}{b-F}$, и $\frac{b}{a}=\frac{b}{F}-1$.

Следовательно, $u=\upsilon\cdot\frac{b}{a}=A\cdot\sqrt{\frac{k}{m}}\cdot\frac{b}{a}=A\cdot\sqrt{\frac{k}{m}}\cdot\left(\frac{b}{F}-1\right)$.

Подставляя в это выражение значения физических величин, заданные условием задачи, получим $u=A\cdot\sqrt{\frac{k}{m}}\cdot\left(\frac{b}{F}-1\right)$.

Ответ: u = 0,3 м/с.

93. *Возможное решение.*

При колебаниях маятника максимальная скорость груза υ может быть определена из закона сохранения энергии: $\frac{m\upsilon^2}{2}=mgh$, где $h=l\cdot(1-\cos\alpha)=2l\cdot\sin^2\frac{\alpha}{2}\approx\frac{l\alpha^2}{2}$ — максимальная высота подъёма груза. Максимальный угол отклонения $\alpha\approx\frac{A}{l}$, где A — амплитуда колебаний (амплитуда смещения). Отсюда $A=\upsilon\cdot\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Амплитуда A_1 колебаний смещения изображения груза на экране, расположенном на расстоянии b от плоскости тонкой линзы, пропорциональна амплитуде A колебаний груза, движущегося на расстоянии a от плоскости линзы: $A_1=A\cdot\frac{b}{a}$.

Расстояние a определяется по формуле тонкой линзы: $\frac{1}{F}=\frac{1}{a}+\frac{1}{b}$, откуда $a=b\cdot\frac{F}{b-F}$, и $\frac{b}{a}=\frac{b}{F}-1$.

Следовательно, $A_1=A\cdot\frac{b}{a}=\upsilon\cdot\sqrt{\frac{l}{g}}\cdot\frac{b}{a}$,

$A_1=\ A_1=\upsilon\cdot\sqrt{\frac{l}{g}}\cdot\left(\frac{b}{F}-1\right)$.

Ответ: A_1 = 0,15 м.

3. Квантовая физика

3.1 Задачи с кратким ответом

1. $5 \cdot 10^5$ фотонов. **2.** $9 \cdot 10^{14}$ Гц. **3.** $2{,}5 \cdot 10^5$ фотонов.

4. 18 с. **5.** 495 нм. **6.** 3,7 эВ.

7. 5 эВ. **8.** 8 эВ. **9.** 10 эВ.

10. 5 эВ. **11.** 15 эВ. **12.** 3 эВ.

13. 8 эВ. **14.** 1,5 эВ. **15.** 3.

16. На 0,2 эВ. **17.** 0,46 эВ. **18.** $5{,}5 \cdot 10^{-19}$ Дж.

19. 660 нм. **20.** 677 км/с. **21.** 2,5.

22. 400 нм. **23.** 400 нм. **24.** 0,42 мкм.

25. 0,62 мкм. **26.** 578 км/с. **27.** $9 \cdot 10^{15}$ Гц.

28. 10,4 эВ. **29.** 1,7 эВ. **30.** 3,5 эВ.

31. 2,0 В. **32.** 2,0 эВ. **33.** $1{,}8 \cdot 10^{-19}$ Дж.

34. 591 нм. **35.** На $8 \cdot 10^{14}$ Гц. **36.** На $2{,}9 \cdot 10^{14}$ Гц.

37. $5{,}3 \cdot 10^{-34}$ Дж · с. **38.** $5{,}3 \cdot 10^{-34}$ Дж · с. **39.** 0,4 В.

40. 600 нм. **41.** $3{,}3 \cdot 10^{-19}$ Дж. **42.** 2,1 эВ.

43. 2 эВ. **44.** 2,5 эВ. **45.** $1{,}2 \cdot 10^{15}$ Гц.

3.2. Задания с развёрнутым ответом

1. *Возможное решение.*

Для энергии одного фотона запишем:

$$E_{\text{фот}} = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda},$$

где c — скорость света в вакууме.
Мощность излучения указки:

$P = \dfrac{N \cdot E_{\text{фот}}}{t}$, где $\dfrac{N}{t}$ — число фотонов в единицу времени.

Число излученных фотонов в единицу времени:

$$\frac{N}{t} = \frac{P}{E_{\text{фот}}} = \frac{P \cdot \lambda}{h \cdot c} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}} \approx 6 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}.$$

Ответ: $\dfrac{N}{t} \approx 6 \cdot 10^{15}$ с$^{-1}$.

2. *Возможное решение.*

Для энергии одного фотона запишем: $E_{\text{фот}} = h\nu = h \cdot \dfrac{c}{\lambda}$,

где c — скорость света в вакууме.
Энергия, излучаемая указкой за время t: $E = P \cdot t = N \cdot E_{\text{фот}}$,
где P — мощность излучения лазерной указки.
Для времени получаем:

$$t = \frac{N \cdot h \cdot c}{P \cdot \lambda} = \frac{5 \cdot 10^{15} \cdot 6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-9}} \approx 2 \text{ с}.$$

Ответ: $t \approx 2$ с.

3. *Возможное решение.*

Для энергии одного фотона запишем: $E_{\text{фот}} = h\nu = h \cdot \dfrac{c}{\lambda}$,

где c — скорость света в вакууме.
Энергия, излучаемая указкой за время t: $E = P \cdot t = N \cdot E_{\text{фот}}$.
Для мощности излучения получаем:

$$P = \frac{N \cdot h \cdot c}{t \cdot \lambda} = \frac{6 \cdot 10^{16} \cdot 6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{5 \cdot 600 \cdot 10^{-9}} \approx 0{,}004 \text{ Вт} = 4 \text{ мВт}.$$

Ответ: $P \approx 4$ мВт.

4. *Возможное решение.*

Запишем выражение для энергии фотона: $E_1 = \frac{hc}{\lambda}$.

Найдём энергию всех фотонов, излучаемых за время t:

$E = \frac{hc}{\lambda} \cdot N \cdot \frac{t}{\tau}$, где N — число фотонов, излучаемых за $\tau = 1$ с.

Найдём количество теплоты, которое требуется для плавления льда и нагревания воды: $Q = mL + c_{уд} m\Delta t$.

Используем закон сохранения энергии с учётом коэффициента поглощения α:

$$\alpha \cdot \frac{hc}{\lambda} \cdot N \cdot \frac{t}{\tau} = c_{уд} m\Delta t + Lm.$$

Отсюда получим ответ:

$$N = \frac{m \cdot \left(L + c_{уд}\Delta t\right) \cdot \lambda\tau}{\alpha hct} =$$

$$= \frac{1 \cdot \left(3{,}3 \cdot 10^5 + 4200 \cdot 100\right) \cdot 3{,}3 \cdot 10^{-7} \cdot 1}{0{,}5 \cdot 6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1{,}25 \cdot 10^4} = 2 \cdot 10^{20}.$$

Ответ: $N = 2 \cdot 10^{20}$.

5. *Ответ*: $m \approx 1$ кг.

6. *Возможное решение.*

Энергия фотона связана с частотой колебаний световой волны соотношением Планка: $E_ф = h\nu$.

В соответствии с постулатами Бора при переходах между уровнями с энергиями E_m и E_n поглощаются и излучаются фотоны с энергией $E_ф$, удовлетворяющей условию

$\left|E_m - E_n\right| = E_ф = h\nu_{mn}$.

В последовательности переходов между уровнями энергий $E_1 \to E_3 \to E_2 \to E_4 \to E_1$, при которых атом из состояния с энергией E_1 возвращается в это же состояние, суммарная энергия поглощённых фотонов равна суммарной энергии излучённых фотонов:

$h\nu_{13} - h\nu_{32} + h\nu_{24} - h\nu_{41} = 0$,

что определяет искомую частоту: $\nu_{24} = \nu_{41} - \nu_{13} + \nu_{32}$.

Частота света, излучаемого при переходе $4 \to 1$, связана с длиной волны λ соотношением $\nu_{41} = \frac{c}{\lambda}$, поэтому выражение для искомой частоты записывается в виде

$$\nu_{24} = \frac{c}{\lambda} - \nu_{13} + \nu_{32}.$$

Подставляя значения физических величин, получим:

$$\nu_{24} = \left(\frac{3 \cdot 10^8}{360 \cdot 10^{-9}} - 7 \cdot 10^{14} + 3 \cdot 10^{14} \right) \text{Гц} \approx 4{,}3 \cdot 10^{14} \text{ Гц}.$$

Ответ: $\nu_{24} \approx 4{,}3 \cdot 10^{14}$ Гц.

7. *Возможное решение.*

Частота фотона, испускаемого атомом при переходе с одного уровня энергии на другой, пропорциональна разности энергий этих уровней $\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$.

Поэтому запишем:

$\nu_{41} = \nu_{31} + \nu_{42} - \nu_{32} = 10^{14} \cdot (6 + 4 - 3) = 7 \cdot 10^{14}$ Гц.

Отсюда $\lambda_{41} = \frac{c}{\nu_{41}}$.

Ответ: $\lambda_{41} \approx 4{,}3 \cdot 10^{-7}$ м.

8. *Возможное решение.*

Максимальная длина волны соответствует минимальной частоте. Частота фотона, испускаемого атомом при переходе с одного уровня энергии на другой, пропорциональна разности энергий этих уровней: $\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$.

Имеем $\nu_{21} = \nu_{13} - \nu_{32} = 10^{14} \cdot (7 - 3) = 4 \cdot 10^{14}$ (Гц),

$\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14}$ (Гц),

$\nu_{43} = \nu_{24} - \nu_{32} = 10^{14} \cdot (5 - 3) = 2 \cdot 10^{14}$ (Гц).

Минимальной здесь является частота $\nu_{43} = 2 \cdot 10^{14}$ (Гц). Ей соответствует длина волны $\lambda_{43} = \frac{c}{\nu_{43}}$.

Ответ: $\lambda_{43} \approx 1{,}5 \cdot 10^{-6}$ м.

9. *Возможное решение.*

Энергия фотона связана с длиной световой волны соотношением Планка:

$$E_{\text{ф}} = \frac{hc}{\lambda}.$$

В соответствии с постулатами Бора при переходах между уровнями с энергиями E_m и E_n поглощаются и излучаются фотоны с энергией $E_{\text{ф}}$, удовлетворяющей условию

$$|E_m - E_n| = E_{\text{ф}} = \frac{hc}{\lambda_{mn}}.$$

В последовательности переходов между уровнями энергий $E_1 \to E_3 \to E_2 \to E_4 \to E_1$, при которых атом из состояния с энергией E_1 возвращается в это же состояние, суммарная энергия поглощённых фотонов равна суммарной энергии излучённых фотонов:

$$\frac{hc}{\lambda_{13}} - \frac{hc}{\lambda_{32}} + \frac{hc}{\lambda_{24}} - \frac{hc}{\lambda_{41}} = 0,$$

что определяет искомую длину волны: $\frac{1}{\lambda_{32}} = \frac{1}{\lambda_{13}} + \frac{1}{\lambda_{24}} - \frac{1}{\lambda_{41}}$,

где $\lambda_{41} = \lambda_0$.

Отсюда: $\lambda_{24} = \frac{\lambda_{13}\lambda_{32}\lambda_0}{\lambda_{13}\lambda_{32} - \lambda_0\lambda_{32} + \lambda_{13}\lambda_{_0}}$.

Подставляя значения физических величин, получим:

$$\lambda_{24} = \frac{250 \cdot 300 \cdot 550}{300 \cdot 550 - 250 \cdot 550 + 300 \cdot 250} \approx 400 \text{ нм}.$$

Ответ: $\lambda_{24} \approx 400$ нм.

10. *Возможное решение.*

Минимальная длина волны соответствует максимальной частоте и энергии фотона.

То есть $\lambda_0 = \lambda_{41}$, и $\nu_{14} = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2{,}5 \cdot 10^{-7}} = 1{,}2 \cdot 10^{15}$(Гц).

Имеем: $\nu_{42} = \frac{c}{\lambda_{42}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 0{,}75 \cdot 10^{15}$(Гц);

$$\nu_{32} = \frac{c}{\lambda_{32}} = \frac{3 \cdot 10^8}{5{,}45 \cdot 10^{-7}} \approx 0{,}55 \cdot 10^{15}(\text{Гц}).$$

Частота фотона, испускаемого атомом при переходе с одного уровня энергии на другой, пропорциональна разности энергий этих уровней. Поэтому $\nu_{13} = \nu_{14} - \nu_{24} + \nu_{32} = 1 \cdot 10^{15}$ Гц,

$$\lambda_{13} = \frac{c}{\nu_{13}} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^{15}} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

Ответ: $3 \cdot 10^{-7}$ м.

11. *Возможное решение.*

Частота фотона, испускаемого атомом при переходе с одного уровня энергии на другой, пропорциональна разности энергий этих уровней. Поэтому имеем:

$\nu_{41} = \nu_{31} + \nu_{43}$, $\nu_{43} = \nu_{42} - \nu_{32}$. Отсюда: $\nu_{41} = \nu_{31} + \nu_{42} - \nu_{32}$.

Имеем: $\nu_{31} = \frac{c}{\lambda_{31}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 0{,}75 \cdot 10^{15} (\text{Гц})$,

$$\nu_{42} = \frac{c}{\lambda_{42}} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} = 0{,}6 \cdot 10^{15} (\text{Гц}),$$

$$\nu_{32} = \frac{c}{\lambda_{32}} = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{-7}} = 0{,}5 \cdot 10^{15} (\text{Гц}).$$

Поэтому $\nu_{41} = 0{,}85 \cdot 10^{15}$ Гц,

$$\lambda_{41} = \frac{c}{\nu_{41}} = \frac{3 \cdot 10^8}{0{,}85 \cdot 10^{15}} \approx 350 (\text{нм}).$$

Ответ: 350 нм.

12. *Возможное решение.*

В серии Лаймана энергия фотона равна $E_n - E_1$,

где $n = 2, 3, \ldots$. Аналогично в серии Бальмера энергия фотона равна $E_n - E_2$, где $n = 3, 4, \ldots$.

Частота фотона связана с его энергией равенством $h\nu = E$,

где h — постоянная Планка.

Поэтому $\beta = \frac{E_\infty - E_1}{E_\infty - E_2} = \frac{0 - (-1)}{0 - \left(-\frac{1}{2^2}\right)} = 4.$

Ответ: $\beta = 4$.

13. *Возможное решение.*

В серии Бальмера энергия фотона равна $E_n - E_2$,

где $n = 3, 4, \ldots$. Аналогично в серии Пашена энергия фотона равна $E_n - E_3$, где $n = 4, 5, \ldots$.

Частота фотона связана с его энергией равенством $h\nu = E$,

где h — постоянная Планка. Поэтому

$$\beta = \frac{E_3 - E_2}{E_\infty - E_3} = \frac{-\frac{1}{3^2} - \left(-\frac{1}{2^2}\right)}{0 - \left(-\frac{1}{3^2}\right)} = \frac{5 \cdot 3^2}{3^2 \cdot 2^2}.$$

Ответ: $\beta = 1{,}25$.

14. *Возможное решение.*

В серии Лаймана энергия фотона равна $E_n - E_1$,

где $n = 2, 3, \ldots$. Аналогично в серии Бальмера энергия фотона равна $E_n - E_2$, где $n = 3, 4, \ldots$. Длина волны λ фотона связана с его энергией равенством $\frac{hc}{\lambda} = E$, где h — постоянная Планка, c — скорость света. Отсюда следует, что максимальная длина волны фотона отвечает его минимальной энергии, поэтому:

$$\gamma = \frac{\max \lambda_B}{\max \lambda_L} = \frac{hc/\max \lambda_L}{hc/\max \lambda_B} = \frac{E_2 - E_1}{E_3 - E_2} = \frac{1 - \frac{1}{2^2}}{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}} = \frac{3/4}{5/36} = 5{,}4.$$

Ответ: $\gamma = 5{,}4$.

15. *Возможное решение.*

В серии Лаймана энергия фотона равна $E_n - E_1$, где $n = 2, 3, \ldots$.

Аналогично в серии Бальмера энергия фотона равна $E_n - E_2$, где $n = 3, 4, \ldots$.

Частота фотона связана с его энергией равенством $h\nu = E$, где h — постоянная Планка. Поэтому

$$\beta = \frac{\nu_{\min_1}}{\nu_{\max_2}} = \frac{E_2 - E_1}{E_\infty - E_2} = \frac{1 - \frac{1}{2^2}}{\frac{1}{2^2} - 0} = \frac{\frac{3}{4}}{\frac{1}{4}} = 3.$$

Ответ: $\beta = 3$.

16. *Возможное решение.*

В электрическом поле электрон приобретает энергию $E = e\Delta U = 15\,000$ эВ.

Начальная энергия фотоэлектронов $E_к = \frac{hc}{\lambda_1} - A_{вых.} \approx 0{,}5$ эВ.

Она много меньше E, и ею можно пренебречь.

Энергия одного падающего фотона $E_ф = \frac{hc}{\lambda_1} \approx 1{,}5$ эВ.

На выбивание 1 электрона тратится: $10\,E_ф \approx 15$ эВ.

Следовательно, $N \approx \frac{15\,000 \text{ эВ}}{15 \text{ эВ}} = 1000.$

Ответ: $N = 1000$.

17. *Возможное решение.*

В электрическом поле электрон приобретает энергию $E = e\Delta U = 15\,000$ эВ.

Начальная энергия фотоэлектронов $E_к = \frac{hc}{\lambda_1} - A_{вых.} \approx 0{,}5$ эВ.

Она много меньше E, и ею можно пренебречь. Число фотонов, выбиваемых электронами, пропорционально числу электронов и отношению энергии электрона к энергии фотона $E_ф = \frac{hc}{\lambda_2}$:

$n_{ф2} = \frac{e\Delta U \lambda_2 n_{эл}}{hc}$; число падающих фотонов $n_{ф1} = kn_{эл}$. Отсюда:

$$N = \frac{n_{ф2}}{n_{ф1}} = \frac{e\Delta U \lambda_2}{hck} \approx 500.$$

Ответ: $N \approx 500$.

18. *Возможное решение.*

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта

$h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = A_{вых} + E_{кин}$, где h — постоянная Планка, c — скорость света в вакууме, $E_{кин}$ — максимальная кинетическая энергия электронов.

$E_{кин} = \frac{m_e \upsilon_{max}^2}{2} = \frac{p_{max}^2}{2m_e}$, где m_e — масса электрона, υ_{max} — его максимальная скорость.

Объединяя 1 и 2, получим:

$$p_{max} = \sqrt{2m_e \cdot \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{вых}\right)} =$$

$$= \sqrt{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot \left(\frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{531 \cdot 10^{-9}} - 1{,}73 \cdot 10^{-19}\right)} \approx$$

$$\approx 6 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

Ответ: $p_{max} \approx 6 \cdot 10^{-25}$ кг · м/с.

19. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + E_к. \qquad (1)$$

Выражение, связывающее импульс и кинетическую энергию электрона:

$$p = \sqrt{2mE_к}. \qquad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) получаем выражение для максимального импульса фотоэлектронов:

$$p = \sqrt{2m \cdot \left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)} =$$

$$= \sqrt{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot \left(\frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{200 \cdot 10^{-9}} - 4{,}54 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\right)} \approx$$

$$\approx 6{,}9 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

Ответ: $p \approx 6{,}9 \cdot 10^{-25}$ кг · м/с.

20. *Возможное решение.*

Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{вых} + \frac{m\upsilon^2}{2}.$$

Записана формула, связывающая частоту и длину волны фотона: $\lambda = \frac{c}{\nu}$,

$$\frac{ch}{\lambda_{кр}} = A_{вых}.$$

Выполнены математические преобразования, получен ответ в общем виде: $\upsilon = \sqrt{\dfrac{2ch \cdot \left(\dfrac{1}{\lambda} - \dfrac{1}{\lambda_{кр}}\right)}{m}}$ и правильный числовой ответ: $\upsilon = 800$ км/с.

Ответ: 800 км/с.

21. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для двух частот:

$h\nu = A + eU$, (1)

$2h\nu = A + 3eU$. (2)

Выражение для красной границы фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda_к} = A.$$

Из уравнений (1) и (2) следует, что $A = \dfrac{h\nu}{2}$.

Для искомой длины волны $\lambda_к = \dfrac{2c}{\nu}$.

Ответ: $\lambda_к = 8 \cdot 10^{-7}$ м = 800 нм.

22. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта в первом опыте:

$$h\nu_1 = A_{вых} + \frac{m\upsilon_{1max}^2}{2}. \quad (1)$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта во втором опыте:

$$h\nu_2 = A_{вых} + \frac{m\upsilon_{2max}^2}{2}. \quad (2)$$

Связь длины волны света с частотой в первом опыте:

$$\lambda_1 = \frac{c}{\nu_1}. \quad (3)$$

Связь длины волны света с частотой во втором опыте:

$$\lambda_2 = \frac{c}{\nu_2}. \quad (4)$$

Отношение максимальных скоростей фотоэлектронов:

$$n = \frac{\upsilon_{1max}}{\upsilon_{2max}}. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (1) – (5), получаем:

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc \cdot \left(n^2 - \dfrac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)}{\lambda_2 \cdot \left(n^2 - 1 \right)}.$$

Ответ: $A_{\text{вых}} \approx 3{,}0 \cdot 10^{-19}$ Дж $\approx 1{,}9$ эВ.

23. *Возможное решение* (рисунок не обязателен).

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (1)$$

Условие связи красной границы фотоэффекта и работы выхода:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A. \qquad (2)$$

Выражение для запирающего напряжения — условие равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения потенциальной энергии электрона при его перемещении в электростатическом поле: $\dfrac{m\upsilon^2}{2} = eU.$ (3)

Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем ответ:

$$\lambda_0 = \frac{hc\lambda}{hc - eU\lambda} = 450 \text{ нм}.$$

Ответ: 450 нм.

24. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (1)$$

Условие связи красной границы фотоэффекта и работы выхода:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A. \qquad (2)$$

Выражение для запирающего напряжения — условие равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле: $\dfrac{m\upsilon^2}{2} = eU.$ (3)

Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем ответ:

$$\lambda = \frac{hc\lambda_0}{hc + eU\lambda_0} \approx 300 \text{ нм}.$$

Ответ: ≈ 300 нм.

25. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{m\upsilon^2}{2}. \quad (1)$$

Условие связи красной границы фотоэффекта и работы выхода:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A. \quad (2)$$

Выражение для запирающего напряжения — условие равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = eU. \quad (3)$$

Решая систему уравнений(1), (2) и (3), получаем ответ:

$$U = \frac{hc \cdot (\lambda_0 - \lambda)}{\lambda\lambda_0 e} \approx 1{,}4 \text{ В}.$$

Ответ: ≈ 1,4 В.

26. *Возможное решение.*

Запишем условие связи «красной границы» фотоэффекта и работы выхода для калия:

$h\nu_1 = A_1$.

Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта в случае облучения другого металла:

$h\nu_1 = A_{2\text{Вых}} + E_{2\text{Макс}}$.

По условию задачи $E_{2\text{Макс}} = \frac{A_{2\text{Вых}}}{4}$,

поэтому из последних двух уравнений получим:

$$A_{2\text{Вых}} = \frac{4h\nu_1}{5}.$$

Из условия $A_{2\text{Вых}} = h\nu_2$

получим:

$$\nu_2 = \frac{4\nu_1}{5} = \frac{4 \cdot 5{,}33 \cdot 10^{14}}{5} \approx 4{,}26 \cdot 10^{14} \text{ Гц}.$$

Ответ: $\nu_2 \approx 4{,}26 \cdot 10^{14}$ Гц.

27. *Возможное решение.*

Запишем условие связи «красной границы» фотоэффекта и работы выхода для калия:

$$\frac{hc}{\lambda_1} = A_1.$$

Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта в случае облучения другого металла:

$$\frac{hc}{\lambda_1} = A_{2\text{Вых}} + E_{2\text{Макс}}.$$

По условию задачи $E_{2\text{Max}} = \frac{A_{2\text{Вых}}}{3}$,

поэтому из последних двух уравнений получим: $A_{2\text{Вых}} = \frac{3hc}{4\lambda_1}$.

Из условия $A_{2\text{Вых}} = \frac{hc}{\lambda_2}$

получим:

$$\lambda_2 = \frac{4\lambda_1}{3} = \frac{4 \cdot 563 \cdot 10^{-9}}{3} \approx 751 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 751 \text{ нм}.$$

Ответ: $\lambda_2 \approx 751$ нм.

28. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}. \qquad (1)$$

Условие связи «красной границы» фотоэффекта и работы выхода:

$$h\nu_0 = A. \qquad (2)$$

Выражение для запирающего напряжения — условие равенства максимальной кинетической энергии фотоэлектрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле:

$$\frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} = eU. \qquad (3)$$

Решая систему уравнений (1) – (3), получаем:

$$U = \frac{h\cdot(\nu-\nu_0)}{e} = \frac{6{,}6\cdot10^{-34}\cdot(1{,}7-1)\cdot10^{15}}{1{,}6\cdot10^{-19}} \approx 2{,}9 \text{ В}.$$

Ответ: $U \approx 2{,}9$ В.

Примечание: ответ $U \approx -2{,}9$ В считается верным, если из решения следует, что речь идёт о потенциале анода относительно катода.

29. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}. \qquad (1)$$

Условие связи «красной границы» фотоэффекта и работы выхода:

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A. \qquad (2)$$

Выражение для запирающего напряжения — условие равенства максимальной кинетической энергии фотоэлектрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле:

$$\frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} = eU. \qquad (3)$$

Решая систему уравнений (1) – (3), получаем:

$$U = \frac{h\cdot\left(\nu-\dfrac{c}{\lambda_0}\right)}{e} = \frac{6{,}6\cdot10^{-34}\cdot\left(2\cdot10^{15}-\dfrac{3\cdot10^8}{290\cdot10^{-9}}\right)}{1{,}6\cdot10^{-19}} \approx 4 \text{ В}.$$

Ответ: $U \approx 4$ В.

Примечание: ответ $U \approx -4$ В считается верным, если из решения следует, что речь идёт о потенциале анода относительно катода.

30. *Возможное решение.*

Энергия фотона $h\nu = E_2 - E_1$.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = h\nu_{\text{кр}} + \dfrac{m_e\upsilon_{\max}^2}{2}$.

Отсюда $\upsilon_{\max} = \sqrt{\frac{2}{m_e} \cdot \left(\left(E_2 - E_1 \right) - h\nu_{\text{кр}} \right)} \approx 1{,}65 \cdot 10^6$ м/с.

Ответ: $\upsilon_{\max} \approx 1{,}65 \cdot 10^6$ м/с.

31. *Возможное решение.*

Энергия фотона: $h\nu = E_2 - E_1$.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = h\nu_{\text{кр}} + eU_{\text{зап}}$.

Отсюда $\nu_{\text{кр}} = \frac{1}{h} \cdot \left(\left(E_2 - E_1 \right) - eU_{\text{зап}} \right)$.

Ответ: $\nu_{\text{кр}} \approx 10^{15}$ Гц.

32. *Возможное решение.*

Энергия фотона $h\nu = E_2 - E_1$.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = h\nu_{\text{кр}} + \frac{p_{\max}^2}{2m_e}$.

Отсюда: $p_{\max} = \sqrt{2m_e \cdot \left(\left(E_2 - E_1 \right) - h\nu_{\text{кр}} \right)} \approx 1{,}5 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с.

Ответ: $p_{\max} \approx 1{,}5 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с.

33. *Возможное решение.*

Энергия фотона $h\nu = E_2 - E_1$.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} + E_{\max}$.

Отсюда: $E_{\max} = \left(\left(E_2 - E_1 \right) - \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} \right) \approx 9{,}7 \cdot 10^{-19}$ Дж $\approx 6{,}1$ эВ.

Ответ: $E_{\max} \approx 6{,}1$ эВ.

34. *Возможное решение.*

При поглощении фотона атом приобретает импульс. Судя по условию задачи, этим импульсом можно пренебречь. Не учитывается и тепловое движение атомов. Следовательно, после ионизации атом тоже можно считать неподвижным.

Энергия поглощённого фотона, согласно закону сохранения энергии, $E_{\text{ф}} = E_{\text{К}} - E_{(1)}$, где $E_{\text{К}}$ — кинетическая энергия элек-

трона, вылетевшего из атома, $E_К = \frac{m\upsilon^2}{2}$, $E_ф = h\nu$, соответственно, $h\nu = \frac{m\upsilon^2}{2} - E_{(1)}$, и $\nu = \frac{m\upsilon^2}{2h} - \frac{E_{(1)}}{h}$.

$$\nu = \frac{9{,}1\cdot10^{-31}\cdot\left(10^6\right)^2}{2\cdot6{,}6\cdot10^{-34}} - \frac{(-13{,}6)\cdot1{,}6\cdot10^{-19}}{6{,}6\cdot10^{-34}} =$$

$$= \frac{9{,}1\cdot10^{-19} + 43{,}52\cdot10^{-19}}{13{,}2\cdot10^{-34}} \approx 4\cdot10^{15}\,(\text{Гц}).$$

Ответ: $\nu \approx 4\cdot10^{15}$ (Гц).

35. *Возможное решение.*

Начальная скорость вылетевшего электрона $\upsilon_0 = 0$. Формула, связывающая изменение кинетической энергии частицы с работой силы со стороны электрического поля: $A = \frac{m\upsilon^2}{2}$.

Работа силы связана с напряжённостью поля и пройденным путем:

$A = FS = eES$.

Отсюда $\upsilon^2 = \frac{2eES}{m}$, $\upsilon = \sqrt{\frac{2eES}{m}}$.

Ответ: $\upsilon \approx 3\cdot10^6$ м/с.

36. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{вых} + \frac{m\upsilon_{max}^2}{2}. \qquad (1)$$

Фотоэлектроны, влетевшие в электрическое поле $\vec{E}$, будут тормозиться им и, пройдя тормозной путь d, остановятся, затем начнут двигаться обратно.

Закон сохранения энергии:

$$\frac{m\upsilon_{max}^2}{2} - e\varphi_1 = -e\varphi_2, \qquad (2)$$

откуда: $\frac{m\upsilon_{max}^2}{2} = e\left(\varphi_1 - \varphi_2\right) = eU = eEd$,

где e — модуль заряда электрона.

Объединяя (1) и (2), имеем:

$$d = \frac{h\nu - A_{\text{вых}}}{eE} = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 6{,}7 \cdot 10^{14} - 1{,}89 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 100} \approx 8{,}7 \text{ мм}.$$

Ответ: $d \approx 8{,}7$ мм.

37. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта связывает длину световой волны λ с работой выхода фотоэлектрона $A_{\text{вых}}$ и его максимальной кинетической энергией $W_{\text{кин}}$:

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + W_{\text{кин}}. \qquad (1)$$

Фотоэлектроны останавливаются, если

$$W_{\text{кин}} = eU. \qquad (2)$$

Связь разности потенциалов U с напряжённостью E однородного электростатического поля:

$$U = Ed. \qquad (3)$$

Объединяя (1) – (3), получаем:

$$E = \frac{\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}}}{ed} = \frac{\frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{0{,}25 \cdot 10^{-6}} - 4{,}5 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 450 \text{ В/м}.$$

Ответ: $E = 450$ В/м.

38. *Возможное решение.*

Максимальная кинетическая энергия $E_{\max}$ фотоэлектронов, вылетевших из пластинки, определяется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E_{\max}.$$

Максимальное удаление от пластинки d для электрона с зарядом e в однородном электрическом поле E можно найти из закона сохранения энергии:

$$E_{\max} = eEd.$$

Из приведённых уравнений получим

$$d = \frac{\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}}}{eE}.$$

Подставляя значения физических величин, получим:

$$d = \frac{\dfrac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{0{,}25 \cdot 10^{-6}} - 4{,}5 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 150} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Ответ: $d = 3$ мм.

39. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = E_к + A \text{ или } h\nu = \frac{m\upsilon^2}{2} + A_{вых}.$$

Энергия ускоренных электронов:

$$E_e = \frac{m\upsilon^2}{2} + e\Delta U = h\nu - A_{вых} + e\Delta U.$$

По условию $E_e = 2h\nu$.

Отсюда $A_{вых} = e\Delta U - h\nu$.

Ответ: $A_{вых} = 2$ эВ.

40. *Возможное решение.*

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия поглощаемого фотона равна сумме работы выхода фотоэлектрона из металла и максимальной кинетической энергии фотоэлектрона:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (1)$$

В электрическом поле на электрон действует сила, направление которой противоположно направлению вектора напряжённости поля. Поэтому в нашем случае фотоэлектроны будут ускоряться полем. В точке измерения их максимальная кинетическая энергия станет равной

$$E_K = \frac{m\upsilon^2}{2} + eU, \qquad (2)$$

где U — разность потенциалов между поверхностью пластины и эквипотенциальной поверхностью на расстоянии L = 10 см от неё.

Поскольку поле однородное и вектор $\vec{E}$ перпендикулярен пластине, то

$U = EL.$ (3)

Решая систему уравнений (1), (2) и (3), находим:

$h\nu = A + E_K - eEL.$

Отсюда:

$$A = h\nu - E_K + eEL = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{15}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} - 15{,}9 + 130 \cdot 0{,}1 = 3{,}7 \text{ эВ}.$$

Ответ: $A = 3{,}7$ эВ.

41. *Возможное решение.*

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия поглощаемого фотона равна сумме работы выхода фотоэлектрона из металла и максимальной кинетической энергии фотоэлектрона:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (1)$$

В электрическом поле на электрон действует сила, направление которой противоположно направлению вектора напряжённости поля. Поэтому в нашем случае фотоэлектроны будут ускоряться полем. В точке измерения их максимальная кинетическая энергия

$$E_K = \frac{m\upsilon^2}{2} + eU, \qquad (2)$$

где U — разность потенциалов между поверхностью пластины и эквипотенциальной поверхностью на расстоянии L = 10 см от неё.

Поскольку поле однородное и вектор $\vec{E}$ перпендикулярен пластине, то

$U = EL.$ (3)

Решая систему уравнений (1), (2) и (3), находим:

$h\nu = A + E_K - eEL.$

Отсюда:

$$E_K = h\nu - A + eEL = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{15}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} - 3{,}7 + 130 \cdot 0{,}1 =$$

$= 15{,}9$ эВ.

Ответ: $E_K = 15{,}9$ эВ.

42. *Возможное решение.*

Электрон в магнитном поле движется по окружности радиуса R со скоростью υ и центростремительным ускорением $a = \frac{\upsilon^2}{R}$.

Ускорение вызывается силой Лоренца $F = e\upsilon B$ в соответствии со вторым законом Ньютона: $ma = F$,

или $m \cdot \frac{\upsilon^2}{R} = e\upsilon B \Rightarrow \upsilon = \frac{eBR}{m}$.

Для определения максимальной скорости движения электрона воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}.$$

Подставляя в это уравнение скорость электрона, получим выражение для частоты света $\nu = \frac{A}{h} + \frac{(eBR)^2}{2mh}$.

Ответ: $\nu \approx 1 \cdot 10^{15}$ Гц.

43. *Возможное решение.*

Согласно закону фотоэффекта $h\nu = \frac{m\upsilon^2}{2} + A_{\text{вых}}$, или $\frac{hc}{\lambda} = \frac{m\upsilon^2}{2} + A_{\text{вых}}$. Сила Лоренца вызывает центростремительное ускорение: $\frac{m\upsilon^2}{R} = e\upsilon B$, откуда скорость электрона $\upsilon = \frac{eRB}{m}$. Тогда из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{e^2B^2R^2}{2m} =$$

$$= \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{660 \cdot 10^{-9}} - \frac{\left(1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3}\right)^2}{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}} \approx$$

$$\approx 2{,}44 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: $A_{\text{вых}} \approx 2{,}44 \cdot 10^{-19}$ Дж.

44. *Ответ*: $R = \frac{\sqrt{2m \cdot \left(h \cdot \frac{c}{\lambda} - A\right)}}{eB} = 4{,}7 \cdot 10^{-3}$ м.

45. *Ответ*: $B = \frac{\sqrt{2m \cdot (h\nu - A)}}{eR} = 1{,}6 \cdot 10^{-3}$ Тл.

46. *Ответ*: $B = \dfrac{m \cdot \sqrt{\dfrac{2}{m} \cdot \left(\dfrac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)}}{eR} = 1{,}1 \cdot 10^{-3}$ Тл.

47. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{к}}$, где $E_{\text{к}}$ — максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, $A_{\text{вых}} = \dfrac{hc}{\lambda_0}$.

Фототок прекращается, когда $E_{\text{к}} = eU$, где U — напряжение между электродами, или напряжение на конденсаторе.
Заряд конденсатора $q = CU$.
В результате получаем:

$$\nu = \frac{c}{\lambda_0} + \frac{eq}{Ch} = \frac{3 \cdot 10^8}{450 \cdot 10^{-9}} + \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 5{,}5 \cdot 10^{-9}}{4000 \cdot 10^{-12} \cdot 6{,}6 \cdot 10^{-34}} \approx 10^{15} \text{ Гц}.$$

Ответ: $\nu \approx 10^{15}$ Гц.

48. *Ответ*: $C = 4000$ пФ.

49. *Возможное решение.*

Записана формула для давления света при его зеркальном отражении: $p = \dfrac{2W}{c}$.

Учтено, что свет отражается зеркально, записаны выражения
— для силы давления: $F = \dfrac{2WS}{c}$,
— II-го закона Ньютона: $F = ma$.
Выполнены математические преобразования и получен ответ в общем виде:

$S = \dfrac{cma}{2W}$ и правильный числовой ответ:

$S = 5{,}5 \cdot 10^4$ м^2.

Ответ: $5{,}5 \cdot 10^4$ м^2.

50. *Ответ*: $m = \dfrac{2WS}{ac}$, $m = 91$ кг.

51. *Возможное решение.*

Законы сохранения энергии и импульса для α-распада ядра покоящегося нейтрального атома: $\begin{cases} \dfrac{m_\alpha \upsilon^2}{2} + \dfrac{Mu^2}{2} = \Delta E, \\ m_\alpha \vec{\upsilon} + M\vec{u} = 0. \end{cases}$

Уравнение движения α-частицы в магнитном поле: $\dfrac{m_\alpha \upsilon^2}{r} = 2 \cdot |e\upsilon B|$.

Решая систему трёх уравнений, получаем:

$\Delta E = \dfrac{(2eBr)^2}{2m_\alpha} \cdot \left(1 + \dfrac{m_\alpha}{M}\right)$, откуда $B = \dfrac{1}{2er} \cdot \sqrt{\dfrac{2m_\alpha \Delta E}{1 + \dfrac{m_\alpha}{M}}}$.

52. *Возможное решение.*

Законы сохранения энергии и импульса для α-распада ядра покоящегося нейтрального атома: $\begin{cases} \dfrac{m_\alpha \upsilon^2}{2} + \dfrac{Mu^2}{2} = \Delta E, \\ m_\alpha \vec{\upsilon} + M\vec{u} = 0. \end{cases}$

Уравнение движения тяжелого иона с зарядом $q = -2e$ в магнитном поле:

$\dfrac{Mu^2}{R} = 2 \cdot |euB|$.

Решая систему трёх уравнений, получаем:

$\Delta E = \dfrac{(2eBR)^2}{2m_\alpha} \cdot \left(1 + \dfrac{m_\alpha}{M}\right)$,

откуда $\left|\dfrac{q}{M}\right| = \left|\dfrac{2e}{M}\right| = \dfrac{2e}{m_\alpha} \cdot \left[\dfrac{2m_\alpha \Delta E}{(2eBR)^2} - 1\right]$.

53. *Ответ*: $B = \dfrac{1}{2eR} \cdot \sqrt{\dfrac{2m_\alpha \Delta E}{1 + \dfrac{m_\alpha}{M}}}$.

