

# ВСЕ ЗАДАНИЯ

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

# ФИЗИКА

# ЕГЭ **1000** ЗАДАЧ



**С ОТВЕТАМИ  
И РЕШЕНИЯМИ**

- Более 1000 заданий
- Решения и комментарии
- Ответы

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

# ЕГЭ

БАНК ЗАДАНИЙ ЕГЭ

М. Ю. Демидова

В. А. Грибов

А. И. Гиголо

# 1000 ЗАДАЧ

## С ОТВЕТАМИ И РЕШЕНИЯМИ

# Физика

**Задания  
для подготовки к ЕГЭ**

*Более 1000 заданий  
Решения и комментарии  
Ответы*

*Издательство  
«ЭКЗАМЕН»  
МОСКВА, 2017*

# Содержание

1. Механика .....	5
1.1. Задачи с кратким ответом.....	5
Кинематика.....	5
Динамика .....	15
Статика .....	25
Законы сохранения в механике .....	32
Механические колебания и волны .....	50
1.2. Задания с развернутым ответом.....	51
2. Молекулярная физика и термодинамика.....	79
2.1. Задачи с кратким ответом.....	79
Уравнение Клапейрона–Менделеева .....	79
Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики .....	86
Циклы. Тепловой двигатель. Цикл Карно .....	89
Влажность воздуха .....	92
Уравнение теплового баланса .....	94
2.2. Задания с развернутым ответом.....	98
3. Электродинамика (Электричество).....	117
3.1. Задачи с кратким ответом.....	117
Электростатика .....	117
Постоянный ток .....	127
3.2. Задания с развернутым ответом.....	131
4. Электродинамика (Электромагнитное поле) .....	160
4.1. Задачи с кратким ответом.....	160
Магнитное поле .....	160
Электромагнитная индукция .....	168
Электромагнитные колебания и волны .....	171
Оптика.....	175
4.2. Задания с развернутым ответом.....	184

5. Квантовая физика .....	206
5.1. Задачи с кратким ответом.....	206
5.2. Задания с развернутым ответом.....	217
6. Качественные задачи с развернутым ответом .....	235
Ответы .....	267
1. Механика.....	267
1.1. Задачи с кратким ответом .....	267
1.2. Задания с развернутым ответом .....	269
2. Молекулярная физика и термодинамика .....	301
2.1. Задачи с кратким ответом .....	301
2.2. Задания с развернутым ответом .....	302
3. Электродинамика (Электричество) .....	323
3.1. Задачи с кратким ответом .....	323
3.2. Задания с развернутым ответом .....	324
4. Электродинамика (Электромагнитное поле).....	350
4.1. Задачи с кратким ответом .....	350
4.2. Задания с развернутым ответом .....	351
5. Квантовая физика .....	376
5.1. Задачи с кратким ответом .....	376
5.2. Задания с развернутым ответом .....	377
6. Качественные задачи с развернутым ответом .....	403

# 1. Механика

## 1.1. Задачи с кратким ответом

### Кинематика

1. За 2 с прямолинейного равноускоренного движения тело прошло 20 м, увеличив свою скорость в 3 раза. Определите начальную скорость тела.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

2. За 2 с прямолинейного равноускоренного движения тело прошло 20 м, причем его скорость увеличилась в 3 раза. Определите ускорение тела.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

3. За 2 с прямолинейного движения с постоянным ускорением тело прошло 20 м, не меняя направления движения и уменьшив свою скорость в 3 раза. Чему равна начальная скорость тела на этом интервале?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

4. При прямолинейном равноускоренном движении с ускорением 4 м/с<sup>2</sup> тело прошло 36 м, его скорость при этом увеличилась в 3 раза. Определите промежуток времени, в течение которого двигалось тело.

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

5. Мимо остановки по прямой улице с постоянной скоростью проезжает грузовик. Через 5 с от остановки вдогонку грузовику отъезжает мотоциклист, движущийся с ускорением  $3 \text{ м/с}^2$ , и догоняет грузовик на расстоянии 150 м от остановки. Чему равна скорость грузовика?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

6. Мимо остановки по прямой улице проезжает грузовик со скоростью 10 м/с. Через 5 с от остановки вдогонку грузовику отъезжает мотоциклист, движущийся с ускорением  $3 \text{ м/с}^2$ . На каком расстоянии от остановки мотоциклист догонит грузовик?

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

7. Мимо остановки по прямой улице проезжает грузовик со скоростью 10 м/с. Через 5 с от остановки вдогонку грузовику отъезжает мотоциклист, движущийся с ускорением  $3 \text{ м/с}^2$ . Чему равна скорость мотоциклиста в момент, когда он догонит грузовик?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

9. Поезд начал торможение со скорости 20 м/с, а на последнем километре тормозного пути его скорость уменьшилась на 10 м/с. Определите общий тормозной путь поезда, считая торможение равнозамедленным.