54. *Возможное решение.*

За время Δt в препарате выделяется количество теплоты $Q = A \cdot E \cdot \Delta t$, где

A — активность препарата, E — энергия α-частицы, Δt — время.

Изменение температуры контейнера определяется равенством $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$, где c — удельная теплоёмкость меди, m — масса контейнера, ΔT — изменение температуры контейнера.

Выделившееся количество теплоты идёт на нагревание контейнера. Отсюда $\Delta t = \dfrac{cm\triangle T}{AE} \approx 23$ мин.

Ответ: ≈ 23 мин.

55. *Возможное решение.*

За время Δt в препарате выделяется количество теплоты $Q = A \cdot E \cdot \Delta t$, где

A — активность препарата, E — энергия α-частицы, Δt — время.

Изменение температуры контейнера определяется равенством $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$, где c — удельная теплоёмкость меди, m — масса контейнера, ΔT — изменение температуры контейнера.

Выделившееся количество теплоты идёт на нагревание контейнера. Отсюда $A = \dfrac{cm\Delta T}{E\Delta t}$. $A \approx 1{,}7 \cdot 10^{11}$ с$^{-1}$.

Ответ: ≈ $1{,}7 \cdot 10^{11}$ с$^{-1}$.

56. *Возможное решение.*

Если при столкновении с атомом электрон приобрёл энергию, то атом перешёл в состояние $E^{(0)}$. Следовательно, после столкновения кинетическая энергия электрона стала равной $E = E_0 + 3{,}5$ эВ, где E_0 — энергия электрона до столкновения; отсюда: $E_0 = E - 3{,}5$ эВ. Импульс p электрона связан с его кинетической энергией соотношением $p^2 = m^2\upsilon^2 = 2mE$, или $E = \dfrac{p^2}{2m}$, где m — масса электрона.

Следовательно, $E_0 = \dfrac{p^2}{2m} - 3{,}5$ эВ =

$= \dfrac{1{,}44 \cdot 10^{-48}}{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}} - 3{,}5 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \approx 2{,}3 \cdot 10^{-19}$ (Дж).

Ответ: $2{,}3 \cdot 10^{-19}$ Дж.

57. *Возможное решение.*

Если при столкновении с атомом электрон приобрёл энергию, то атом перешёл в состояние $E^{(0)}$. Следовательно, после столкновения кинетическая энергия электрона стала

$E = 1{,}5$ эВ $+ 3{,}5$ эВ $= 5$ эВ $\approx 8 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Импульс p электрона связан с его кинетической энергией соотношением

$p^2 = m^2\upsilon^2 = 2mE$, или $p = \sqrt{2mE}$, где m — масса электрона.

Поэтому

$p = \sqrt{2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 8 \cdot 10^{-19}} \approx 1{,}2 \cdot 10^{-24}$ (кг · м/с).

Ответ: $1{,}2 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с.

58. *Возможное решение.*

Выражение для энергии фотона: $E_1 = \dfrac{hc}{\lambda}$.

Энергия всех фотонов, излучаемых за время t: $E = \dfrac{hc}{\lambda} \cdot \dfrac{N}{\tau} \cdot t$.

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды: $Q = c_{\text{уд}} m\Delta t$.

Закон сохранения энергии: $E = Q \Rightarrow \dfrac{hc}{\lambda} \cdot \dfrac{N}{\tau} \cdot t = c_{\text{уд}} m\Delta t$.

Выражение для массы воды: $m = \dfrac{hcNt}{c_{\text{уд}}\Delta t\lambda\tau}$.

Ответ: $m = 1$ кг.

59. *Возможное решение.*

Выражение для энергии фотона: $E_1 = \dfrac{hc}{\lambda}$.

Энергия всех фотонов, излучаемых за время t: $E = \dfrac{hc}{\lambda} \cdot \dfrac{N}{\tau} \cdot t$.

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды: $Q = c_{\text{уд}} m\Delta t$.

Закон сохранения энергии: $E = Q \Rightarrow \dfrac{hc}{\lambda} \cdot \dfrac{N}{\tau} \cdot t = c_{\text{уд}} m\Delta t$.

Выражение для длины волны: $\lambda = \dfrac{hcNt}{c_{\text{уд}} m\Delta t\tau}$.

Ответ: $\lambda = 3{,}3 \cdot 10^{-7}$ м.

60. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения импульса, фотоны от распада покоящегося π^0-мезона разлетаются в противоположные стороны с равными по величине импульсами: $|\vec{p}_1| = |\vec{p}_2| = p$. Энергия каждого фотона связана с величиной его импульса соотношением $E = pc$.

Согласно релятивистскому закону сохранения энергии, в распаде $mc^2 = 2pc$.

Следовательно, $|p| = mc/2$.

Ответ: $p = \dfrac{mc}{2} = 3{,}6 \cdot 10^{-20}$ кг · м/с.

61. *Возможное решение.*

Пион, движущийся со скоростью V, имеет импульс $p = mV$ и энергию $E = \dfrac{mc^2}{\sqrt{1 - \dfrac{V^2}{c^2}}} \approx mc^2$, где m — масса пиона.

Энергия γ-кванта E_γ и его импульс p_γ связаны соотношением $p_\gamma = \dfrac{E_\gamma}{c}$.

При распаде пиона на два кванта энергия системы и её импульс сохраняются:

$mc^2 = E_1 + E_2$, $mV = \dfrac{E_1}{c} - \dfrac{E_2}{c}$.

Разделив второе уравнение на первое, получим: $\dfrac{V}{c} = \dfrac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2}$.

По условию задачи $E_1 = 1{,}1 \cdot E_2$, так что $V = \dfrac{c}{21} \approx 1{,}43 \cdot 10^7$ м/с.

Ответ: $V \approx 1{,}43 \cdot 10^7$ м/с.

62. *Возможное решение.*

За время $\Delta t = 1$ с в образце выделяется энергия: $\Delta E = E \cdot \dfrac{\Delta t}{T}$.

Энергия одной α-частицы: $E_1 = \dfrac{p^2}{2m} = \dfrac{\Delta E}{N}$.

Импульс α-частицы: $p = \sqrt{2mE_1} = \sqrt{2mE \cdot \dfrac{\Delta t}{NT}}$.

Ответ: $p \approx 1{,}0 \cdot 10^{-19}$ кг · м/с.

63. *Возможное решение.*

Энергия одной α-частицы: $E_1 = \frac{m\upsilon^2}{2}$.

За время $\Delta t = 1$ с в образце выделяется энергия:

$\Delta E = NE_1 = N \cdot \frac{m\upsilon^2}{2}$.

За время $T = 1$ ч выделяется энергия:

$E = \frac{T}{\Delta t} \cdot \Delta E = \frac{T}{\Delta t} \cdot N \cdot \frac{m\upsilon^2}{2}$.

Ответ: $E \approx 100$ Дж.

64. *Ответ*: $\upsilon = 1{,}5 \cdot 10^7$ м/с.

65. *Возможное решение.*

За время Δt в препарате выделяется количество теплоты $Q = A \cdot E \cdot \Delta t$, где

A — активность препарата, E — энергия α-частицы, Δt — время.

Изменение температуры контейнера определяется равенством $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$, где c — удельная теплоёмкость меди, m — масса контейнера, ΔT — изменение температуры контейнера.

Выделившееся количество теплоты идёт на нагревание контейнера. Отсюда $\Delta T = \frac{AE\Delta t}{cm} \approx 2{,}7$ К.

Ответ: $\approx 2{,}7$ К.

66. *Возможное решение.*

За время Δt в препарате выделяется количество теплоты $Q = A \cdot E \cdot \Delta t$, где

A — активность препарата, E — энергия α-частицы.

Изменение температуры контейнера определяется равенством $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$, где c — удельная теплоёмкость металла, m — масса контейнера, ΔT — изменение температуры контейнера.

Выделившееся количество теплоты идёт на нагревание контейнера. Отсюда $c = \frac{AE\Delta t}{\Delta T m}$. $c \approx 400$ Дж/(кг · К).

Ответ: $c \approx 400$ Дж/(кг · К).

67. *Возможное решение.*

Выражение для давления света

$$P = P_{\text{отр}} + P_{\text{погл}} = \frac{N_{\text{отр}}\Delta p_{\text{отр}} + N_{\text{погл}}\Delta p_{\text{погл}}}{S\Delta t}. \qquad (1)$$

(Формула (1) следует из: $\vec{F} = \Delta\vec{p}/\Delta t$ и $P = F/S$)

Формулы для изменения импульса фотона при отражении и поглощении лучей $\Delta p_{\text{отр}} = 2p$, $\Delta p_{\text{погл}} = p$; число отражённых $N_{\text{отр}} = 0{,}4 \cdot N$ и поглощённых $N_{\text{погл}} = 0{,}6 \cdot N$ фотонов.

Тогда выражение (1) принимает вид $P = \frac{1{,}4 \cdot Np}{S\Delta t}$.

Для импульса фотона $p = \frac{h}{\lambda}$.

Выражение для длины волны излучения $\lambda = \frac{1{,}4 \cdot Nh}{PS\Delta t}$.

Ответ: $\lambda = \frac{1{,}4 \cdot 5 \cdot 10^{14} \cdot 6{,}6 \cdot 10^{-34}}{1{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}7 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 5{,}5 \cdot 10^{-7}$ м.

68. *Ответ*: $P = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ Па.

69. *Возможное решение.*

Активность всего объёма крови пациента по прошествии времени t равна $a(t) = a_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$.

Активность образца крови в момент времени t: $a = a(t) \cdot \frac{V_0}{V}$.

Отсюда $V_0 = V \cdot \frac{a \cdot 2^{\frac{t}{T}}}{a_0}$.

Ответ: $V_0 \approx 1$ см^3.

70. *Ответ*: $V = 6$ л.

71. *Возможное решение.*

Модуль силы, действующей со стороны электрического поля $\vec{E}$ на электрон, не зависит от скорости:

$$|F_э| = |e| \cdot E, \qquad (1)$$

а модуль силы Лоренца пропорционален скорости электрона:

$$|F_л| = |e| \cdot \upsilon B. \qquad (2)$$

Для того чтобы электроны отклонялись в положительном направлении оси OY, должно быть

$F_л > F_э$ или $\upsilon B > E$. (3)

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}. \quad (4)$$

Из (1) – (4), получаем: $E < B \cdot \sqrt{\frac{2(h\nu - A)}{m}} \approx 300$ В/м.

Ответ: $E < 300$ В/м.

72. *Возможное решение.*

Модуль силы, действующей на электрон со стороны электрического поля $\vec{E}$, не зависит от скорости:

$|F_э| = |e| \cdot E$, (1)

а модуль силы Лоренца прямо пропорционален скорости электрона:

$|F_л| = |e| \cdot \upsilon B$. (2)

Для того чтобы электроны отклонялись в сторону, противоположную оси OY, должно быть

$F_э > F_л$ или $E > \upsilon B$. (3)

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта определяет максимальную скорость фотоэлектрона:

$$h\nu = A_{вых} + \frac{m\upsilon^2}{2}. \quad (4)$$

Из (1) – (4), получаем: $\nu < \frac{1}{h} \cdot \left(\frac{mE^2}{2B^2} + A_{вых} \right) \approx 6{,}4 \cdot 10^{14}$ Гц.

Ответ: $\nu < 6{,}4 \cdot 10^{14}$ Гц.

73. *Возможное решение.*

Для того чтобы электроны отклонялись на восток, должно быть

$|\vec{F}_э| > |\vec{F}_л|$. (1)

Модуль силы, действующей на электрон со стороны электрического поля,

$|\vec{F}_э| = |e| \cdot E$. (2)

Модуль силы Лоренца

$$\left|\vec{F}_{л}\right| = |e| \cdot \upsilon B. \qquad (3)$$

Из (1) – (3) получаем, что самые быстрые электроны отклонятся к востоку, если

$$E > \upsilon_{\max} B.$$

Скорость самых быстрых электронов определяем по уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}, \qquad (4)$$

поэтому окончательно получаем:

$$E > B \cdot \sqrt{\frac{2(h\nu - A)}{m}} =$$

$$= 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{2\left(6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 6{,}2 \cdot 10^{14} - 2{,}39 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\right)}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}} \approx 243 \text{ В/м}.$$

Ответ: $E > E_0 \approx 243$ В/м.

74. *Возможное решение.*

Для того чтобы электроны отклонялись на восток, должно быть

$$F_{э} > F_{л}. \qquad (1)$$

Модуль силы, действующей со стороны электрического поля,

$$F_{э} = e \cdot E. \qquad (2)$$

Модуль силы Лоренца

$$F_{л} = e\upsilon B. \qquad (3)$$

Из (1) – (3) получаем, что равнодействующая этих двух сил для самых быстрых электронов направлена на восток, если $E > \upsilon_{\max} B$, то есть при $\upsilon_{\max} < \frac{E}{B}$. (4)

Скорость самых быстрых электронов определяется по уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}.$$

Поэтому из неравенства (4) для работы выхода получаем:

$$A > h\nu - \frac{mE^2}{2B^2} = 6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 6{,}2 \cdot 10^{14} - \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^{-6}} \approx$$

$\approx 3{,}7 \cdot 10^{-19}$ Дж $\approx 2{,}3$ эВ.

Ответ: $A > A_0 \approx 2{,}3$ эВ.

75. *Возможное решение.*

По определению силы тока $I = \frac{q}{t}$, где q — заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t.

Когда ток в цепи достигает насыщения, все фотоэлектроны, выбитые из катода, достигают анода. Тогда за время t через поперечное сечение проводника проходит заряд $q = N_e et$, где e — модуль заряда электрона, N_e — количество фотоэлектронов, выбитых из катода за 1 с.

Так как $N_e = \frac{1}{30} \cdot N_\Phi$ (где N_Φ — количество фотонов, падающих на катод за 1 с), то $I_{\max} = \frac{1}{30} \cdot N_\Phi e$.

Так как энергия фотона $E_\Phi = h\nu$, то мощность излучения $P = \frac{W}{t} = N_\Phi h\nu = \frac{30 \cdot I_{\max} h\nu}{e}$.

Окончательно получим: $\nu = \frac{Pe}{30 \cdot I_{\max} h}$. Согласно приведённому графику сила тока насыщения $I_{\max} = 2$ мА,

тогда $\nu = \frac{0{,}21 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{30 \cdot 0{,}002 \cdot 6{,}6 \cdot 10^{-34}} \approx 8{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц.

Ответ: $\nu \approx 8{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц.

76. *Возможное решение.*

По определению сила тока $I = \frac{q}{t}$, где q — заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t.

Когда ток в цепи достигает насыщения, все фотоэлектроны, выбитые из катода, достигают анода. Тогда за время t через поперечное сечение проводника проходит заряд $q = N_e et$, где e — модуль заряда электрона, N_e — количество фотоэлектронов, выбитых из катода за 1 с.

Так как $N_e = \frac{1}{20} \cdot N_\Phi$ (где N_Φ — количество фотонов, падающих на катод за 1 с), то $I_{max} = \frac{1}{20} \cdot N_\Phi e$.

Так как энергия фотона $E_\Phi = h\nu$, то мощность света $P = \frac{W}{t} = N_\Phi h\nu$.

Окончательно получим: $P = N_\Phi h\nu = \frac{20 \cdot I_{max} h\nu}{e}$. Согласно приведённому графику сила тока насыщения $I_{max} = 2$ мА, тогда $P = \frac{20 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 6{,}1 \cdot 10^{14}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \approx 0{,}1$ Вт.

Ответ: $P \approx 0{,}1$ Вт.

77. *Возможное решение.*

Коэффициент полезного действия электростанции $\eta = \frac{E_1}{E_2}$, где E_1 — энергия, вырабатываемая электростанцией, E_2 — энергия, выделяющаяся в результате ядерных реакций деления урана. В свою очередь, $E_1 = Pt$, где P — мощность электростанции, t — время её работы, а $E_2 = NE_0$, где E_0 — энергия, выделяющаяся в результате деления одного ядра урана, N — количество распавшихся ядер урана. Молярная масса урана-235 равна $\mu = 0{,}235$ кг/моль, следовательно, число распавшихся атомов можно связать с массой урана соотношением: $N = \frac{m}{\mu} \cdot N_A$. В итоге получаем:

$$\eta = \frac{Pt\mu}{mN_A E_0} = \frac{38 \cdot 10^6 \cdot 7 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0{,}235}{1{,}4 \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 200 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13}} \approx 0{,}2 = 20\%.$$

Ответ: $\eta = 20\%$

78. *Ответ*: $m \approx 1{,}4$ кг.

79. *Возможное решение.*

В герметично закрытом контейнере первоначально находятся полоний и атмосферный воздух. В процессе радиоактивного распада полония в контейнере будут образовываться атомы

свинца и гелия, в результате чего искомое давление в контейнере будет складываться из парциальных давлений воздуха p_0 и гелия p_1, т. е. $p = p_0 + p_1$.

Парциальное давление гелия можно определить с помощью уравнения Клапейрона—Менделеева: $p_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} \cdot RT_0$, где V — объём контейнера; T_0 — абсолютная температура в нём; m_1 и μ — соответственно масса и молярная масса гелия.

К определённому моменту времени t число атомов гелия N_1 равно числу распавшихся атомов полония и может быть определено с помощью закона радиоактивного распада: $N_1 = N_0 - N$ и $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$, где $N_0 = \frac{m}{\mu} \cdot N_A$ — начальное число атомов полония; m и μ — соответственно начальная масса полония и его молярная масса (0,210 кг/моль); N — оставшееся к моменту времени t число атомов полония; T — период полураспада полония.

Число молей получившегося в результате распада гелия равно числу молей распавшегося полония: $\frac{m_1}{\mu_1} = \frac{m}{\mu} = \frac{N_1}{N_A}$; следовательно, $\frac{m_1}{\mu_1} = \frac{N_0}{N_A} \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right) = \frac{m}{\mu} \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right)$.

В результате математических преобразований получаем:

$$V = \frac{mRT_0 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right)}{(p - p_0) \cdot \mu} = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 8{,}3 \cdot 318 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{7 \cdot 5}{140}}\right)}{(1{,}4 \cdot 10^5 - 10^5) \cdot 0{,}21} =$$

$$= \frac{1{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 8{,}3 \cdot 318 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{1}{4}}\right)}{(1{,}4 \cdot 10^5 - 10^5) \cdot 0{,}21} \approx 75 \cdot 10^{-6}\ \text{м}^3 \approx 75\ \text{см}^3.$$

Ответ: $V \approx 75\ \text{см}^3$.

80. *Возможное решение.*

В герметично закрытом контейнере первоначально находятся полоний и атмосферный воздух. В процессе радиоактивного распада полония в контейнере будут образовываться атомы

свинца и гелия, в результате чего искомое давление в контейнере будет складываться из парциальных давлений воздуха p_0 и гелия p_1, т. е. $p = p_0 + p_1$.

Парциальное давление гелия можно определить с помощью уравнения Клапейрона—Менделеева: $p_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} \cdot RT_0$, где V — объём контейнера; T_0 — абсолютная температура в нём; m_1 и μ — соответственно масса и молярная масса гелия.

К определённому моменту времени t число атомов гелия N_1 равно числу распавшихся атомов полония и может быть определено с помощью закона радиоактивного распада: $N_1 = N_0 - N$ и $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$, где $N_0 = \frac{m}{\mu} \cdot N_A$ — начальное число атомов полония; m и μ — соответственно начальная масса полония и его молярная масса (0,210 кг/моль); N — оставшееся к моменту времени t число атомов полония; T — период полураспада полония.

Число молей получившегося в результате распада гелия равно числу молей распавшегося полония: $\frac{m_1}{\mu_1} = \frac{m}{\mu} = \frac{N_1}{N_A}$; следовательно, $\frac{m_1}{\mu_1} = \frac{N_0}{N_A} \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right) = \frac{m}{\mu} \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right)$.

В результате математических преобразований (в решении они должны быть представлены) получаем:

$$m = \frac{(p - p_0) \cdot V\mu}{RT_0 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right)} = \frac{(1{,}3 \cdot 10^5 - 10^5) \cdot 80 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}21}{8{,}3 \cdot 318 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{7{\cdot}5}{140}}\right)} =$$

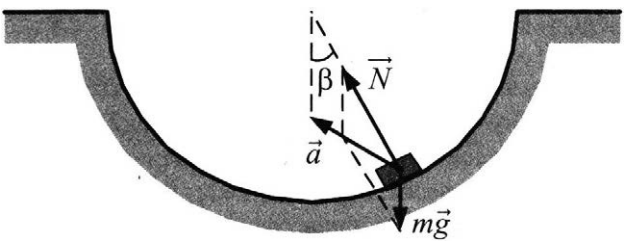
$$= \frac{(1{,}3 \cdot 10^5 - 10^5) \cdot 80 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}21}{8{,}3 \cdot 318 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{1}{4}}\right)} \approx 1{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \approx 1{,}2 \text{ г}.$$

Ответ: $m \approx 1{,}2$ г.

4. Качественные задачи с развёрнутым ответом

1. *Возможное решение.*

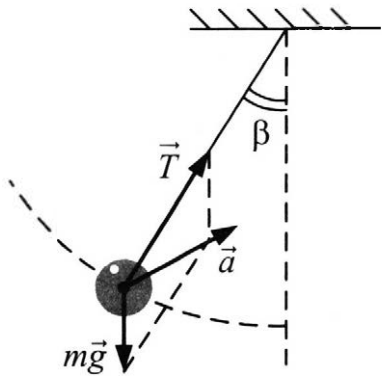
К шайбе приложены сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз, и сила реакции поверхности $\vec{N}$, направленная по радиусу вверх. Ускорение шайбы $\vec{a}$ направлено внутрь траектории левее направления силы $\vec{N}$ (см. рис.).



В промежуточной точке скорость шайбы $\vec{\upsilon} \neq 0$, поэтому у шайбы есть центростремительное ускорение $\vec{a}_{\text{Ц}} \neq 0$, направленное к центру окружности, по которой движется шайба.
Проекция ускорения шайбы на касательную к окружности равна по модулю $g \sin \beta$. Поэтому у шайбы есть касательная составляющая ускорения $\vec{a}_{\tau} \neq 0$, направленная в сторону нижней точки сферы.
Ускорение шарика $\vec{a} = \vec{a}_{\text{Ц}} + \vec{a}_{\tau}$ направлено внутрь сферической поверхности левее направления силы $\vec{N}$.

2. *Возможное решение.*

К шарику приложены сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити $\vec{T}$, направленная по нити вверх. Ускорение шарика $\vec{a}$ направлено внутрь траектории правее направления силы $\vec{T}$ (см. рис.).



В промежуточной точке скорость шарика $\vec{\upsilon} \neq 0$, поэтому у шарика есть центростремительное ускорение $\vec{a}_{\text{Ц}} \neq 0$, направленное к центру окружности, по которой движется шарик.

Проекция ускорения шарика на касательную к окружности равна по модулю $g \sin \beta$. Поэтому у шарика есть касательная составляющая ускорения $\vec{a}_{\tau} \neq 0$, направленная в сторону положения равновесия.

Ускорение шарика $\vec{a} = \vec{a}_{\text{Ц}} + \vec{a}_{\tau}$ направлено внутрь траектории правее направления силы $\vec{T}$.

3. *Возможное решение.*

Количество вещества в первой порции газа меньше, чем во второй.

Для описания изобарного расширения идеального газа используем уравнение Менделеева—Клапейрона:

$pV = \nu RT$,

где ν — число молей газа.

Отсюда следует, что при одинаковых давлении и объёме

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\nu_2}{\nu_1}.$$

Как следует из рисунка, $T_1 > T_2$ (при одинаковых давлении и объёме). Поэтому $\nu_1 < \nu_2$.

4. *Ответ*: давление газа в первом случае ниже, чем во втором.

5. *Возможное решение.*

На участке 1–2 процесс изотермический. По закону Бойля—Мариотта (pV = const) при уменьшении объёма давление увеличивается. На участке 2–3 процесс изобарный; значит, давление остаётся неизменным. На участке 3–4 процесс изохорный. По закону Шарля $\left(\frac{P}{T} = \text{const}\right)$ при увеличении температуры давление увеличивается.

Ответ: давление газа на участке 1–2 увеличивалось, на участке 2–3 не изменялось, на участке 3–4 увеличивалось.

6. *Ответ*: давление газа на участках 1–2 и 2–3 увеличивалось, на участке 3–4 уменьшалось.

7. *Возможное решение.*

Плотность газа $\rho = \frac{m}{V}$, где m — масса газа, V — его объём.

В соответствии с уравнением Менделеева—Клапейрона $p = \frac{m}{\mu V} \cdot RT = \frac{\rho}{\mu} \cdot RT$. На участке 1–2 давление изменяется пропорционально плотности газа: $p \sim \rho$. Следовательно, в этом процессе температура газа не изменяется. Поскольку плотность газа на этом участке возрастает, объём газа уменьшается.

В процессе 2–3 плотность газа возрастает, что означает уменьшение его объёма. Давление газа при этом не изменяется, следовательно, согласно уравнению Менделеева — Клапейрона температура газа уменьшается.

Ответ: в процессе 1–2 температура газа не изменяется, объём газа уменьшается. В процессе 2–3 температура газа уменьшается, объём газа уменьшается.

8. *Возможное решение.*

Плотность газа $\rho = \frac{m}{V}$, где m — масса газа, V — его объём.

В соответствии с уравнением Менделеева—Клапейрона $p = \frac{m}{\mu V} \cdot RT = \frac{\rho}{\mu} \cdot RT$. В процессе 1–2 плотность газа остаётся постоянной, а значит, и его объём не изменяется. Давление газа

при этом уменьшается, следовательно, согласно уравнению Менделеева—Клапейрона, температура газа тоже уменьшается. На участке 2–3 давление изменяется пропорционально плотности газа: $p \sim \rho$. Следовательно, в этом процессе температура газа не изменяется. Поскольку плотность газа на этом участке падает, объём газа увеличивается.

Ответ: в процессе 1–2 температура газа уменьшается, объём газа не изменяется. В процессе 2–3 температура газа не изменяется, объём газа увеличивается.

9. *Возможное решение.*

Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул одноатомного идеального газа $\bar{E}_k = \frac{3}{2} \cdot kT$. В соответствии с уравнением Менделеева—Клапейрона $V = \frac{\nu RT}{p} = \frac{2 \cdot \nu N_A \bar{E}_k}{3 \cdot p}$, где N_A — число Авогадро.

На участке 1–2 объём изменяется пропорционально средней кинетической энергии молекул. Следовательно, в соответствии с только что полученным равенством в этом процессе давление газа не изменяется. Поскольку средняя кинетическая энергия молекул на этом участке возрастает, температура газа увеличивается.

В процессе 2–3 средняя кинетическая энергия не изменяется; следовательно, температура газа остаётся постоянной. На участке 2–3 объём газа уменьшается при постоянной температуре. Следовательно, в этом процессе давление газа в соответствии с уравнением Менделеева—Клапейрона увеличивается.

Ответ: в процессе 1–2 температура газа увеличивается, давление газа не изменяется. В процессе 2–3 температура газа остаётся постоянной, давление газа увеличивается.

10. *Возможное решение.*

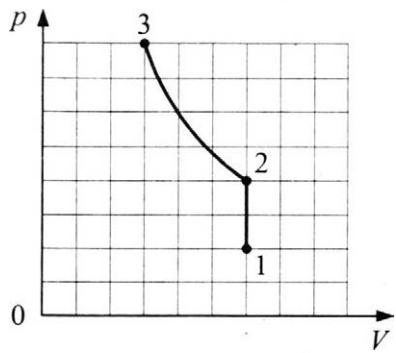
Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул одноатомного идеального газа $\bar{E}_k = \frac{3}{2} \cdot kT$. В соответствии с уравнением Менделеева—Клапейрона $V = \frac{\nu RT}{p} = \frac{2 \cdot \nu N_A \bar{E}_k}{3 \cdot p}$, где N_A — число Авогадро.

В процессе 1–2 средняя кинетическая энергия увеличивается; следовательно, температура газа также растёт. На участке 1–2 объём газа остаётся постоянным при увеличивающейся температуре. Следовательно, в этом процессе давление газа в соответствии с уравнением Менделеева—Клапейрона увеличивается.

На участке 2–3 объём изменяется пропорционально средней кинетической энергии молекул. Следовательно, в соответствии с полученным в п. 1 равенством в этом процессе давление газа не изменяется. Поскольку средняя кинетическая энергия молекул на этом участке падает, то и температура газа уменьшается.

Ответ: в процессе 1–2 температура газа увеличивается, давление газа увеличивается. В процессе 2–3 температура газа уменьшается, давление газа не изменяется.

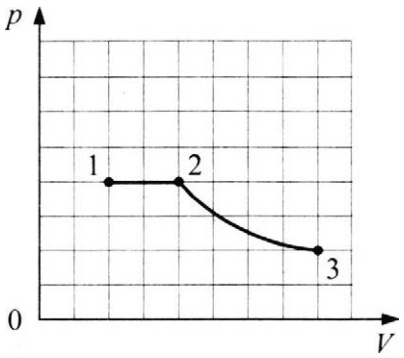
11. *Возможное решение.*



Внутренняя энергия идеального одноатомного газа пропорциональна его абсолютной температуре: $U = \frac{3}{2} \cdot \nu RT$. Значит, при постоянном количестве вещества температура на участке 1–2 вместе с внутренней энергией пропорциональна давлению, процесс, согласно уравнению Клапейрона—Менделеева $(pV = \nu RT)$, является изохорным нагреванием, объём газа не изменяется, а давление увеличивается в 2 раза. В координатах p–V график процесса 1–2 является отрезком вертикальной прямой.

На участке 2–3 $U = \text{const}$, температура газа не меняется, происходит изотермическое сжатие, давление в этом процессе также возрастает в 2 раза. При этом $pV = \text{const}$, поэтому объём газа уменьшился в 2 раза. В координатах p–V график процесса 2–3 является фрагментом гиперболы.

12. *Возможное решение.*



Внутренняя энергия идеального одноатомного газа пропорциональна его абсолютной температуре: $U = \frac{3}{2} \cdot \nu RT$.

Значит, при постоянном количестве вещества на участке 1–2 температура вместе с внутренней энергией пропорциональна объёму, процесс, согласно уравнению Клапейрона—Менделеева $(pV = \nu RT)$, является изобарным нагреванием, давление газа не изменяется, а его объём увеличивается в 2 раза. В координатах p–V график процесса 1–2 является отрезком горизонтальной прямой.

На участке 2–3 $U = \text{const}$, температура газа не меняется, происходит изотермическое расширение, объём газа увеличивается в 2 раза. При этом $pV = \text{const}$, поэтому давление газа уменьшается в 2 раза. В координатах p–V график процесса 2–3 является фрагментом гиперболы.

13. *Возможное решение.*

Пусть масса поршня M, а площадь его основания S. Атмосферное давление над поршнем равно $p_{\text{атм}}$, первоначальное

давление газа в сосуде равно p_1. Поскольку поршень первоначально находится в равновесии, $p_1 = p_{\text{атм}} + \dfrac{Mg}{S}$.

При движении лифта с ускорением $\vec{a}$, направленным вниз, поршень сдвинется и займёт относительно сосуда новое положение равновесия, в котором давление газа в сосуде станет равным

$$p_2 = p_{\text{атм}} + \frac{M \cdot (g - a)}{S} < p_1.$$

Поскольку сосуд теплоизолирован и изменения числа частиц нет, уменьшение давления возможно только за счёт расширения газа. При этом газ совершает работу $A > 0$.

Поскольку сосуд теплоизолированный, газ, находящийся под поршнем, участвует в адиабатическом процессе. В этом случае, по первому закону термодинамики, газ совершает работу за счёт уменьшения внутренней энергии.

Уменьшение внутренней энергии газа повлечёт за собой понижение его температуры ($\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \nu R \Delta T$).

Ответ: поршень сдвинется вверх. Температура газа в сосуде понизится.

14. *Ответ*: поршень сдвинется вниз, температура газа в сосуде повысится.

15. *Возможное решение.*

Сначала давление атмосферного воздуха над поверхностями ртути в трубке одинаково, поэтому уровни жидкости в коленах одинаковы (следствие условия равновесия).

Изначально под пробкой находится воздух при атмосферном давлении. При увеличении температуры в комнате воздух в закрытом колене начнёт прогреваться, его температура увеличится, и его давление также увеличится. При этом давление атмосферного воздуха в комнате практически не изменится.

Увеличение давления на жидкость в закрытом колене приведёт к тому, что уровень ртути в нём по сравнению с первоначальным положением понизится на Δh. В свою очередь, уровень ртути в открытом колене повысится на величину Δh. Давление воздуха в закрытом колене станет равным сумме атмосферного давления и давления столба ртути:

$p = p_{атм} + \rho\, g2\Delta h$; в сосуде установится новое положение равновесия столба ртути.

Ответ: уровень ртути в закрытом колене трубки понизится, а в открытом повысится.

16. *Ответ*: уровень ртути в закрытом колене трубки повысится, а в открытом понизится.

17. *Возможное решение.*

В соответствии с законами Дальтона и Бойля—Мариотта (применёнными к парциальным давлениям газов во втором и третьем сосудах) суммарное давление этих газов после закрывания второго крана равно $3p/2 + p/2 = 2p$.

Аналогично этому давление в первом и втором сосудах после закрывания первого крана равно $p/2 + 2p/2 = 1{,}5p$. Это означает, согласно уравнению Клапейрона—Менделеева, что количество газа в первом сосуде в итоге увеличилось.

Ответ: в итоге количество газа в первом сосуде увеличилось.

18. *Ответ*: в итоге количество газа в третьем сосуде не изменилось.

19. *Возможное решение.*

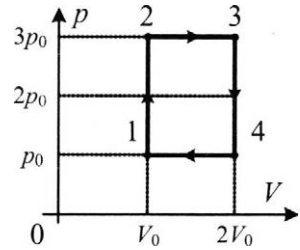
В процессе $1 \to 2$ газ получает некоторое количество теплоты, но его внутренняя энергия не меняется. Следовательно, согласно первому началу термодинамики, газ отдаёт получаемую энергию, совершая работу, т. е. в данном процессе его объём увеличивается.

В процессе $2 \to 3$ теплообмена газа с внешней средой нет, но его внутренняя энергия уменьшается. Следовательно, и этот процесс связан с расширением газа, поскольку газ совершает положительную работу.

Ответ: переход газа из состояния 1 в состояние 3 все время сопровождается увеличением его объёма.

20. *Ответ*: при переходе из состояния 1 в состояние 2 давление газа увеличивается, а при переходе из состояния 2 в состояние 3 — уменьшается.

21. *Возможное решение.*



Перестроим график цикла в координатах p–V.

Процесс 1–2 является изохорным, в нём абсолютная температура газа увеличилась в 3 раза, а значит, согласно закону Шарля $\left(\frac{p}{T}=\text{const}\right)$ и давление газа увеличилось в 3 раза.

Процесс 2–3 является изобарным, поскольку его график в координатах V–T проходит через начало координат $\left(\frac{V}{T}=\text{const}\right)$.

В этом процессе и объём, и абсолютная температура газа увеличились в 2 раза.

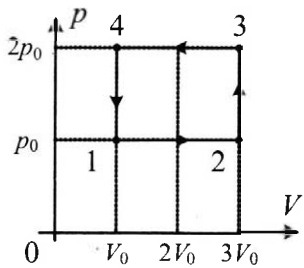
В процессе 3–4 газ изохорно уменьшил свою абсолютную температуру и давление в 3 раза, а в процессе 4–1 изобарно вернулся в исходное состояние (см. рис.).

Из графика видно, что работа газа в процессе 2–3: $A_{23}=3p_0\cdot\left(2V_0-V_0\right)=3p_0V_0$, а работа внешних сил в процессе 4–1: $A_{41}=p_0\cdot\left(2V_0-V_0\right)=p_0V_0$.

Таким образом, искомое отношение $\frac{A_{23}}{A_{41}}=3$.

Ответ: 3.

22. *Возможное решение.*



Перестроим график цикла в координатах p–V.

Процесс 1–2 является изобарным, в нём абсолютная температура газа увеличилась в 3 раза, а значит, согласно закону Гей-Люссака $\left(\frac{V}{T} = \text{const}\right)$ и объём газа увеличился в 3 раза.

Процесс 2–3 является изохорным, поскольку его график в координатах p–T проходит через начало координат $\left(\frac{p}{T} = \text{const}\right)$.

В этом процессе и давление, и абсолютная температура газа увеличились в 2 раза.

В процессе 3–4 газ изобарно уменьшил свою абсолютную температуру и давление в 3 раза, а в процессе 4–1 изохорно вернулся в исходное состояние (см. рисунок).

Из графика видно, что работа газа в процессе 1–2: $A_{12} = p_0 \cdot (3V_0 - V_0) = 2p_0V_0$, а работа внешних сил в процессе 3–4: $A_{34} = 2p_0 \cdot (3V_0 - V_0) = 4p_0V_0$.

Таким образом, искомое отношение $\frac{A_{34}}{A_{12}} = 2$.

Ответ: 2.

23. *Возможное решение.*

По первому закону термодинамики количество теплоты, которое газ получает, равно сумме изменения его внутренней энергии ΔU и работы газа A: $Q = \Delta U + A$. Концентрация газа $n = \frac{N}{V}$, где N — число молекул газа, V — его объём. Для идеального одноатомного газа внутренняя энергия $U = \frac{3}{2} \cdot \nu RT$ (где ν — количество моль газа). По условию задачи $N = \text{const}$.

Так как на участке 1–2 концентрация газа не изменяется, его объём постоянен (изохорный процесс), значит, работа газа $A = 0$. В этом процессе давление газа растёт, согласно закону Шарля температура газа также растёт, т. е. его внутренняя энергия увеличивается: $\Delta U > 0$. Значит, $Q > 0$, и газ получает тепло.

На участке 2–3 концентрация газа уменьшается, значит, его объём увеличивается, и работа газа положительна: $A > 0$. Давление газа постоянно (изобарный процесс), по закону Гей-

Люссака температура газа также увеличивается. Поэтому $\Delta U > 0$. По первому закону термодинамики $Q > 0$. В этом процессе газ получает тепло.

Ответ: газ получает положительное количество теплоты как в процессе 1–2, так и в процессе 2–3.

24. *Возможное решение.*

По первому закону термодинамики количество теплоты, которое газ получает, равно сумме изменения его внутренней энергии ΔU и работы газа A: $Q = \Delta U + A$. Концентрация газа $n = \frac{N}{V}$, где N — число молекул газа, V — его объём. Для идеального одноатомного газа внутренняя энергия $U = \frac{3}{2} \cdot \nu RT$ (где ν — количество моль газа). По условию задачи $N = \text{const}$.

На участке 1–2 концентрация газа уменьшается, значит, его объём увеличивается, и работа газа положительна: $A > 0$. Давление газа постоянно (изобарный процесс), по закону Гей-Люссака температура газа также увеличивается. Поэтому $\Delta U > 0$. По первому закону термодинамики $Q > 0$. В этом процессе газ получает тепло.

Так как на участке 2–3 концентрация газа не изменяется, его объём постоянен (изохорный процесс), значит, работа газа $A = 0$. В этом процессе давление газа растёт, согласно закону Шарля температура газа также растёт, т. е. его внутренняя энергия увеличивается: $\Delta U > 0$. Значит, $Q > 0$, и газ получает тепло.

Ответ: газ получает положительное количество теплоты как в процессе 1–2, так и в процессе 2–3.

25. *Возможное решение.*

Так как внутренняя энергия идеального одноатомного газа $U = \frac{3}{2} \cdot \nu RT$ (где ν — количество моль газа), то на участке 1–2, где внутренняя энергия газа не изменяется $(\Delta U = 0)$, процесс изотермический: $\Delta T = 0$.