Ответ: \_\_\_\_\_ км.

10. За 10 секунд скорость автомобиля, движущегося равноускоренно по прямой дороге, увеличилась от 0 до 20 м/с. Определите пройденный автомобилем путь.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

11. Скорость автомобиля, движущегося равноускоренно по прямой дороге, на пути 100 м увеличилась от 0 до 20 м/с. Сколько времени длился разгон?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

12. Автомобиль начал движение из состояния покоя с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$  от дорожной отметки 38 км и закончил ускоряться через 100 м. Чему равна конечная скорость автомобиля?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

13. Автомобиль начал равноускоренное движение из состояния покоя с ускорением от дорожной отметки 38 км и закончил ускоряться через 100 м, достигнув скорости 20 м/с. Каково ускорение автомобиля?

Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{м/с}^2$ .

14. Начальная скорость автомобиля, движущегося прямолинейно и равноускоренно, равна 5 м/с. После прохождения расстояния 40 м его скорость оказалась равной 15 м/с. Чему равно ускорение автомобиля?

Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{м/с}^2$ .

15. Начальная скорость автомобиля, движущегося прямолинейно и равноускоренно, равна 5 м/с. Его конечная скорость через 10 с равна 25 м/с. Какой путь автомобиль прошел за это время?

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

16. Начальная скорость тележки равна 5 м/с. Тележка движется с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ , направленным в ту же сторону, что и начальная скорость. Определите скорость тележки через 3 с.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

17. Начальная скорость тележки равна 5 м/с. Тележка движется с постоянным ускорением, направленным в ту же сторону, что и начальная скорость, и через 3 с ее скорость становится равной 11 м/с. Определите ускорение тележки.

Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{м/с}^2$ .

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

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

20. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с. Каков модуль скорости тела через 0,5 с после начала движения? Сопротивление воздуха не учитывать.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

21. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью 10 м/с. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Какова будет скорость тела через одну секунду после броска?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

22. Тело свободно падает с высоты 30 м. Начальная скорость тела равна нулю. На какой высоте оно окажется через 2 с после начала падения? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

23. Камень, брошенный с крыши дома почти вертикально вверх со скоростью 10 м/с, упал на землю через 3 с после броска. С какой высоты брошен камень? Сопротивление воздуха не учитывать.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

24. Камень, брошенный с поверхности земли почти вертикально вверх, упал со скоростью 15 м/с на крышу дома, находящуюся на высоте 20 м. Найдите время полета камня. Сопротивление воздуха не учитывать.

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

25. Камень, брошенный почти вертикально вверх с крыши дома высотой 15 м, упал на землю со скоростью 20 м/с. Сколько времени летел камень? Сопротивление воздуха не учитывать.

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

26. Камень, брошенный почти вертикально вверх с поверхности земли, через 3 с после броска упал на крышу дома высотой 15 м. Найдите начальную скорость камня. Сопротивление воздуха не учитывать.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

28. Небольшой камень, брошенный с ровной горизонтальной поверхности земли под углом к горизонту, упал обратно на землю в 20 м от места броска. Чему была равна скорость камня через 1 с после броска, если в этот момент она была направлена горизонтально?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

29. Небольшой камень, брошенный с ровной горизонтальной поверхности земли под углом к горизонту, достиг максимальной высоты 5 м и упал обратно на землю в 20 м от места броска. Чему равна минимальная скорость камня за время полета?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

30. Небольшой камень, брошенный с ровной горизонтальной поверхности земли под углом к горизонту, упал обратно на землю в 20 м от места броска. Сколько времени прошло от броска до того момента, когда его скорость была направлена горизонтально и равна 10 м/с?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

31. Небольшой камень, брошенный с ровной горизонтальной поверхности земли под углом к горизонту, упал обратно на землю через 2 с в 20 м от места броска. Чему равна минимальная скорость камня за время полета?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

32. С аэростата, зависшего над Землей, упал груз. Через 10 с он достиг поверхности Земли. На какой высоте находился аэростат? Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

33. С аэростата, зависшего над Землей на высоте 500 м, упал груз. Через сколько времени он достиг поверхности Земли? Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

34. Дом стоит на краю поля. С балкона с высоты 5 м мальчик бросил камешек в горизонтальном направлении. Начальная скорость камешка 7 м/с, его масса 0,1 кг. Чему приблизительно равен импульс камешка через 2 с после броска?

Ответ: \_\_\_\_\_ кг · м/с.

35. Дом стоит на краю поля. С балкона с высоты 5 м мальчик бросил камешек в горизонтальном направлении. Начальная скорость камешка 7 м/с, его масса 0,1 кг. Чему приблизительно равна кинетическая энергия камешка через 2 с после броска?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

36. Верхнюю точку моста радиусом 100 м автомобиль проходит со скоростью 20 м/с. Определите центростремительное ускорение автомобиля.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

37. Автомобиль движется по окружности радиусом 100 м со скоростью 10 м/с. Каково центростремительное ускорение автомобиля?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

38. Груз, подвешенный на нити длиной 2 м, отведен в сторону и опущен. Нижнюю точку траектории он проходит со скоростью 3 м/с. Чему равно центростремительное ускорение груза в нижней точки траектории?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

39. Автомобиль массой 500 кг, разгоняясь с места равноускоренно, достиг скорости 20 м/с за 10 с. Чему равна равнодействующая всех сил, действующих на автомобиль?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

40. Автомобиль массой 500 кг, разгоняясь с места равноускоренно, прошел за 10 с путь 100 м. Чему равна равнодействующая всех сил, действующих на автомобиль?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ км/с.

42. Искусственный спутник обращается по круговой орбите на высоте 600 км от поверхности планеты со скоростью 3,4 км/с. Радиус планеты равен 3400 км. Чему равно ускорение свободного падения на поверхности планеты?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

43. Искусственный спутник обращается вокруг планеты по круговой орбите радиусом 4000 км со скоростью 3,4 км/с. Ускорение свободного падения на поверхности планеты равно 4 м/с<sup>2</sup>. Определите радиус планеты.

Ответ: \_\_\_\_\_ км.

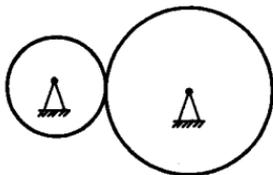
44. Груз массой 3 кг подвешен к укрепленному в лифте динамометру. Лифт начинает подниматься с нижнего этажа с постоянным ускорением. Показания динамометра при этом равны 36 Н. Чему равно ускорение лифта?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

45. Груз массой 4 кг подвешен к укрепленному в лифте динамометру. Лифт начинает спускаться с верхнего этажа с постоянным ускорением. Показания динамометра при этом равны 36 Н. Чему равно ускорение лифта?

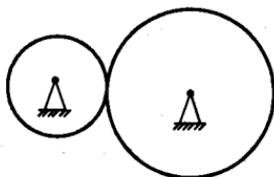
Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

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



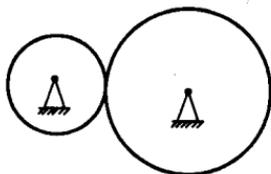
Ответ: \_\_\_\_\_.

47. Две шестерни, сцепленные друг с другом, вращаются вокруг неподвижных осей (см. рис.). Большая шестерня радиусом 10 см делает 20 оборотов за 10 с, а частота обращения меньшей шестерни равна  $5 \text{ с}^{-1}$ . Каков радиус меньшей шестерни?



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

48. Две шестерни, сцепленные друг с другом, вращаются вокруг неподвижных осей (см. рис.). Отношение периодов вращения шестерен равно 3. Радиус меньшей шестерни равен 6 см. Каков радиус большей шестерни?



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

49. На горизонтальной дороге автомобиль делает разворот радиусом 9 м. Коэффициент трения шин об асфальт 0,4. Определите максимальную скорость автомобиля при развороте, чтобы его не занесло.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

## Динамика

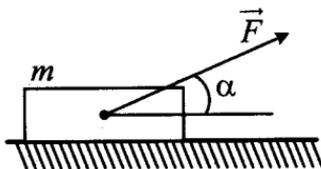
51. Брусок массой  $0,5 \text{ кг}$  прижат к вертикальной стене силой  $10 \text{ Н}$ , направленной перпендикулярно стене. Коэффициент трения скольжения между бруском и стеной равен  $0,4$ . Какую минимальную силу надо приложить к бруску по вертикали, чтобы равномерно поднимать его вертикально вверх?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

52. Брусок массой  $0,5 \text{ кг}$  прижат к вертикальной стене силой  $10 \text{ Н}$ , направленной горизонтально и перпендикулярно стене. Для равномерного подъема бруска вертикально вверх к нему нужно приложить силу, равную  $9 \text{ Н}$ . Каков коэффициент трения скольжения между бруском и стеной?

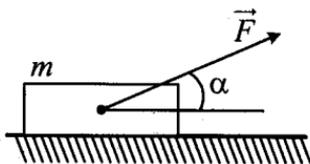
Ответ: \_\_\_\_\_.

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



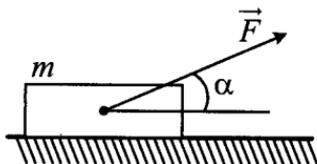
Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

54. Тело массой 1 кг движется по горизонтальной плоскости. На тело действует сила  $F = 10$  Н под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту (см. рис.). Коэффициент трения между телом и плоскостью равен 0,4. Каков модуль силы трения, действующей на тело?