По первому закону термодинамики количество теплоты, которое одноатомный идеальный газ получает на изотерме, равно работе газа: $Q = \Delta U + A = A$. Так как давление газа растёт, то

согласно закону Бойля—Мариотта, объём уменьшается, т. е. газ совершает отрицательную работу: $A < 0$. Значит, $Q_{12} < 0$, и газ отдаёт тепло.

На участке 2–3 давление газа не изменяется (изобарный процесс $p = \text{const}$), а внутренняя энергия уменьшается $(\Delta U < 0)$, поэтому температура газа T уменьшается, согласно закону Гей-Люссака объём также уменьшается. В этом процессе работа отрицательна, так как газ сжимается: $A < 0$. По первому закону термодинамики $Q_{23} = \Delta U + A < 0$. В этом процессе газ также отдаёт тепло.

Ответ: $Q_{12} < 0$; $Q_{23} < 0$.

26. *Возможное решение.*

Так как внутренняя энергия идеального одноатомного газа $U = \frac{3}{2} \cdot \nu RT$ (где ν — количество моль газа), то на участке 1–2, где внутренняя энергия газа не изменяется $(\Delta U = 0)$, процесс изотермический: $\Delta T = 0$.

По первому закону термодинамики количество теплоты, которое одноатомный идеальный газ получает на изотерме, равно работе газа: $Q = \Delta U + A = A$. Так как давление газа падает, то согласно закону Бойля—Мариотта, объём увеличивается, т.е. газ совершает положительную работу: $A > 0$. Значит, $Q_{12} > 0$, и газ получает тепло.

На участке 2–3 давление газа не изменяется (изобарный процесс $p = \text{const}$), а внутренняя энергия увеличивается $(\Delta U > 0)$, поэтому температура газа T растёт, согласно закону Гей-Люссака объём также увеличивается. В этом процессе работа газа положительна, так как газ расширяется: $A > 0$. По первому закону термодинамики $Q_{23} = \Delta U + A > 0$. В этом процессе газ также получает тепло.

Ответ: $Q_{12} > 0$; $Q_{23} > 0$.

27. *Возможное решение.*

Так как сосуд жёсткий, объём газа не изменяется, то есть это изохорный процесс. Тогда $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$, где p_1 и p_2 — соответст-

венно, парциальные давления пара при температурах T_1 и T_2. Так как $T_2 > T_1$ то $p_2 > p_1$, то есть давление увеличится.

При увеличении температуры плотность насыщенного пара $\rho_{нп}$ увеличивается, а плотность паров в сосуде $\rho_{пара}$ не изменяется (сосуд герметичный, масса газов не меняется). Так как относительная влажность воздуха

$\varphi = \frac{\rho_{пара}}{\rho_{нп}} \cdot 100\%$, то относительная влажность воздуха уменьшится.

Ответ: парциальное давление пара увеличится, относительная влажность уменьшится.

28. *Ответ*: парциальное давление пара уменьшится, относительная влажность увеличится.

29. *Возможное решение.*

Относительная влажность воздуха определяется соотношением

$$\varphi = \frac{p_{пара}}{p_{насыщ.\ пара}}, \qquad (1)$$

где $p_{пара}$ — парциальное давление водяного пара в воздухе, $p_{насыщ.\ пара}$ — давление насыщенного водяного пара при той же температуре.

Давление насыщенного водяного пара зависит только от температуры, поэтому в данном случае оно остаётся неизменным. Из условия задачи следует, что в правой части выражения (1) знаменатель остаётся постоянным, а числитель растёт. Следовательно, значение дроби (1) растёт, и относительная влажность также растёт.

С увеличением парциального давления водяного пара при постоянной температуре, согласно уравнению Менделеева—Клапейрона, плотность водяных паров также увеличится:

$$\rho = \frac{p_{пара}\,\mu}{RT}.$$

Ответ: относительная влажность воздуха и плотность водяных паров в комнате увеличились.

30. *Возможное решение.*

Относительная влажность воздуха определяется соотношением

$$\varphi = \frac{p_{\text{пара}}}{p_{\text{насыщ. пара}}}, \qquad (1)$$

где $p_{\text{пара}}$ — парциальное давление водяного пара в воздухе, $p_{\text{насыщ. пара}}$ — давление насыщенного водяного пара при той же температуре.

Давление насыщенного водяного пара зависит только от температуры, поэтому в данном случае оно остаётся неизменным.

Из условия задачи следует, что в правой части выражения (1) знаменатель остаётся постоянным, а числитель уменьшается. Следовательно, значение дроби (1) также уменьшается, и относительная влажность также падает.

С уменьшением парциального давления водяного пара при постоянной температуре, согласно уравнению Менделеева—Клапейрона, плотность водяных паров также уменьшается: $\rho = \frac{p_{\text{пара}}\,\mu}{RT}$

Ответ: относительная влажность воздуха и плотность водяных паров в комнате уменьшились.

31. *Возможное решение.*

Вода и водяной пар находятся в закрытом сосуде длительное время, поэтому водяной пар является насыщенным.

При выдвигании поршня происходит изотермическое расширение пара, давление и плотность насыщенного пара в этом процессе не меняются. Следовательно, будет происходить испарение жидкости. Значит, масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.

Ответ: масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.

32. *Ответ*: масса жидкости в сосуде будет увеличиваться.

33. *Возможное решение.*

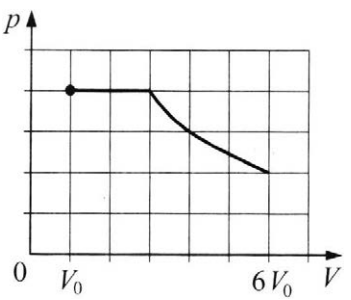
Кипением называется парообразование, которое происходит не только с поверхности жидкости, граничащей с воздухом, но и с поверхности пузырьков насыщенного пара, образующихся в толще жидкости, что резко увеличивает количество испарившейся жидкости. Всплывающие пузырьки вызывают интенсивное перемешивание жидкости.

Образование пузырьков пара в жидкости возможно только в том случае, когда давление этого пара p равно давлению столба жидкости: $p = p_{атм} + \rho gh$. В сосуде $\rho gh << p_{атм}$, поэтому условие возникновения кипения $p = p_{атм}$. Следовательно, чтобы вода закипела при 40 °С, в соответствии с графиком давление воздуха под колоколом необходимо снизить до 70 гПа.

34. *Ответ*: давление воздуха под колоколом необходимо снизить до 40 гПа.

35. *Возможное решение.*

На участке от V_0 до $3V_0$ давление под поршнем постоянно (давление насыщенного пара на изотерме). На участке от $3V_0$ до $6V_0$ давление под поршнем подчиняется закону Бойля — Мариотта.



На участке от V_0 до $3V_0$ график $p(V)$ — горизонтальный отрезок прямой, на участке от $3V_0$ до $6V_0$ — фрагмент гиперболы (для экспертов: отсутствие названий не снижает оценку, названия помогают оценке графика, сделанного от руки).

В начальном состоянии над водой находится насыщенный водяной пар, так как за длительное время в системе установилось термодинамическое равновесие.

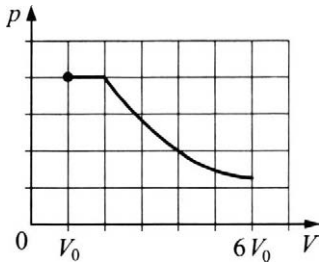
Пока в цилиндре остаётся вода, при медленном изотермическом расширении пар остаётся насыщенным. Поэтому график $p(V)$ будет графиком константы, т. е. отрезком горизонтальной прямой. Количество воды в цилиндре при этом убывает. При комнатной температуре концентрация молекул воды в насыщенном паре ничтожна по сравнению с концентрацией молекул воды в жидком агрегатном состоянии. Масса воды в два раза больше массы пара. Поэтому, во-первых, в начальном состоянии насы-

щенный пар занимает объём, практически равный V_0. Во-вторых, чтобы вся вода испарилась, нужно объём под поршнем увеличить ещё на $2V_0$. Таким образом, горизонтальный отрезок описывает зависимость $p(V)$ на участке от V_0 до $3V_0$.

При $V > 3V_0$ под поршнем уже нет жидкости, все молекулы воды образуют уже ненасыщенный водяной пар, который можно на изотерме описывать законом Бойля—Мариотта: $pV = \text{const}$, т. е. $p \sim 1/V$. Графиком этой зависимости служит гипербола. Таким образом, на участке от $3V_0$ до $6V_0$ зависимость $p(V)$ изображается фрагментом гиперболы.

Ответ: фрагмент гиперболы.

36. Ответ приведён на графике.

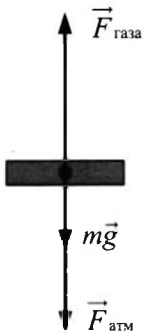


37. *Возможное решение.*

Определим температуру T_2 конечного состояния газа. Запишем уравнение Клапейрона—Менделеева для газа в состояниях 1 и 2:

$$\begin{cases} p_0 V_0 = \nu R T_0, \\ 2p_0 \cdot 2V_0 = \nu R T_2, \end{cases}$$

откуда $T_2 = 4T_0$.



Покажем силы, приложенные к поршню, когда он уже не опирается на выступы на стенках цилиндра. Сила тяжести $m\vec{g}$ и сила давления на поршень со стороны атмосферы $\vec{F}_{\text{атм}}$ постоянны. Поскольку поршень перемещается медленно, сумму приложенных к нему сил считаем равной нулю. Отсюда следует, что сила давления на поршень со стороны газа $\vec{F}_{\text{газа}}$ тоже постоянна. Значит, её модуль $F_{\text{газа}} = pS = \text{const}$ (S — площадь горизонтального сечения поршня) при любом положении поршня выше первоначального. Таким образом, $p = 2p_0 = \text{const}$ при $V_0 < V \le 2V_0$, процесс нагревания газа изобарный $\left(\frac{V}{T} = \text{const}\right)$.

Определим температуру начала этого процесса $T_{\text{н}}$:

$$\begin{cases} p_0 V_0 = \nu R T_0, \\ 2p_0 \cdot V_0 = \nu R T_{\text{н}}, \end{cases}$$

откуда $T_{\text{н}} = 2T_0$.

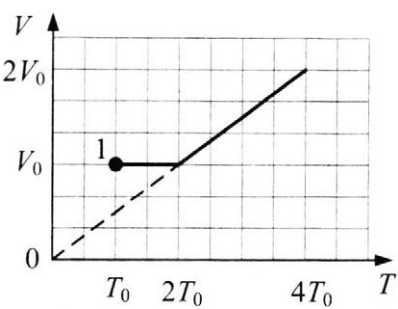
На отрезке температур $T_0 \le T \le 2T_0$ процесс нагревания газа изохорный ($V = V_0$), давление газа с ростом его температуры при нагревании увеличивается от p_0 до $2p_0$.

Ответ:

а) при $T_0 \le T \le 2T_0$ $V = V_0 = \text{const}$;

б) при $2T_0 \le T \le 4T_0$ объём газа меняется от V_0 до $2V_0$ по закону $\frac{V}{T} = \text{const}$.

График, изображающий зависимости из п. а) и б), представляет собой ломаную линию.



38. *Ответ*: а) при $T_0 \le T \le 2T_0$ давление газа меняется от p_0 до $2p_0$ по закону Гей-Люссака;
б) при $2T_0 \le T \le 4T_0$ давление остается постоянным и равным $2p_0$.

39. *Возможное решение.*
При поднесении положительно заряженной палочки к шару электрометра 1 электроны в шаре, стержне и стрелке каждого из электрометров в электрическом поле, созданном палочкой, стали перемещаться на поверхность шара электрометра 1. Электроны с электрометра 2 перемещаются к шару электрометра 1 по металлическому стержню. Движение электронов будет происходить до тех пор, пока все точки соединённых друг с другом металлических частей двух электрометров не будут иметь одинаковые потенциалы. В результате электрометр 1 приобретёт отрицательный заряд.
Поскольку два соединённых металлическим стержнем электрометра образуют изолированную систему, а первоначально электрометры были не заряжены, то согласно закону сохранения заряда отрицательный заряд электрометра 1 в точности равен по модулю положительному заряду электрометра 2.
После того как убрали стержень, показания электрометров не изменились.
Ответ: электрометр 1 имеет отрицательный заряд, а электрометр 2 — положительный.

40. *Возможное решение.*
При поднесении отрицательно заряженной палочки к шару электрометра 1 электроны в шаре, стержне и стрелке каждого из электрометров в электрическом поле, созданном палочкой, стали перемещаться на поверхность шара электрометра 2. Электроны с электрометра 1 перемещаются к шару электрометра 2 по металлическому стержню. Движение электронов будет происходить до тех пор, пока все точки соединённых друг с другом металлических частей двух электрометров не будут иметь одинаковые потенциалы. В результате электрометр 2 приобретёт отрицательный заряд.
Поскольку два соединённых металлическим стержнем электрометра образуют изолированную систему, а первоначально электрометры были не заряжены, то согласно закону сохране-

ния заряда положительный заряд электрометра 1 в точности равен по модулю отрицательному заряду электрометра 2.
После того как убрали стержень, показания электрометров не изменились.
Ответ: электрометр 1 имеет положительный заряд, а электрометр 2 — отрицательный.

41. *Возможное решение.*

Под действием электрического поля пластины изменится распределение электронов в гильзе и произойдёт её электризация: та её сторона, которая ближе к пластине, будет иметь отрицательный заряд, а противоположная сторона — положительный.
Поскольку сила взаимодействия заряженных тел уменьшается с ростом расстояния между ними, притяжение к пластине левой стороны гильзы будет больше отталкивания правой стороны гильзы, и гильза будет двигаться к пластине, пока не коснётся её.
В момент касания часть электронов перейдёт с гильзы на положительно заряженную пластину, гильза приобретёт положительный заряд и оттолкнётся от одноимённо заряженной пластины. Гильза отклонится вправо и зависнет в положении, когда равнодействующая всех сил равна нулю.

42. *Возможное решение.*

Под действием электрического поля пластины изменится распределение электронов в гильзе и произойдёт её электризация: та её сторона, которая ближе к пластине, будет иметь положительный заряд, а противоположная сторона — отрицательный.
Поскольку силы взаимодействия заряженных тел уменьшаются с ростом расстояния между ними, притяжение к пластине левой стороны гильзы будет сильнее отталкивания правой стороны гильзы, и гильза будет двигаться к пластине, пока не коснётся её.
В момент касания часть электронов перейдёт с отрицательно заряженной пластины на гильзу, гильза приобретёт отрицательный заряд и оттолкнётся от одноимённо заряженной пластины. Гильза отклонится вправо и зависнет в положении, в котором равнодействующая всех сил равна нулю.

43. *Возможное решение.*

Под действием электрического поля пластин изменится распределение электронов в гильзе и произойдёт её электризация: та её сторона, которая ближе к отрицательной пластине, будет иметь положительный заряд, а противоположная сторона — отрицательный.

Поскольку силы взаимодействия заряженных тел уменьшаются с ростом расстояния между ними, притяжение к пластине левой стороны гильзы будет сильнее отталкивания правой стороны гильзы, и гильза будет двигаться к пластине, пока не коснётся её.

В момент касания часть электронов перейдёт с отрицательно заряженной пластины на гильзу, гильза приобретёт отрицательный заряд и оттолкнётся от одноимённо заряженной пластины и притянется к противоположной положительно заряженной пластине, где гильза приобретёт положительный заряд. Таким образом гильза будет совершать колебания между пластинами.

44. *Возможное решение.*

Вследствие электризации шарик приобретёт тот же заряд, что и пластина, на которой он лежит, — отрицательный.

Отрицательно заряженный шарик будет отталкиваться от нижней и притягиваться к верхней пластине. Согласно второму закону Ньютона шарик при достаточно сильном электрическом поле (при $qE > mg$) приобретёт ускорение, направленное вверх. Он поднимется к положительно заряженной пластине и, коснувшись её, поменяет знак заряда.

В результате он начнёт отталкиваться от верхней пластины и притягиваться к нижней: шарик вернётся к первой пластине и вновь поменяет знак своего заряда на отрицательный. Такое движение вверх-вниз будет повторяться.

Ответ: шарик начнёт двигаться вверх, а затем он будет колебаться между верхней и нижней пластинами.

45. *Возможное решение.*

Вследствие электризации шарик приобретёт тот же заряд, что и пластина, на которой он лежит, — положительный.

Положительно заряженный шарик будет отталкиваться от нижней и притягиваться к верхней пластине. Согласно второ-

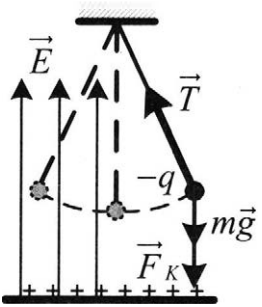
му закону Ньютона шарик при достаточно сильном электрическом поле (при $qE > mg$) приобретёт ускорение, направленное вверх. Он поднимется к отрицательно заряженной пластине и, коснувшись её, поменяет знак заряда.

В результате он начнёт отталкиваться от верхней пластины и притягиваться к нижней: шарик вернётся к первой пластине и вновь поменяет знак своего заряда на положительный. Такое движение вверх-вниз будет повторяться.

Ответ: шарик начнёт двигаться вверх, а затем он будет колебаться между верхней и нижней пластинами.

46. *Возможное решение.*

Колеблющийся шарик на нити можно считать математическим маятником. Первоначально, когда шарик не заряжен, электрическое поле пластины не оказывает влияния на колебательное движение, колебания происходят только за счёт периодически изменяющейся касательной составляющей силы тяжести. Поэтому частота свободных колебаний зависит только от длины нити l и ускорения свободного падения g ($\nu_1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{l}}$).



Протяженная равномерно заряженная пластина создаёт однородное электрическое поле $\vec{E}$. Если шарику сообщить отрицательный заряд, то со стороны электрического поля пластины на него начнет действовать постоянная сила Кулона, равная по величине $F_K = Eq$ и направленная вертикально вниз (см. рис.).

В этом случае равнодействующая сил тяжести и Кулона, которая будет определять частоту свободных колебаний маятника, сообщит шарику ускорение $a = g + \frac{F_К}{m} = g + \frac{Eq}{m}$, которое больше ускорения свободного падения ($a > g$). Возвращающая сила, действующая на шарик, увеличится, шарик быстрее будет возвращаться к положению равновесия, а значит, частота свободных колебаний маятника увеличится ($\nu_2 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{a}{l}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g + \frac{Eq}{m}}{l}}$, т. е. $\nu_2 > \nu_1$).

47. *Ответ*: частота свободных колебаний маятника увеличится.

48. *Возможное решение.*

Конденсатор, подключённый к источнику постоянного напряжения, будет заряжаться. В результате этого он накапливает энергию $W = \frac{CU^2}{2}$.

Электроёмкость плоского воздушного конденсатора определяется формулой $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$. У конденсатора на рис. *б* расстояние между пластинами d больше, чем у конденсатора на рис. *а*, следовательно, его электроемкость меньше: $C_2 < C_1$, а значит, и энергия, накопленная в нем, будет меньше: $W_2 < W_1$.

При переводе ключей из положения 1 в положение 2 конденсаторы отключают от источников и соединяют с резисторами. Энергия электрического поля конденсатора выделится на резисторе в виде количества теплоты Q, идущего на нагревание резистора:

$$W_c = Q = \gamma \cdot \Delta t,$$

где γ (чтобы не путать с обозначением электроёмкости конденсатора) — теплоёмкость резистора, Δt — изменение его температуры. Резисторы одинаковы, поэтому их теплоёмкости тоже одинаковы. $W_1 > W_2$. Отсюда следует, что $\Delta t_1 > \Delta t_2$. Значит, резистор в схеме на рис. *а* нагреется сильнее.

Ответ: резистор в схеме на рис. *а* нагреется сильнее.

49. *Ответ*: резистор в схеме на рис. *б* нагреется сильнее.

50. *Возможное решение.*

Конденсатор, подключённый к источнику постоянного напряжения, будет заряжаться. В результате этого он накапливает энергию $W = \frac{CU^2}{2}$.