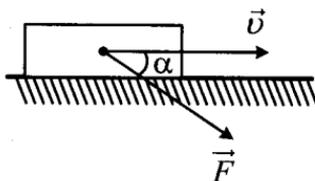
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

55. Брусок массой 1 кг движется равноускоренно по горизонтальной поверхности под действием силы  $F = 10$  Н, как показано на рисунке. Модуль силы трения, действующей на тело, равен 1 Н, а угол  $\alpha = 30^\circ$ . Чему равен коэффициент трения между бруском и плоскостью?



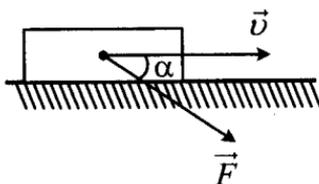
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

56. Тело массой 1 кг движется по горизонтальной плоскости. На тело действует сила  $F = 10$  Н под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту (см. рис.). Коэффициент трения между телом и плоскостью равен 0,4. Каков модуль силы трения, действующей на тело?



Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

57. Тело массой 1 кг движется по горизонтальной плоскости. На тело действует сила  $\vec{F}$  под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту (см. рис.). Коэффициент трения между телом и плоскостью равен 0,4. Каков модуль силы  $\vec{F}$ , если модуль силы трения, действующей на тело, равен 6 Н?



Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

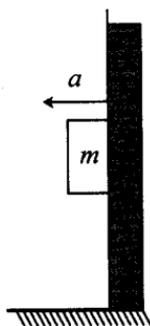
58. На горизонтальном полу стоит ящик массой 10 кг. Коэффициент трения между полом и ящиком равен 0,25. К ящику в горизонтальном направлении прикладывают силу 16 Н, и он остается в покое. Какова сила трения между ящиком и полом?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

59. На горизонтальном столе покоится брусок массой 2 кг. Коэффициент трения между столом и бруском равен 0,2. К бруску в горизонтальном направлении прикладывают силу 3 Н. Какое ускорение приобретает брусок под действием этой силы?

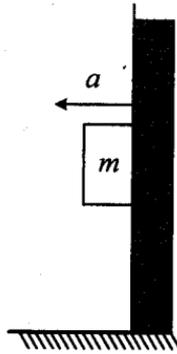
Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

60. К подвижной вертикальной стенке приложили груз массой 10 кг. Каков коэффициент трения между грузом и стенкой, если минимальное ускорение, с которым надо передвигать стенку влево, чтобы груз не соскользнул вниз, равно 25 м/с<sup>2</sup>?



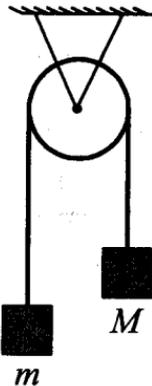
Ответ: \_\_\_\_\_.

61. К подвижной вертикальной стенке приложили груз массой 10 кг. Коэффициент трения между грузом и стенкой равен 0,4. С каким минимальным ускорением надо передвигать стенку влево, чтобы груз не соскользнул вниз?



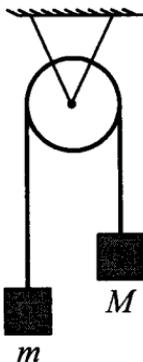
Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

62. Брусок массой  $M = 300$  г соединен с бруском массой  $m = 200$  г невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый идеальный блок (см. рис.). Чему равен модуль ускорения бруска массой 200 г?



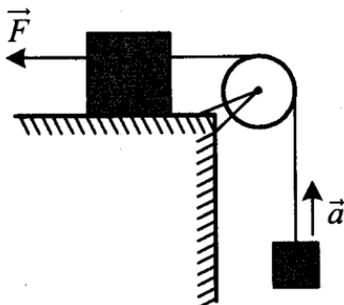
Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

63. Брусок массой  $M$  соединен с более легким бруском массой  $m = 200$  г невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок (см. рис.). Чему равна масса  $M$ , если модуль ускорения бруска массой  $200$  г равен  $2$  м/с<sup>2</sup>?



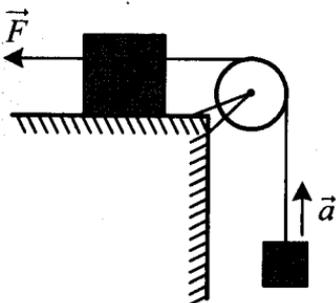
Ответ: \_\_\_\_\_ г.

64. Груз, лежащий на столе, связан легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через идеальный блок, с грузом массой  $0,25$  кг. На первый груз действует горизонтальная постоянная сила  $F$ , равная  $9$  Н (см. рис.). Второй груз движется с ускорением  $2$  м/с<sup>2</sup>, направленным вверх. Трением между грузом и поверхностью стола пренебречь. Какова масса первого груза?



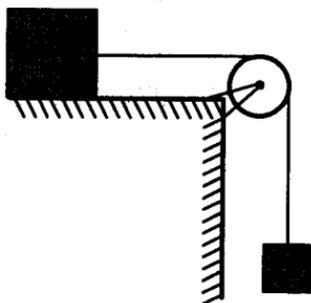
Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

65. Груз массой 3 кг, лежащий на столе, связан легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через идеальный блок, с другим грузом. На первый груз действует горизонтальная постоянная сила  $F$ , равная 9 Н (см. рис.). Второй груз движется с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ , направленным вверх. Трением между грузом и поверхностью стола пренебречь. Какова масса второго груза?



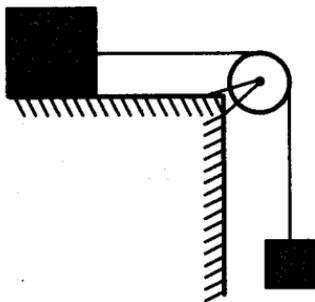
Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

66. По горизонтальному столу из состояния покоя движется брусок массой 0,8 кг, соединенный с грузом массой 0,2 кг невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий невесомый блок (см. рис.). Груз движется с ускорением  $1,2 \text{ м/с}^2$ . Определите коэффициент трения бруска о поверхность стола.



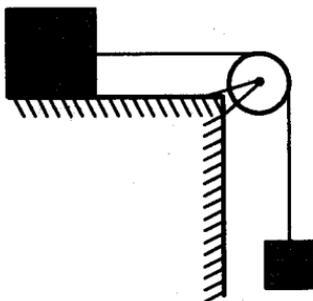
Ответ: \_\_\_\_\_.

67. По горизонтальному столу из состояния покоя движется брусок массой  $0,7$  кг, соединенный с грузом массой  $0,3$  кг невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий невесомый блок (см. рис.). Коэффициент трения бруска о поверхность стола равен  $0,2$ . Определите ускорение бруска.



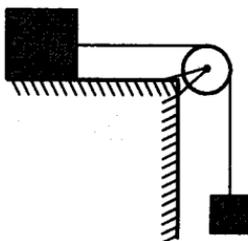
Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{м/с}^2$ .

68. По горизонтальному столу из состояния покоя движется массивный брусок, соединенный с грузом массой  $0,4$  кг невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий невесомый блок (см. рис.). Коэффициент трения бруска о поверхность стола равен  $0,2$ . Ускорение груза равно  $2$   $\text{м/с}^2$ . Какова масса бруска?



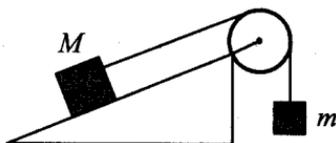
Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

69. По горизонтальному столу из состояния покоя движется брусок массой  $0,9$  кг, соединенный с грузом массой  $0,3$  кг невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий невесомый блок (см. рис.). Коэффициент трения бруска о поверхность стола равен  $0,2$ . Определите натяжение вертикальной части нити.



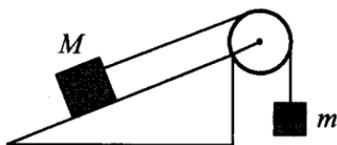
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

70. Брусок массой  $M = 300$  г соединен с грузом массой  $m = 200$  г невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок (см. рис.). Брусок скользит без трения по неподвижной наклонной плоскости, составляющей угол  $30^\circ$  с горизонтом. Чему равно ускорение груза  $m$ ?



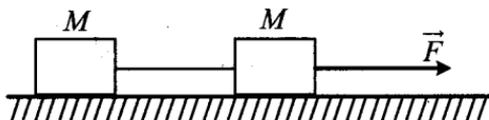
Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{м/с}^2$ .

71. Брусок массой  $M = 200$  г соединен с грузом массой  $m = 300$  г невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый блок (см. рис.). Брусок скользит без трения по закрепленной наклонной плоскости, составляющей угол  $30^\circ$  с горизонтом. Чему равно ускорение бруска?



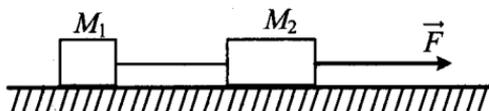
Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{м/с}^2$ .

72. Два груза одинаковой массы  $M$ , связанные нерастяжимой и невесомой нитью, движутся прямолинейно по гладкой горизонтальной поверхности под действием горизонтальной силы  $\vec{F}$ , приложенной к одному из грузов (см. рис.). Минимальная сила  $F$ , при которой нить обрывается, равна 12 Н. При какой силе натяжения нить обрывается?