Электроёмкость плоского воздушного конденсатора определяется формулой $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$. У конденсатора на рис. *а* площадь пластин S больше, чем у конденсатора на рис. *б*, следовательно, его электроёмкость больше: $C_1 > C_2$, а значит, и энергия, накопленная в нём, будет больше: $W_1 > W_2$.

При переводе ключей из положения 1 в положение 2 конденсаторы отключают от источников и соединяют с резисторами. Энергия электрического поля конденсатора выделится на резисторе в виде количества теплоты Q, идущего на нагревание резистора:

$$W_c = Q = \gamma \cdot \Delta t,$$

где γ (чтобы не путать с обозначением электроемкости конденсатора) — теплоёмкость резистора, Δt — изменение его температуры. Резисторы одинаковы, поэтому их теплоёмкости тоже одинаковы. $W_1 > W_2$. Отсюда следует, что $\Delta t_1 > \Delta t_2$. Значит, резистор в схеме на рис. *а* нагреется сильнее.

Ответ: резистор в схеме на рис. *а* нагреется сильнее.

51. *Возможное решение.*

Заряд Q, сообщённый пластине, распределяется между пластиной и стержнем электрометра так, что они приобретают одинаковый потенциал. При этом практически весь заряд Q оказывается на пластине.

На заземлённом корпусе электрометра и соединённой с ним пластине возникают индуцированные заряды противоположного знака, при этом заряд пластины равен Q по модулю.

Разность потенциалов между пластинами $U = \frac{Q}{C}$.

Ёмкость плоского воздушного конденсатора $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$, и при сближении пластин она увеличивается, так как расстояние d между ними уменьшается.

Суммарный заряд стержня электрометра и соединённой с ним пластины — электроизолированной системы тел — при сближении пластин не изменяется. При этом заряд пластины остаётся практически равным Q. Поэтому напряжение между пластинами из-за увеличения ёмкости конденсатора уменьшается: $U' = \frac{Q}{C'} < U$. Следовательно, угол отклонения стрелки уменьшается.

Ответ: угол отклонения стрелки уменьшается.

52. *Возможное решение.*

Заряд Q, сообщённый пластине, соединённой со стержнем электрометра, распределяется так, что их потенциалы оказываются одинаковыми. При этом практически весь заряд Q оказывается на пластине.

На заземлённом корпусе электрометра и соединённой с ним пластине возникают индуцированные заряды противоположного знака, при этом заряд пластины равен Q по модулю.

Разность потенциалов между пластинами $U = \frac{Q}{C}$.

Внесение пластины из диэлектрика увеличивает ёмкость конденсатора, так как

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}.$$

Суммарный заряд стержня электрометра и соединённой с ним пластины не изменяется, так как эта система тел электроизолирована. При этом заряд пластины остаётся практически равным Q. Поэтому разность потенциалов между пластинами после внесения диэлектрика из-за увеличения ёмкости конденсатора уменьшается: $U' = \frac{Q}{C'} < U$, что приводит к уменьшению угла отклонения стрелки.

Ответ: угол отклонения стрелки уменьшается.

53. *Возможное решение.*

Стрелка и стержень электрометра, соединённые с нижней пластиной, но изолированные от корпуса, заряжаются положительно, и стрелка отклоняется на некоторый угол.

В верхней пластине и металлическом корпусе электрометра происходит перераспределение свободных электронов таким образом, что верхняя пластина заряжается отрицательно.

Заряды пластин одинаковы по модулю и противоположны по знаку, пластины образуют воздушный конденсатор с ёмкостью $C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$,

где S — площадь перекрытия пластин, d — расстояние между ними.

При уменьшении площади перекрытия пластин ёмкость конденсатора уменьшается, заряд конденсатора практически не меняется, так как его ёмкость много больше ёмкости системы «корпус + стрелки электрометра», а нижняя пластина вместе со стрелкой и стержнем электрометра образуют изолированную систему заряженных тел. Поэтому разность потенциалов $\Delta\varphi = q/C$ увеличивается.

При увеличении разности потенциалов увеличивается угол отклонения стрелки электрометра, то есть его показания увеличиваются.

Ответ: показания электрометра увеличиваются.

54. *Возможное решение.*

Вольтметр соединён параллельно с конденсатором, поэтому его показания равны напряжению на конденсаторе. Вначале конденсатор не заряжен $(q_1 = 0)$, поэтому напряжение на нём $U_1 = \frac{q_1}{C} = 0$, и показания вольтметра равны нулю.

После замыкания конденсатор будет заряжаться, и, так как $U = \frac{q}{C}$, показания вольтметра будут увеличиваться. Когда конденсатор полностью зарядится, ток через него не течёт, а течёт только через резистор. Сила тока в цепи станет постоянной и согласно закону Ома для полной цепи $I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}$. Напряжение на конденсаторе и резисторе $U = IR = \frac{\mathscr{E} R}{R + r}$ и не будет меняться со временем. Поэтому показания вольтметра тоже перестанут изменяться.

Ответ: начальное показание вольтметра равно нулю, после замыкания ключа показания вольтметра будут увеличиваться, пока не достигнут максимального значения, которое не будет меняться со временем.

55. *Возможное решение.*

Поскольку ключ находился в замкнутом положении длительное время, то конденсатор полностью зарядится, ток через него не течёт, а течёт только через резистор. Начальное показание вольтметра равно напряжению на резисторе, т. к. и вольтметр, и конденсатор, и резистор соединены параллельно. Сила тока в цепи постоянна и согласно закону Ома для полной цепи $I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}$, при этом напряжение на конденсаторе и резисторе $U = IR = \frac{\mathscr{E}R}{R + r}$.

После размыкания ключа конденсатор будет разряжаться, а его заряд будет уменьшаться, и, так как $U = \frac{q}{C}$, показания вольтметра будут уменьшаться до нуля.

Ответ: до размыкания ключа показание вольтметра $U = \frac{\mathscr{E}R}{R + r}$, после размыкания ключа показания вольтметра будут уменьшаться, пока не достигнут значения $U = 0$, которое затем не будет меняться со временем.

56. *Возможное решение.*

По проводнику течёт постоянный ток, поэтому по закону Ома для участка цепи $U = IR$. Сопротивление любой части проводника R определяется соотношением $R = \rho \cdot \frac{x}{S}$, где x — длина той части проводника, на которой определяется напряжение; ρ — удельное сопротивление проводника; S — площадь поперечного сечения этой части проводника.

При $0 < x < l_1$ напряжение пропорционально длине участка; значит, площадь поперечного сечения проводника постоянна.

При $l_1 < x < l_2$ напряжение также линейно зависит от длины участка; значит, площадь поперечного сечения проводника на

этом участке тоже постоянна. Однако показания вольтметра на этом участке проводника увеличиваются медленнее, чем на первом, поэтому площадь поперечного сечения проводника на втором участке больше, чем на первом.

57. *Возможное решение.*

По проводнику течёт постоянный ток, поэтому по закону Ома для участка цепи $U = IR$. Сопротивление любой части проводника R определяется соотношением $R = \rho \cdot \frac{x}{S}$, где x — длина той части проводника, на которой определяется напряжение; ρ — удельное сопротивление этой части проводника; S — площадь поперечного сечения проводника.

При $0 < x < l_1$ напряжение пропорционально длине участка; значит, удельное сопротивление проводника постоянно.

При $l_1 < x < l_2$ напряжение также линейно зависит от длины участка; значит, удельное сопротивление проводника на этом участке тоже постоянно. Однако показания вольтметра на этом участке проводника увеличиваются медленнее, чем на первом, поэтому удельное сопротивление проводника на втором участке меньше, чем на первом.

58. *Возможное решение.*

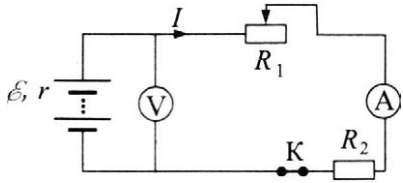
По условию задачи сопротивлением амперметра можно пренебречь, а сопротивление вольтметра бесконечно велико. При перемещении движка реостата вправо его сопротивление R_2 уменьшается, что ведёт к уменьшению сопротивления всей внешней цепи R. В соответствии с законом Ома для полной цепи сила тока через амперметр $I = \frac{\mathscr{E}}{r + R}$ увеличивается (знаменатель дроби уменьшается, а числитель остаётся неизменным), напряжение на батарее, измеряемое вольтметром, уменьшается: $U = \mathscr{E} - Ir$.

Ответ: напряжение, измеренное вольтметром, уменьшается, а ток через амперметр растёт.

59. *Ответ*: напряжение, измеренное вольтметром, увеличивается, а ток через амперметр уменьшается.

60. *Возможное решение.*

Эквивалентная электрическая схема цепи, учитывающая внутреннее сопротивление батареи, изображена на рисунке, где I — сила тока в цепи.



Ток через вольтметр практически не течёт, а сопротивление амперметра пренебрежимо мало.

Сила тока в цепи определяется законом Ома для замкнутой (полной) цепи: $I = \dfrac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r}$.

В соответствии с законом Ома для участка цепи напряжение, измеряемое вольтметром: $U = I \cdot (R_1 + R_2) = \mathcal{E} - Ir$.

Ответ: при перемещении движка реостата вправо его сопротивление увеличивается, что приводит к увеличению полного сопротивления цепи. Сила тока в цепи при этом уменьшается, а напряжение на батарее растёт.

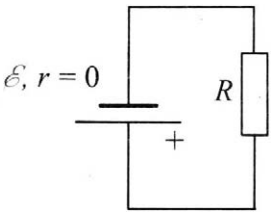
61. *Ответ*: при перемещении движка реостата влево его сопротивление увеличивается, что приводит к увеличению полного сопротивления цепи. Сила тока в цепи при этом уменьшается, а напряжение на батарее растёт.

62. *Возможное решение.*

Показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата остаются неизменными.

Сопротивление идеального вольтметра считается бесконечно большим. (Иными словами, идеальный вольтметр рассматривается как разрыв электрической цепи.) Поэтому ток через реостат при любом положении его движка равен нулю и, следовательно, напряжение на выводах реостата $U_{\text{реостата}} = I_{\text{реостата}} \cdot R_{\text{реостата}} = 0$. Таким образом, показания вольтметра при любом положении движка реостата равны напряжению на резисторе R.

Эквивалентная схема для расчёта напряжения на резисторе R представлена ниже. Здесь учтено, что идеальный вольтметр рассматривается как разрыв электрической цепи.



Ток через резистор R определяется законом Ома для полной цепи: $I = \dfrac{\mathscr{E}}{r + R}$, а напряжение на резисторе — законом Ома для участка цепи: $U_R = IR$. Учитывая, что $r = 0$, получаем $I = \dfrac{\mathscr{E}}{R}$, $U_R = \mathscr{E}$.

Ответ: при любом положении движка реостата показания вольтметра равны ЭДС источника $\mathscr{E}$.

63. *Ответ*: показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата остаются неизменными. При любом положении движка реостата показания вольтметра равны ЭДС источника $\mathscr{E}$.

64. *Возможное решение.*

Тепловая мощность, выделяющаяся на резисторе, имеющем сопротивление R, определяется законом Джоуля—Ленца $P = U \cdot I$, где I — сила тока в цепи, а U — напряжение на резисторе. Сила тока определяется законом Ома для полной цепи $I = \dfrac{\mathscr{E}}{R + r}$, а напряжение на резисторе — законом Ома для участка цепи $U = IR$.

На графике мощность в нагрузке зависит от силы тока I, поэтому сопротивление нагрузки $R = R(I) = \dfrac{\mathscr{E}}{I} - r$ и напряжение на резисторе $U(I) = I \cdot R = \mathscr{E} - I \cdot r$ необходимо рассматривать

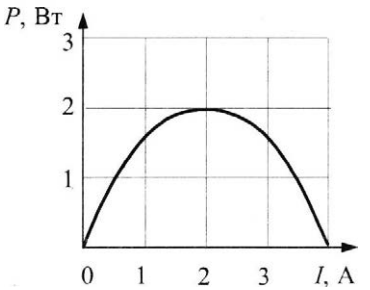
как величины, зависящие от силы тока I и параметров батареи $\mathscr{E}$ и r, которые не меняются. Мощность в нагрузке $P(I)=U(I)\cdot I=I\cdot(\mathscr{E}-I\cdot r)$ — квадратичная функция силы тока.

График этой функции — парабола, проходящая через точки $I_1=0$, $I_2=I_{max}=\mathscr{E}/r$.

Следовательно, $\mathscr{E}=I_{max}\cdot r=4\cdot 0{,}5=2$ В.

Ответ: 2 В.

65. *Ответ*:



66. *Возможное решение.*

Тепловая мощность, выделяющаяся на резисторе, имеющем сопротивление R, определяется по формуле $P=U\cdot I$, где I — сила тока в цепи, U — напряжение на резисторе.

На графике приведена зависимость мощности от напряжения, поэтому зависимость $P=U\cdot I=P(U)$ следует рассматривать как функцию переменной U. Для этого найдём $I=I(U)$, воспользовавшись законом Ома для замкнутой цепи: $U=\mathscr{E}-I\cdot r$, где $U=I\cdot R$ по закону Ома для участка цепи. Отсюда: $I(U)=\dfrac{\mathscr{E}-U}{r}$; мощность в нагрузке определяется соотношением

$$P(U)=U\cdot I(U)=U\cdot\frac{\mathscr{E}-U}{r}. \qquad (1)$$

Зависимость мощности от напряжения — квадратичная функция, график которой — парабола, пересекающая ось U в точках: $U_1=0$; $U_2=\mathscr{E}$.

67. *Возможное решение.*

Согласно закону Джоуля—Ленца $\left(Q = \frac{U^2 t}{R}\right)$ при протекании электрического тока через нагревательный элемент выделяется теплота, которая расходуется на нагревание воды и доводит её до кипения: $Q = cm \cdot (t_К - t_0)$.

В первом опыте к источнику подключены два нагревательных элемента, соединённых последовательно. Их общее сопротивление $R = R_1 + R_2$. Во втором опыте при переключении ключа К в положение 2 нагревательный элемент сопротивлением R_2 отключается от источника, при этом общее сопротивление уменьшается: $R = R_1$.

Уменьшение общего сопротивления нагревательных элементов R приведёт к увеличению выделяемой тепловой мощности: $N = \frac{U^2}{R}$. Следовательно, во втором опыте для доведения воды до кипения потребуется меньше времени, так как $Q = Nt$.

Ответ: вода закипит быстрее во втором опыте.

68. *Возможное решение.*

Согласно закону Джоуля—Ленца $\left(Q = \frac{U^2 t}{R}\right)$ при протекании электрического тока через нагревательный элемент выделяется теплота, которая расходуется на нагревание воды и доводит её до кипения: $Q = cm \cdot (t_К - t_0)$.

В первом опыте к источнику подключён нагревательный элемент сопротивлением R_1. Во втором опыте при переключении ключа К в положение 2 к первому нагревательному элементу последовательно подключается второй сопротивлением R_2. Их общее сопротивление $R = R_1 + R_2$.

Увеличение общего сопротивления нагревательных элементов R приведёт к уменьшению выделяемой тепловой мощности: $N = \frac{U^2}{R}$. Следовательно, во втором опыте для доведения воды до кипения потребуется больше времени, так как $Q = Nt$.

Ответ: вода закипит быстрее в первом опыте.

69. *Возможное решение.*

До замыкания ключа амперметр и вольтметр показывают, соответственно, нулевой ток и ЭДС источника.

Замыкание ключа вызовет появление тока в цепи, поэтому показания вольтметра уменьшатся на величину напряжения на внутреннем сопротивлении источника. По закону Ома для полной цепи $U = \mathcal{E} - Ir$.

Ответ: показания амперметра станут отличными от нуля, а показания вольтметра уменьшатся.

70. *Ответ*: после размыкания ключа амперметр будет показывать нулевой ток, а показания вольтметра увеличатся и будут равны ЭДС источника.

71. *Возможное решение.*

Эквивалентные электрические схемы для двух случаев подключения аккумулятора даны на рисунках 1 и 2.

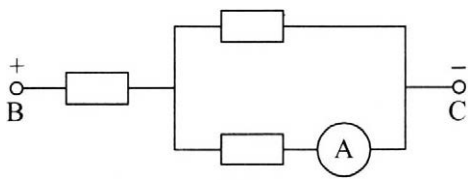


Рис. 1

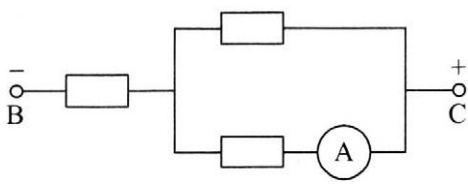


Рис. 2

В первом случае верхний диод включён в обратном направлении, обладает бесконечно большим сопротивлением и ток через него не течёт. Диод, расположенный в центре схемы, включён в прямом направлении, обладает нулевым сопротивлением и пропускает электрический ток. Эквивалентная электрическая схема для первого случая имеет вид, представлен-

ный на рисунке 1. Получается, что первый резистор соединён последовательно с двумя другими, соединёнными параллельно друг другу. Используя формулы для вычисления сопротивления последовательно и параллельно подключённых резисторов, получим общее сопротивление схемы в первом случае: $R_1 = R + \frac{R}{2} = \frac{3}{2} \cdot R$, где R — сопротивление каждого из резисторов.

При смене полярности подключения аккумулятора оба диода окажутся включёнными в прямом направлении и ток через левый резистор протекать не будет. Эквивалентная электрическая схема для второго случая примет вид, представленный на рисунке 2. Используя формулу для вычисления сопротивления параллельно подключённых резисторов, получим общее сопротивление схемы во втором случае:

$$R_2 = \frac{R}{2}.$$

Таким образом, сопротивление участка цепи уменьшилось в 3 раза. Используя закон Ома для полной цепи $\left(I = \frac{\mathscr{E}}{R_{\text{Общ}}} \right)$, получим, что сила тока через источник увеличилась в 3 раза. Сила тока, текущего через амперметр, также увеличилась в 3 раза и стала равна 6 А, так как сила тока в каждой из ветвей разветвлённой части цепи в 2 раза меньше силы тока через источник.

Ответ: сила тока через амперметр будет равна 6 А.

72. *Возможное решение.*

Эквивалентные электрические схемы для двух случаев подключения аккумулятора даны на рисунках 1 и 2.

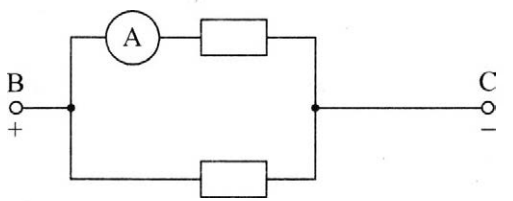


Рис. 1

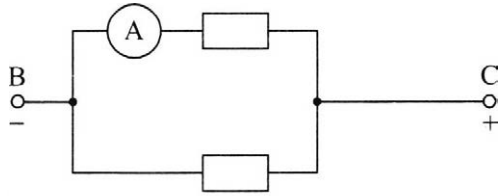


Рис. 2

В первом случае подключения аккумулятора оба диода включены в прямом направлении, при этом ток через правый резистор протекать не будет. Эквивалентная электрическая схема для первого случая примет вид, представленный на рисунке 1. Используя формулу для вычисления сопротивления параллельно подключённых резисторов, получим общее сопротивление схемы в первом случае: $R_1 = \frac{R}{2}$.

При смене полярности подключения аккумулятора нижний диод окажется включённым в обратном направлении, будет обладать бесконечно большим сопротивлением, а значит, ток через него протекать не будет. Диод, расположенный в центре схемы, включён в прямом направлении, обладает нулевым сопротивлением и пропускает электрический ток. Эквивалентная электрическая схема для второго случая примет вид, представленный на рисунке 2. Получается, что правый резистор соединён последовательно с двумя другими, соединёнными параллельно друг другу. Используя формулы для вычисления сопротивления последовательно и параллельно подключённых резисторов, получим общее сопротивление схемы во втором случае: $R_2 = R + \frac{R}{2} = \frac{3}{2} \cdot R$, где R — сопротивление каждого из резисторов.