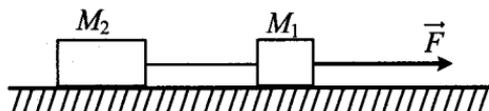
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

73. Два груза массами  $M_1 = 1$  кг и  $M_2 = 2$  кг, лежащие на гладкой горизонтальной поверхности, связаны нерастяжимой и невесомой нитью. Чему равна сила натяжения нити, когда эту систему тянут за груз массой  $M_2$  с силой  $F = 12$  Н, направленной горизонтально (см. рис.)?



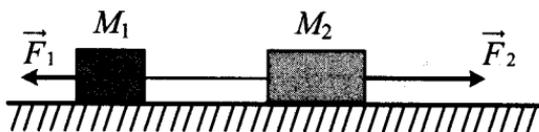
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

74. Два груза, связанные нерастяжимой и невесомой нитью, движутся по гладкой горизонтальной поверхности под действием силы  $\vec{F}$ , приложенной к грузу массой  $M_1 = 1$  кг (см. рис.). Минимальная сила  $F$ , при которой нить обрывается, равна 12 Н. Известно, что нить может выдержать нагрузку не более 8 Н. Чему равна масса второго груза?



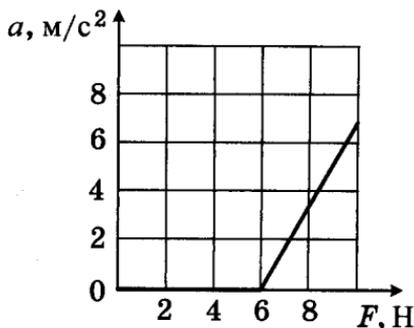
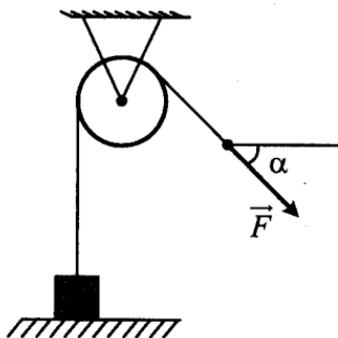
Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

75. Два груза массами соответственно  $M_1 = 1$  кг и  $M_2 = 2$  кг, лежащие на гладкой горизонтальной поверхности, связаны невесомой и нерастяжимой нитью. На грузы действуют силы  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ , как показано на рисунке. Сила натяжения нити  $T = 15$  Н. Каков модуль силы  $F_1$ , если  $F_2 = 21$  Н?



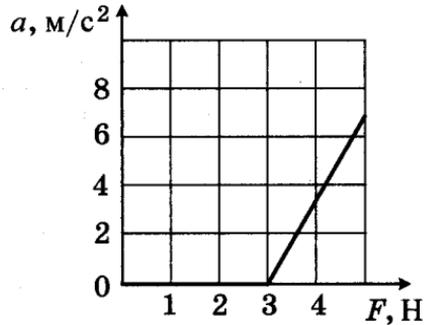
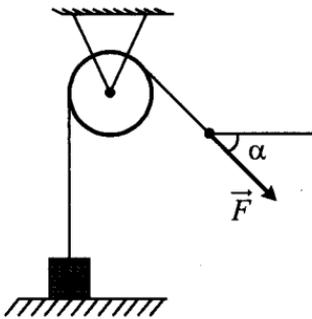
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

76. Массивный груз, покоящийся на горизонтальной опоре, привязан к легкой нерастяжимой веревке, перекинутой через идеальный блок. К веревке прикладывают постоянную силу  $\vec{F}$ , направленную под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту (см. рис.). Зависимость модуля ускорения груза от модуля силы  $\vec{F}$  представлена на графике. Чему равна масса груза?



Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

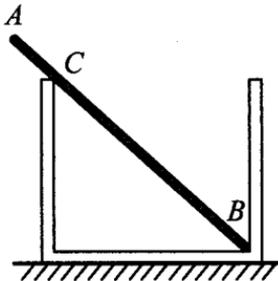
77. Массивный груз, покоящийся на горизонтальной опоре, привязан к легкой нерастяжимой веревке, перекинутой через идеальный блок. К веревке прикладывают постоянную силу  $\vec{F}$ , направленную под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту (см. рис.). Зависимость модуля ускорения груза от модуля силы  $\vec{F}$  представлена на графике. Чему равна масса груза?



Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

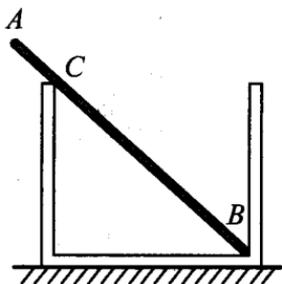
### Статика

78. Однородный стержень  $AB$  массой  $m = 100$  г покоится, упираясь в стык дна и стенки банки концом  $B$  и опираясь на край банки в точке  $C$  (см. рис.). Модуль силы, с которой стержень давит на стенку сосуда в точке  $C$ , равен  $0,5$  Н. Чему равен модуль вертикальной составляющей силы, с которой стержень давит на сосуд в точке  $B$ , если модуль горизонтальной составляющей этой силы равен  $0,3$  Н? Трением пренебречь.



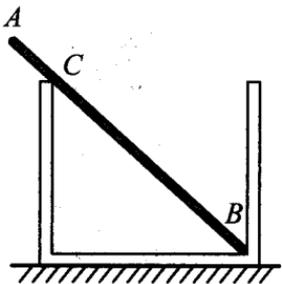
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

79. Однородный стержень  $AB$  массой  $100\text{ г}$  покоится, упираясь в стык дна и стенки банки концом  $B$  и опираясь на край банки в точке  $C$  (см. рис.). Модуль силы, с которой стержень давит на стенку сосуда в точке  $C$ , равен  $0,5\text{ Н}$ . Чему равен модуль горизонтальной составляющей силы, с которой стержень давит на сосуд в точке  $B$ , если модуль вертикальной составляющей этой силы равен  $0,6\text{ Н}$ ? Трением пренебречь.



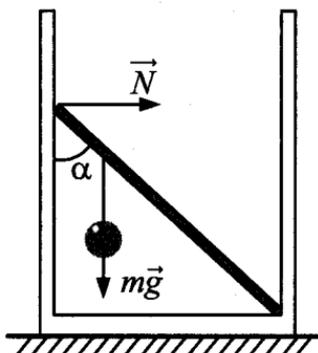
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

80. Однородный массивный стержень  $AB$  покоится, упираясь в стык дна и стенки банки концом  $B$  и опираясь на край банки в точке  $C$  (см. рис.). Модуль силы, с которой стержень давит на стенку сосуда в точке  $C$ , равен  $0,5\text{ Н}$ . Вертикальная составляющая силы, с которой стержень давит на сосуд в точке  $B$ , равна по модулю  $0,6\text{ Н}$ , а ее горизонтальная составляющая равна по модулю  $0,3\text{ Н}$ . Чему равна сила тяжести, действующая на стержень? Трением пренебречь.



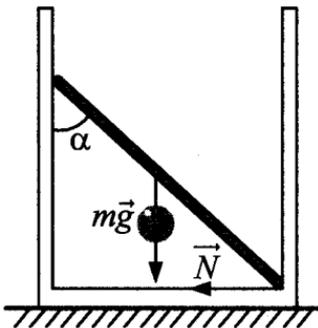
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

81. Невесомый стержень длиной 1 м, находящийся в ящике с гладкими дном и стенками, составляет угол  $\alpha = 45^\circ$  с вертикалью (см. рис.). К стержню на расстоянии 25 см от его левого конца подвешен на нити шар массой 2 кг (см. рис.). Каков модуль силы  $\vec{N}$ , действующей на стержень со стороны левой стенки ящика?



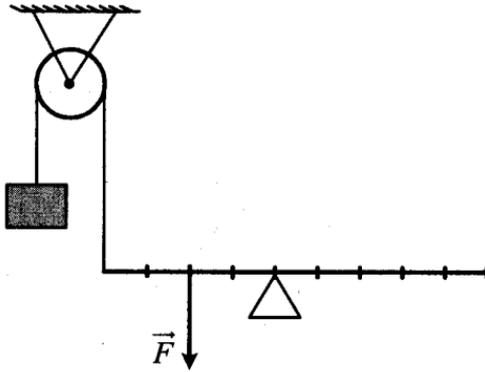
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

82. Невесомый стержень, находящийся в ящике с гладкими дном и стенками, составляет угол  $45^\circ$  с вертикалью (см. рис.). К середине стержня подвешен на нити шар массой 1 кг. Каков модуль горизонтальной составляющей силы упругости  $\vec{N}$ , действующей на нижний конец стержня со стороны ящика?



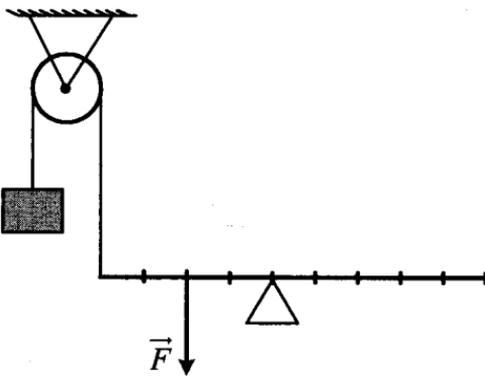
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

83. На рисунке изображена система, состоящая из рычага и блока. Масса груза 100 г. Какую силу нужно приложить к рычагу, чтобы система находилась в равновесии?