Таким образом, сопротивление участка цепи увеличилось в 3 раза. Используя закон Ома для полной цепи $\left(I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{Общ}}} \right)$, получим, что сила тока через источник уменьшилась в 3 раза. Сила тока, текущего через амперметр, также уменьшилась в 3 раза и стала равна 0,5 А, так как сила тока в каждой из ветвей разветвлённой части цепи в 2 раза меньше силы тока через источник.

Ответ: сила тока через амперметр будет равна 0,5 А.

73. *Возможное решение.*

До замыкания ключа пружина находится в состоянии равновесия, в котором упругие силы, действующие на каждый виток пружины со стороны соседних витков, уравновешивают силу тяжести, действующую на виток.

При замыкании ключа К по цепи пойдёт ток. В соседних витках пружины токи потекут сонаправленно. Проводники с сонаправленными токами притягиваются друг к другу. В результате будет достигнуто новое состояние равновесия (пружина станет короче), в котором упругие силы, действующие на каждый виток пружины со стороны соседних витков, будут уравновешивать силу тяжести и силу Ампера, действующие на виток.

Ответ: пружина сожмется, её длина уменьшится.

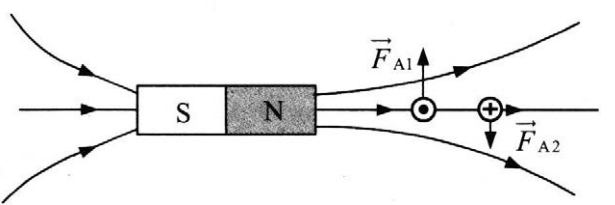
74. *Ответ*: длина пружины увеличится.

75. *Возможное решение.*

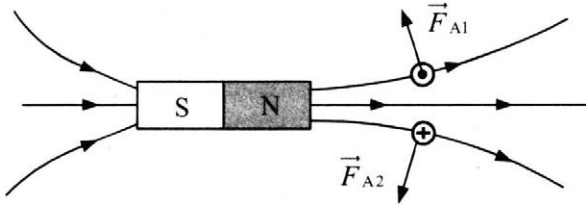
Рассмотрим сечение рамки плоскостью рисунка в условии задачи.

В исходном положении в левом звене рамки ток направлен к нам, а в правом — от нас.

На левое звено рамки действует сила Ампера $\vec{F}_{A1}$, направленная вверх, а на правое звено — сила Ампера $\vec{F}_{A2}$, направленная вниз. Эти силы разворачивают рамку на неподвижной оси *MO* по часовой стрелке (см. рис.).



Рамка устанавливается перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» оказывается внизу. При этом силы Ампера $\vec{F}_{A1}$ и $\vec{F}_{A2}$ обеспечивают равновесие рамки на оси *MO* (см. рис.).



Ответ: рамка повернётся по часовой стрелке и встанет перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» окажется внизу.

76. *Ответ*: рамка повернётся против часовой стрелки и встанет перпендикулярно оси магнита так, что контакт « – » окажется внизу.

77. *Возможное решение.*
Когда ключ разомкнут, тока в катушке нет, магнит висит неподвижно и пружина растянута.
После замыкания ключа в катушке потечёт ток и индукция магнитного поля катушки (вблизи её оси) будет направлена вниз.
Катушка с током аналогична полосовому магниту, северный полюс которого в данном случае расположен у её нижнего торца, а южный — у верхнего. Значит, магнит будет притягиваться к катушке и опускаться вниз.

78. *Ответ*: магнит будет отталкиваться от катушки и подниматься вверх.

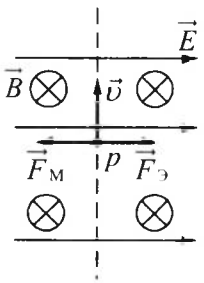
79. *Возможное решение.*
При приближении магнита к витку будет меняться магнитный поток сквозь виток, и в витке возникнет индукционный ток. Согласно правилу Ленца магнитное поле этого тока должно препятствовать движению магнита, поэтому выходящие из витка линии индукции этого поля будут направлены в сторону магнита. Для создания такого поля согласно правилу «буравчика» индукционный ток в цепи, содержащей виток, должен быть направлен по часовой стрелке, а в цепи ламп — от Б к А. Ток такого направления пропускает только диод на участке цепи лампочки 2, она и будет гореть.
Ответ: загорится лампочка 2.

80. *Возможное решение.*

При отодвигании магнита от витка будет меняться магнитный поток поля магнита сквозь виток и в витке возникнет индукционный ток. Согласно правилу Ленца магнитное поле этого тока должно препятствовать движению магнита, поэтому входящие в виток линии индукции этого поля будут направлены со стороны магнита. Для создания такого поля согласно правилу буравчика индукционный ток в цепи витка должен быть направлен против часовой стрелки, а в цепи ламп — от А к Б. Ток такого направления пропускает только диод на участке цепи лампочки 1, она и будет гореть.

Ответ: загорится лампочка 1.

81. *Возможное решение.*



На протон действуют магнитное поле силой $F_{\text{М}} = q\upsilon B$ и электрическое поле силой $F_{\text{Э}} = qE$. Поскольку заряд протона положительный, $\vec{F}_{\text{Э}}$ сонаправлена с $\vec{E}$, а по правилу левой руки $\vec{F}_{\text{М}}$ направлена противоположно силе $\vec{F}_{\text{Э}}$.

Поскольку первоначально протон двигался прямолинейно, то согласно второму закону Ньютона по модулю эти силы были равны.

Сила действия электрического поля не зависит от скорости протона, а сила действия магнитного поля с увеличением его скорости возрастает. Поскольку приращение $\vec{F}_{\text{М}}$, а также вызываемое им ускорение направлены влево, траектория протона будет криволинейной, отклоняющейся от пунктирной прямой влево.

Ответ: траектория протона будет криволинейной, отклоняющейся от первоначальной прямой траектории влево.

82. *Ответ*: траектория протона будет криволинейной, отклоняющейся от первоначальной прямой траектории вправо.

83. *Возможное решение.*

Примечание. Для полного ответа не требуется объяснения показаний приборов в крайнем нижнем положении. (Когда движок придёт в крайнее нижнее положение и его движение прекратится, амперметр будет показывать постоянную силу тока в цепи, а напряжение, измеряемое вольтметром, окажется равным нулю.)

При перемещении ползунка вниз сопротивление цепи уменьшается, а сила тока увеличивается в соответствии с законом Ома для полной цепи $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$,

где R — сопротивление внешней цепи.

Изменение тока, текущего по первичной обмотке трансформатора, вызывает изменение индукции магнитного поля, создаваемого этой обмоткой. Это приводит к изменению магнитного потока через вторичную обмотку трансформатора.

В соответствии с законом Фарадея возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ во вторичной обмотке, а следовательно, напряжение U на её концах, регистрируемое вольтметром.

Ответ: во время перемещения движка реостата показания амперметра будут увеличиваться, а вольтметр будет регистрировать напряжение на концах вторичной обмотки.

84. *Возможное решение.*

Примечание: Для полного ответа не требуется объяснения показаний приборов в крайнем левом положении. (Когда движок придёт в крайнее левое положение и движение его прекратится, амперметр будет показывать постоянную силу тока в цепи, а напряжение, измеряемое вольтметром, окажется равным нулю.)

При перемещении ползунка влево сопротивление цепи уменьшается, а сила тока увеличивается в соответствии с законом Ома для полной цепи $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$,

где R — сопротивление внешней цепи.

Изменение тока, текущего по первичной обмотке трансформатора, вызывает изменение индукции магнитного поля, создаваемого этой обмоткой. Это приводит к изменению магнитного потока через вторичную обмотку трансформатора.

В соответствии с законом Фарадея возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ во вторичной обмотке, а следовательно, напряжение U на её концах, регистрируемое вольтметром.

Ответ: во время перемещения движка реостата показания амперметра будут плавно увеличиваться, а вольтметр будет регистрировать напряжение на концах вторичной обмотки.

85. *Возможное решение.*

При медленном перемещении катушки вверх её индуктивность будет уменьшаться, что вызовет уменьшение потока вектора магнитной индукции через железный сердечник и небольшую ЭДС индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$ в цепи этой катушки $\mathcal{E}_{\text{инд}} << \mathcal{E}$, которой можно пренебречь.

Сила тока через амперметр не изменится, поскольку в соответствии с законом Ома для замкнутой цепи она определяется выражением $I_1 = \dfrac{\mathcal{E}}{R + r}$,

где R — сопротивление подключенной части реостата.

Уменьшение потока вектора магнитной индукции через поперечное сечение сердечника вызывает изменение потока вектора индукции магнитного поля в проволочном мотке, соединённом с гальванометром. В соответствии с законом Фарадея $\mathcal{E}_2 = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, что вызывает ток через гальванометр.

Ответ: во время перемещения катушки вверх и снятия с сердечника показания амперметра будут оставаться неизменными, а гальванометр будет регистрировать ток в цепи второй катушки. (Примечание: Когда первая катушка будет полностью снята с сердечника, изменение магнитного потока в нём

прекратится, и сила тока, регистрируемого гальванометром, станет равной нулю. При этом амперметр будет регистрировать постоянную силу тока в цепи первой катушки. Это утверждение для полного ответа не требуется.)

86. *Ответ*: во время перемещения мотка вверх и снятия с сердечника показания амперметра будут оставаться неизменными, а гальванометр будет регистрировать ток в цепи проволочного мотка.

87. *Возможное решение.*

Индукционный ток в кольце вызван ЭДС индукции, возникающей при пересечении проводником линий магнитного поля.

По закону Фарадея $\mathscr{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ЭДС пропорциональна скорости изменения магнитного потока Ф, т. е. количеству линий, пересекаемых кольцом в секунду. Она тем выше, чем больше скорость движения магнита.

Сила тока I, в соответствии с законом Ома для замкнутой цепи, пропорциональна ЭДС индукции

$\mathscr{E}$: $I = \frac{\mathscr{E}}{R}$.

В момент времени t_1 к кольцу приближается магнит, и магнитный поток увеличивается. В момент t_2 магнит удаляется, и магнитный поток уменьшается. Следовательно, ток имеет различные направления.

Примечание для экспертов.

В начальный момент магнит находится далеко от кольца, поэтому линии поля $\vec{B}$ практически не пересекают проводник. По мере приближения к кольцу поле растёт, и его линии начинают пересекать проводник, вызывая ЭДС индукции. Скорость магнита также растёт с течением времени, поэтому ЭДС быстро возрастает по мере приближения северного полюса магнита к плоскости кольца, поскольку густота линий увеличивается, т. е. растёт магнитный поток Ф, что приводит к росту модуля ЭДС и модуля силы тока. Когда полюс магнита, пройдя через плоскость кольца, начинает удаляться от про-

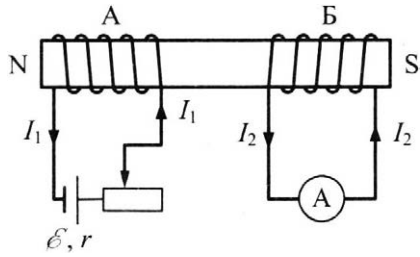
водника, то количество пересекаемых линий уменьшается. Поэтому, несмотря на возрастание скорости, модуль ЭДС падает. В тот момент, когда через плоскость кольца проходит середина магнита, линии поля перпендикулярны плоскости. Проводник в этот момент «скользит» по линиям поля, не пересекая их. Поток вектора магнитной индукции в этот момент достигает максимального значения. При этом сила тока обращается в нуль.

При дальнейшем движении магнита поток начинает уменьшаться, а линии оказываются вновь направлены под углом к плоскости кольца и пересекаются им при движении. Это приводит к возникновению ЭДС, направление которой изменяется на противоположное, поскольку количество линий, оказавшихся внутри контура, уменьшается, а значит, поток вектора магнитной индукции теперь не увеличивается, а уменьшается. Соответственно, возникает индукционный ток, направленный в противоположную сторону, увеличивающийся по мере приближения южного полюса к плоскости кольца. Поскольку скорость магнита теперь гораздо больше, чем при прохождении северного полюса, ЭДС значительно больше, а значит, и модуль силы тока оказывается больше, чем в начале движения. Пройдя максимум, поле магнита начинает уменьшаться по мере удаления южного полюса от плоскости кольца, что приводит к уменьшению силы тока до нуля тогда, когда магнит оказывается на большом расстоянии от кольца.

88. *Ответ*: поскольку скорость магнита в момент времени t_2 гораздо больше, чем при прохождении северного полюса, ЭДС значительно больше, а значит, и модуль силы тока оказывается больше, чем в момент времени t_1.

89. *Возможное решение.*

При протекании электрического тока по катушке А в пространстве возникает магнитное поле, которое пронизывает сердечник из железа, создавая в нём магнитный поток Φ_1. Сердечник с намотанной на него катушкой А образует электромагнит. При этом, исходя из обозначений полюсов источника и правила буравчика, у левого торца катушки А находится северный полюс этого магнита (см. рис.).



При движении ползунка влево число витков реостата, включённых в цепь, уменьшается, следовательно $\left(R_0 = \rho\frac{l}{S}\right)$, уменьшается сопротивление R внешнего участка цепи источника, а сила тока по закону Ома для замкнутой цепи $\left(I = \frac{\mathscr{E}}{r+R}\right)$ — возрастает.

Возрастание силы тока в катушке А приводит к возрастанию создаваемого им магнитного потока, который также пронизывает и катушку Б.

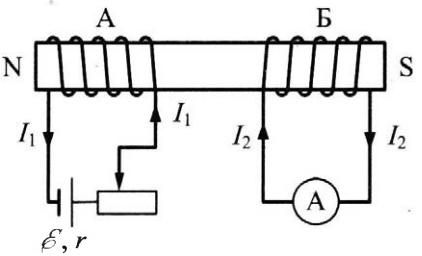
Возрастание магнитного потока сквозь катушку Б, замкнутую на амперметр, приводит по закону электромагнитной индукции $\left(\mathscr{E}_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)$ к возбуждению в ней индукционного тока, который, по правилу Ленца, возникает такого направления (через амперметр — слева направо), чтобы своим магнитным потоком компенсировать увеличение магнитного потока сквозь катушку Б. Это означает, что катушка Б с индукционным током образует электромагнит с северным полюсом у своего правого торца. По правилу буравчика отсюда следует, что ток I_2 протекает, как показано на рисунке.

Ответ: при перемещении ползунка реостата влево через амперметр протекает ток, направленный вправо.

90. *Возможное решение.*

При протекании электрического тока по катушке А в пространстве возникает магнитное поле, которое пронизывает сердечник из железа, создавая в нём магнитный поток Φ_1. Сердечник с намотанной на него катушкой А образует электромагнит. При этом, исходя из обозначений полюсов источ-

ника и правила буравчика, у левого торца катушки А находится северный полюс этого магнита (см. рис.).



При движении ползунка вправо число витков реостата, включённых в цепь, увеличивается, следовательно $\left(R_0 = \rho\frac{l}{S}\right)$, увеличивается сопротивление R внешнего участка цепи источника, а сила тока по закону Ома для замкнутой цепи $\left(I = \frac{\mathcal{E}}{r+R}\right)$ — уменьшается.

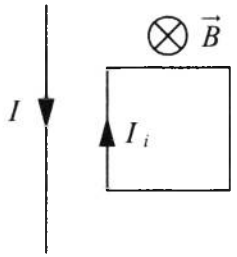
Уменьшение силы тока в катушке А приводит к убыванию создаваемого им магнитного потока, который также пронизывает и катушку Б.

Убывание магнитного потока сквозь катушку Б, замкнутую на амперметр, приводит по закону электромагнитной индукции $\left(\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right)$ к возбуждению в ней индукционного тока, который, по правилу Ленца, возникает такого направления (через амперметр — справа налево), чтобы своим магнитным потоком компенсировать уменьшение магнитного потока сквозь катушку Б. Значит, ток I_2 протекает в каждом витке катушки Б в том же направлении, что и в катушке А, то есть снизу вверх на ближней к нам стороне витка.

Ответ: при перемещении ползунка реостата вправо через амперметр протекает ток, направленный влево.

91. *Возможное решение.*

При изменении магнитного потока через поверхность, ограниченную проводящим контуром, в контуре возникает индукционный ток I_i, направление которого определяется правилом Ленца (см. рис.).



В однородном магнитном поле на каждую сторону рамки действует сила Ампера. Её направление находится по правилу левой руки, а величина — по формуле $F_A = I_i B l \sin\alpha$, где α — угол между направлением проводника и вектором $\vec{B}$. Так как рамка прямоугольная, а угол α во всех случаях равен 90°, то силы, приложенные к противолежащим сторонам рамки, равны по модулю и направлены взаимно противоположно. Результирующая сил, действующих на рамку со стороны однородного магнитного поля, равна нулю.

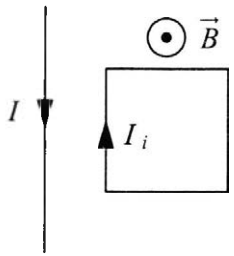
Прямолинейный проводник с током создаёт неоднородное магнитное поле, которое вблизи проводника сильнее, чем на отдалении от него. Направление линий индукции этого поля в каждой точке рамки одинаково, оно определяется по правилу буравчика. В проводнике протекает постоянный ток, поэтому поле проводника постоянно и не влияет на индукционный ток в рамке.

В магнитном поле проводника на каждую сторону рамки действует сила Ампера. Стороны рамки, перпендикулярные проводнику, расположены на одинаковом расстоянии от проводника. На них действуют силы, равные по модулю и направленные противоположно друг другу. Их сумма равна нулю. Силы, действующие на параллельные проводнику стороны рамки, направлены тоже противоположно друг другу. Из-за неоднородности поля проводник с током отталкивает ближнюю сторону рамки сильнее, чем притягивает более удалённую от него сторону. Результирующая этих сил отталкивает рамку от проводника.

Согласно принципу суперпозиции, однородное магнитное поле и поле проводника с током действуют на рамку независимо друг от друга. Поэтому результирующая сил, приложенных к рамке, направлена вправо от проводника с током.

92. *Возможное решение.*

При изменении магнитного потока через поверхность, ограниченную проводящим контуром, в контуре возникает индукционный ток I_i, направление которого определяется правилом Ленца (см. рис.).



В однородном магнитном поле на каждую сторону рамки действует сила Ампера. Её направление находится по правилу левой руки, а величина — по формуле $F_A = I_i B l \sin\alpha$, где α — угол между направлением проводника и вектором $\vec{B}$. Так как рамка прямоугольная, а угол α во всех случаях равен 90°, то силы, приложенные к противолежащим сторонам рамки, равны по модулю и направлены взаимно противоположно. Результирующая сил, действующих на рамку со стороны однородного магнитного поля, равна нулю.

Прямолинейный проводник с током создаёт неоднородное магнитное поле, которое вблизи проводника сильнее, чем на отдалении от него. Направление линий индукции этого поля в каждой точке рамки одинаково, оно определяется по правилу буравчика. В проводнике протекает постоянный ток, поэтому поле проводника постоянно и не влияет на индукционный ток в рамке.

В магнитном поле проводника на каждую сторону рамки действует сила Ампера. Стороны рамки, перпендикулярные проводнику, расположены на одинаковом расстоянии от проводника. На них действуют силы, равные по модулю и направленные противоположно друг другу. Их сумма равна нулю. Силы, действующие на параллельные проводнику стороны рамки, направлены тоже противоположно друг другу. Из-за неоднородности поля проводник с током отталкивает ближнюю сторону рамки сильнее, чем притягивает более уда-

лённую от него сторону. Результирующая этих сил отталкивает рамку от проводника.

Согласно принципу суперпозиции, однородное магнитное поле и поле проводника с током действуют на рамку независимо друг от друга. Поэтому результирующая сил, приложенных к рамке, направлена вправо от проводника с током.

93. *Возможное решение.*

При смещении движка реостата вверх его сопротивление уменьшается до нуля, а сила тока в катушке согласно закону Ома для полной цепи увеличивается

$$\left(I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}\right).$$

При этом увеличивается поток вектора магнитной индукции через кольцо. По закону электромагнитной индукции в кольце возникает ЭДС индукции, появляется индукционный ток. В соответствии с правилом Ленца вектор магнитной индукции поля индукционного тока будет направлен против вектора магнитной индукции поля катушки. Взаимодействие токов в кольце и катушке приводит к тому, что кольцо отталкивается от катушки влево — в область, где магнитное поле катушки слабее, чем у торца катушки.

Ответ: кольцо оттолкнётся от катушки.

94. *Возможное решение.*

При смещении движка реостата вниз его сопротивление увеличивается, а сила тока в катушке согласно закону Ома для полной цепи уменьшается

$$\left(I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}\right).$$

При этом уменьшается поток вектора магнитной индукции через кольцо. По закону электромагнитной индукции в кольце возникает ЭДС индукции, появляется индукционный ток. В соответствии с правилом Ленца вектор магнитной индукции поля индукционного тока будет сонаправлен вектору магнитной индукции поля катушки. Взаимодействие токов в кольце и катушке приводит к тому, что кольцо притягивается к катушке вправо — ближе к торцу катушки, в область, где магнитное поле катушки сильнее, ближе к торцу катушки.

Ответ: кольцо притянется к катушке.

95. *Возможное решение.*

Благодаря явлению самоиндукции ток в катушке меняется медленно. После размыкания ключа К ток через катушку L является током в образовавшейся замкнутой цепи и медленно уменьшается со значения I_2 до нуля.

После размыкания ключа К резистор и катушка соединены последовательно, поэтому ток через резистор станет таким же, как ток в катушке, т. е. изменит направление на противоположное и быстро достигнет значения около 0,1 А. Затем ток медленно уменьшается до 0.

Ответ: ток через резистор после размыкания ключа К меняет направление на противоположное и быстро достигает значения около 0,1 А. Затем ток медленно уменьшается до 0.

96. *Возможное решение.*

Благодаря явлению самоиндукции ток в катушке меняется медленно. После размыкания ключа К ток через катушку L является током в образовавшейся замкнутой цепи и медленно уменьшается со значения I_2 до нуля.

После размыкания ключа К резистор и катушка соединены последовательно, поэтому ток через резистор станет таким же, как ток в катушке, т. е. изменит направление на противоположное и быстро достигнет значения около 0,2 А. Затем ток медленно уменьшается до 0.

Ответ: ток через резистор после размыкания ключа К меняет направление на противоположное и быстро достигает значения около 0,2 А. Затем ток медленно уменьшается до 0.

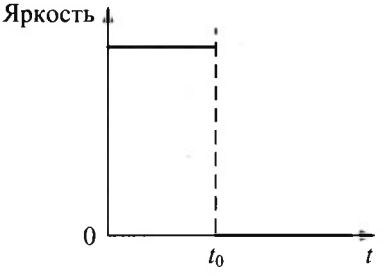
97. *Возможное решение.*

Катушка и лампочка соединены параллельно, поэтому напряжение на лампочке равно напряжению на катушке.

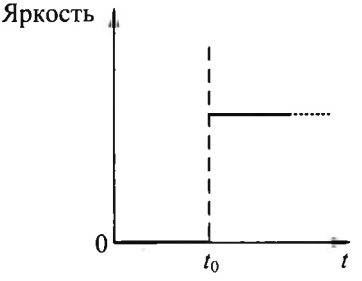
При $t < t_0$ сила тока в катушке изменяется по линейному закону. ЭДС самоиндукции катушки $\mathcal{E}_{si} = -L \cdot \dfrac{\Delta I}{\Delta t} = \text{const}$.

Напряжение на лампочке равно ЭДС самоиндукции катушки, а значит, постоянно, и яркость свечения лампочки на этом интервале времени также постоянна.

При $t > t_0$ сила тока в катушке постоянна, $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$ и, следовательно, ЭДС самоиндукции катушки и напряжение на лампочке равны нулю. На этом интервале времени лампочка не светит.
График зависимости яркости свечения лампочки от времени приведён на рисунке.



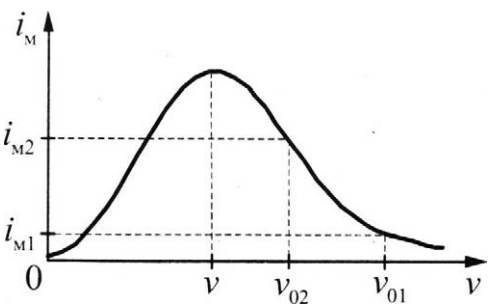
98. *Возможное решение.*
Катушка и лампочка соединены параллельно, поэтому напряжение на лампочке равно напряжению на катушке.
При $t < t_0$ сила тока в катушке постоянна, $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$ и, следовательно, ЭДС самоиндукции катушки и напряжение на лампочке равны нулю. На этом интервале времени лампочка не светит.
При $t > t_0$ сила тока в катушке изменяется по линейному закону. ЭДС самоиндукции катушки $\mathcal{E}_{si} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = \text{const}$. Напряжение на лампочке равно ЭДС самоиндукции катушки, а значит, постоянно, и яркость свечения лампочки на этом интервале времени также постоянна.
График зависимости яркости свечения лампочки от времени приведён на рисунке.



99. *Возможное решение.*

В описанном опыте колебания в контуре являются вынужденными, они совершаются с частотой ν, задаваемой источником тока. Но колебательный контур имеет собственную частоту колебаний ν_0, и амплитуда колебаний тока в нём зависит от разности значений этих частот: по мере уменьшения $|\nu - \nu_0|$ она увеличивается (резонансная кривая), достигая максимального значения при $|\nu - \nu_0| = 0$ (явление резонанса). Собственная частота колебаний контура зависит от ёмкости конденсатора и согласно формуле Томсона

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

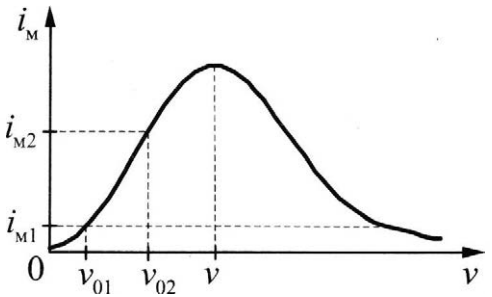


Таким образом, ученик, увеличивая ёмкость конденсатора от C_{min} до C_{max}, уменьшал собственную частоту колебаний контура от ν_{01} до ν_{02}, что привело к возрастанию амплитуды тока от $i_{м1}$ до $i_{м2}$ в соответствии с резонансной кривой.

100. *Возможное решение.*

В описанном опыте колебания в контуре являются вынужденными, они совершаются с частотой ν, задаваемой источником тока. Но колебательный контур имеет собственную частоту колебаний ν_0, и амплитуда колебаний тока в нём зависит от разности значений этих частот: по мере уменьшения $|\nu - \nu_0|$ она увеличивается (резонансная кривая), достигая максимального значения при $|\nu - \nu_0| = 0$ (явление резонанса). Собственная частота колебаний контура зависит от индуктивности катушки и согласно формуле Томсона

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$



Таким образом, ученик, уменьшая индуктивность катушки от L_{max} до L_{min}, увеличивал собственную частоту колебаний контура от ν_{01} до ν_{02}, что привело к возрастанию амплитуды тока от $i_{м1}$ до $i_{м2}$ в соответствии с резонансной кривой.

101. *Возможное решение.*

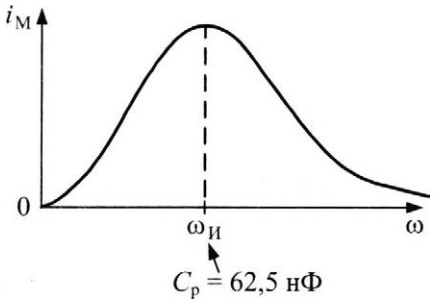
По мере уменьшения ёмкости колебательного контура менялась его собственная частота, и ученик наблюдал явление резонанса.

В описанном опыте электромагнитные колебания в контуре являются вынужденными, они совершаются с циклической частотой $\omega_и$, задаваемой источником тока. Но колебательный контур имеет собственную частоту электромагнитных колебаний $\omega_о$, и амплитуда колебаний тока в нём зависит от того, насколько сильно ω_0 отличается от $\omega_и$: при $\omega_и - \omega_о = 0$ она максимальна (явление резонанса). Оценим значение C при резонансе:

$$\omega_{0р} = \frac{1}{\sqrt{LC_р}} = \omega_и = 2 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1},$$

откуда ёмкость конденсатора

$$C = C_р = \frac{1}{L\omega_и^2} = \frac{1}{0{,}04 \cdot 4 \cdot 10^8} = 62{,}5 \text{ нФ}.$$

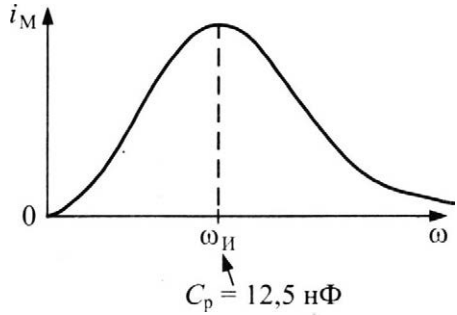


В начале опыта ёмкость конденсатора $C_1 = 1$ мкФ, поэтому собственная частота электромагнитных колебаний в контуре ω_1 была заметно ниже $\omega_и$, и амплитуда колебаний тока в контуре была невелика. По мере уменьшения ёмкости конденсатора собственная частота контура возрастает, достигая резонансного значения $\omega_и$. Согласно приведённому на рисунке графику в этом интервале изменения ёмкости конденсатора амплитуда силы тока в контуре растёт. По мере дальнейшего уменьшения ёмкости конденсатора собственная частота колебаний в контуре превосходит резонансное значение $\omega_{0р} = \omega_и$ и всё более удаляется от него, достигая при $C_2 = 2{,}5$ нФ своего максимального значения ω_2. Соответственно, уменьшается амплитуда колебаний силы тока в контуре.

102. *Возможное решение.*

По мере увеличения ёмкости колебательного контура менялась его собственная частота, и ученик наблюдал явление резонанса.

В описанном опыте электромагнитные колебания в контуре являются вынужденными, они совершаются с циклической частотой $\omega_и$, задаваемой источником тока. Но колебательный контур имеет собственную частоту электромагнитных колебаний $\omega_о$, и амплитуда колебаний тока в нём зависит от того, насколько сильно ω_0 отличается от $\omega_и$: при $\omega_и - \omega_о = 0$ она максимальна (явление резонанса). Оценим значение C при резонансе: $\omega_{0р} = \dfrac{1}{\sqrt{LC_р}} = \omega_и = 4 \cdot 10^4\ с^{-1}$, откуда ёмкость конденсатора $C = C_р = \dfrac{1}{L\omega_и^2} = \dfrac{1}{0{,}05 \cdot 16 \cdot 10^8} = 12{,}5$ нФ.



В начале опыта ёмкость конденсатора $C_1 = 2$ нФ, поэтому собственная частота электромагнитных колебаний в контуре ω_1 была заметно выше $\omega_и$ и амплитуда колебаний тока в контуре была невелика. По мере увеличения ёмкости конденсатора собственная частота контура уменьшается, достигая резонансного значения $\omega_и$. Согласно приведённому на рисунке графику в этом интервале изменения ёмкости конденсатора амплитуда силы тока в контуре растёт. По мере дальнейшего увеличения ёмкости конденсатора собственная частота колебаний в контуре становится меньше резонансного значения $\omega_{0р} = \omega_и$ и всё более удаляется от него, достигая при $C_2 = 0{,}5$ нФ своего минимального значения ω_2. Соответственно, уменьшается амплитуда колебаний силы тока в контуре.

103. *Возможное решение.*

Изображением точки в тонкой линзе служит точка. В данной задаче это значит, что все лучи от любой точки предмета, давая действительное изображение, пересекаются за линзой в одной точке.

Пока картон не мешает, построим изображение в линзе предмета АВ, используя лучи, исходящие из точки В (см. рис. 3). Проведя луч *1* через центр линзы, находим точку В' — изображение точки В. Проводим луч *2*, попутно находя задний фокус линзы. Затем проводим лучи *3* и *4*.

Кусок картона К перехватывает лучи *1* и *2*, но никак не влияет на ход лучей *3* и *4* (см. рис. 4). Благодаря этим и аналогичным

им лучам изображение предмета продолжает существовать на прежнем месте, не меняя формы, но становится темнее, т. к. часть лучей (например, лучи *1* и *2*) больше не участвуют в построении изображения.

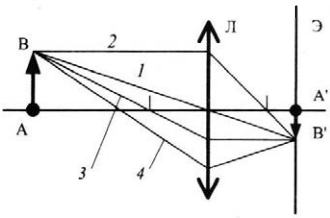


Рис. 3

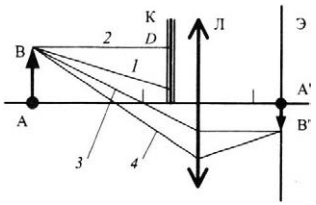


Рис. 4

104. *Ответ*: изображение предмета останется на прежнем месте, не меняя формы, но станет темнее.

105. *Возможное решение.*

В обоих опытах происходит поглощение световой волны. Этот процесс можно рассматривать как поглощение за время t большого числа $N >> 1$ квантов света — фотонов. Каждый фотон при поглощении передаёт пластинке импульс $p_\text{ф} = \dfrac{h\nu}{c}$, поэтому пластинка получает импульс, равный сумме импульсов поглощённых фотонов: $p_\Sigma = Np_\text{ф} = N \cdot \dfrac{h\nu}{c}$.

В результате поглощения света пластинкой, покрытой сажей, она приобретает за время t импульс p_Σ в направлении распространения света от лазера. В соответствии с законом изменения импульса тела в инерциальной системе отсчёта скорость изменения импульса тела равна силе, действующей на него со стороны других тел или полей:

$$F_1 = \frac{p_\Sigma}{t} = \frac{N}{t} \cdot \frac{h\nu}{c}.$$

В результате отражения света от зеркальной пластины отражённый квант имеет импульс, противоположный по знаку им-

пульсу кванта падающей волны: $p'_{\text{ф}} = -p_{\text{ф}}$, поэтому отражённая волна имеет импульс $p'_{\Sigma} = -N'p_{\text{ф}} = -N' \cdot \frac{h\nu}{c}$.

В итоге за время t импульс волны под действием зеркальной пластинки изменился. Это изменение

$\Delta p_{\Sigma} = \left(-p'_{\Sigma}\right) - p_{\Sigma} = -\left(N + N'\right) \cdot p_{\text{ф}}$.

Импульс системы световая волна + зеркальная пластинка сохраняется: $\Delta\left(p_{\Sigma} + p_{\text{пл}}\right) = 0$, поэтому $\Delta p_{\text{пл}} = -\Delta p_{\Sigma}$.

Но изменение импульса тела в инерциальной системе отсчёта происходит только под действием других тел или полей и характеризуется силой

$$F_2 = \frac{p_{\text{пл}}}{t} = \frac{N + N'}{t} \cdot \frac{h\nu}{c}.$$

Для хорошего зеркала $N \approx N'$, поэтому $F_2 \approx 2F_1$.

Сравнивая выражения для силы F_1, действующей на пластинку, покрытую сажей, и силы F_2, действующей на зеркало, приходим к выводу, что $F_1 < F_2$.

Ответ: сила давления света во втором опыте больше, чем в первом.

106. *Возможное решение.*

Свет, падающий на предмет, можно представить как поток фотонов с энергией $E_{\text{ф}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$. Известно, что длина волны зелёного света меньше длины волны красного света; следовательно, частота зелёного света больше, чем красного.
Так как энергия фотона $E = h\nu$, то энергия фотонов зелёного света больше, чем красного.

Мощность светового излучения, падающего на площадку, $P = E_{\text{ф}} \cdot \frac{\Delta N}{\Delta t}$, где Δt — интервал времени измерения (напри-

мер, $\Delta t = 1$ с); ΔN — число фотонов, упавших на площадку за это время.

В данном случае $P_1 = P_2$, $E_{ф1} > E_{ф2}$,

откуда $\dfrac{\Delta N_2}{\Delta N_1} = \dfrac{E_{фот.зел.}}{E_{фот.кр.}} > 1$.

Следовательно, число фотонов увеличится.

Ответ: увеличивается.

107. *Возможное решение.*

При изменении света с жёлтого на зелёный его длина волны уменьшится, частота увеличится ($\nu_з > \nu_ж$).

Работа выхода электронов из материала не зависит от частоты падающего света, поэтому в соответствии с уравнением Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = A_{вых} + E_{max}$ — увеличится максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов E_{max}. Так как $E_{max} = e|U_з|$, то увеличится и модуль запирающего напряжения $U_з$.

Мощность поглощённого света связана с частотой волны ν соотношением $P = N_Ф E_Ф = N_Ф h\nu$, где $N_ф$ — число фотонов, падающих на катод за 1 с, $E_Ф = h\nu$ — энергия одного фотона (соотношение Планка). Так как мощность света не изменилась, а энергия фотонов $E_ф$ увеличилась, то уменьшится $N_ф$.

Сила тока насыщения $I_{нас}$ определяется числом выбитых светом за 1 с электронов N_e, которое пропорционально числу падающих на катод за 1 с фотонов $N_ф$, поэтому сила тока насыщения уменьшится.

Ответ: точка отрыва графика от горизонтальной оси U сдвинется влево, горизонтальная асимптота графика $I_{нас}$ сдвинется вниз.

108. *Возможное решение.*

При изменении света с фиолетового на красный его длина волны увеличится, частота уменьшится ($\nu_ф > \nu_к$).

Работа выхода электронов из материала не зависит от частоты падающего света, поэтому в соответствии с уравнением Эйн-

штейна для фотоэффекта: $h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\max}$ — уменьшится максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $E_{\max}$. Так как $E_{\max} = e|U_з|$, то уменьшится и модуль запирающего напряжения $U_з$.

Мощность поглощённого света связана с частотой волны ν соотношением

$$P = N_Ф E_Ф = N_Ф h\nu,$$

где $N_ф$ — число фотонов, падающих на катод за 1 с,

$E_Ф = h\nu$ — энергия одного фотона (соотношение Планка).

Так как мощность света не изменилась, а энергия фотонов $E_ф$ уменьшилась, то увеличится $N_ф$.

Сила тока насыщения $I_{\text{нас}}$ определяется числом выбитых светом за 1 с электронов N_e, которое пропорционально числу падающих на катод за 1 с фотонов $N_ф$, поэтому сила тока насыщения увеличится.

Ответ: точка отрыва графика от горизонтальной оси U сдвинется вправо, горизонтальная асимптота графика $I_{\text{нас}}$ сдвинется вверх.

Справочное издание

Демидова Марина Юрьевна
Грибов Виталий Аркадьевич
Гиголо Антон Иосифович

ЕГЭ
ФИЗИКА

Электродинамика. Квантовая физика
Качественные задачи

500 ЗАДАЧ
С ОТВЕТАМИ И РЕШЕНИЯМИ

Издательство «***ЭКЗАМЕН***»

Гигиенический сертификат
№ РОСС RU C-RU.AK01.H.04670/19 с 23.07.2019 г.

Главный редактор *Л. Д. Лаппо*
Редактор *Г. А. Лонцова*
Технический редактор *Л. В. Павлова*
Корректоры *Е. Н. Цветкова, О. Ю. Казанаева*
Дизайн обложки *Л. В. Демьянова*
Компьютерная верстка *А. С. Миронова*

Россия, 107045, Москва, Луков пер., д. 8. www.examen.biz

E-mail: по общим вопросам: info@examen.biz;
по вопросам реализации: sale@examen.biz

тел./факс 8 (495) 641-00-30 (многоканальный)

Общероссийский классификатор продукции
ОК 034-2014; 58.11.1 — книги печатные

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ООО "Красногорская типография". 143405, Московская область, г. Красногорск,
Коммунальный квартал, дом 2. www.ktprint.ru

По вопросам реализации обращаться по тел.: 8 (495) 641-00-30 (многоканальный).