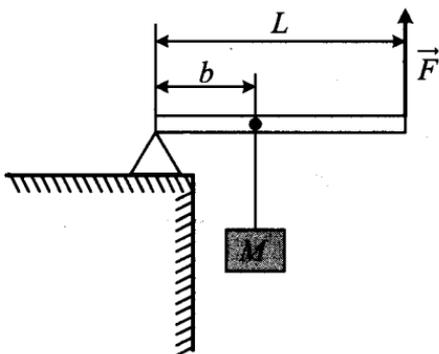
Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

84. На рисунке изображена система, состоящая из рычага и блока. Чтобы система находилась в равновесии, к рычагу необходимо приложить силу 4 Н. Определите массу груза.



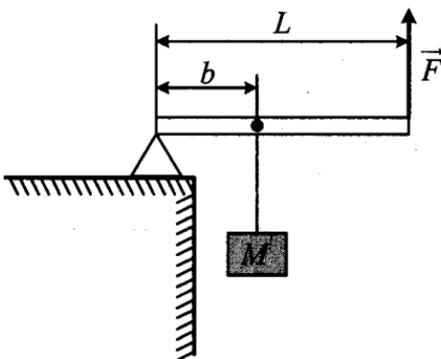
Ответ: \_\_\_\_\_ г.

85. Груз массой 100 кг удерживают на месте с помощью рычага, приложив вертикальную силу 350 Н (см. рис.). Рычаг состоит из шарнира без трения и однородного массивного стержня длиной 5 м. Расстояние от оси шарнира до точки подвеса груза равно 1 м. Определите массу стержня.



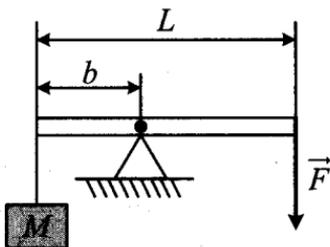
Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

86. Груз массой 100 кг удерживают на месте с помощью рычага, приложив вертикальную силу 350 Н (см. рис.). Рычаг состоит из шарнира без трения и однородного стержня массой 30 кг и длиной 5 м. Определите расстояние от оси шарнира до точки подвеса груза.



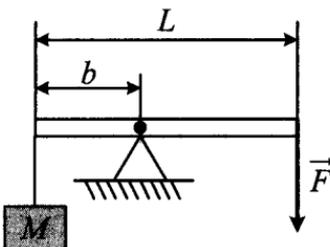
Ответ: \_\_\_\_\_ м.

87. Груз массой 120 кг удерживают с помощью рычага, приложив к его концу вертикально направленную силу 300 Н (см. рис.). Рычаг состоит из шарнира без трения и длинного однородного стержня массой 30 кг. Расстояние от оси шарнира до точки подвеса груза равно 1 м. Определите длину стержня.



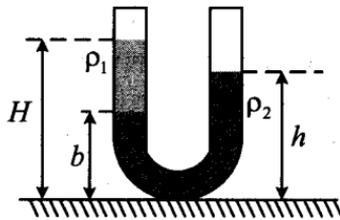
Ответ: \_\_\_\_\_ м.

88. Груз удерживают с помощью рычага, приложив к его концу вертикально направленную силу 300 Н (см. рис.). Рычаг состоит из шарнира без трения и однородного стержня массой 30 кг и длиной 4 м. Расстояние от оси шарнира до точки подвеса груза равно 1 м. Определите массу груза.



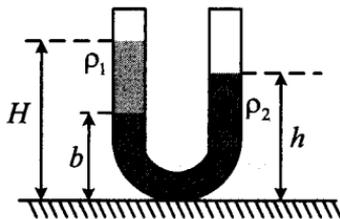
Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

89. В U-образную трубку с широкими вертикальными прямыми коленами налиты керосин плотностью  $\rho_1 = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  и вода плотностью  $\rho_2 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  (см. рис.). На рисунке  $b = 10 \text{ см}$ ,  $H = 30 \text{ см}$ . Чему равно расстояние  $h$ ?



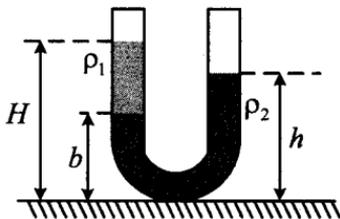
Ответ: \_\_\_\_\_ см.

90. В U-образную трубку с широкими вертикальными прямыми коленами налиты неизвестная жидкость плотностью  $\rho_1$  и вода плотностью  $\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$  (см. рис.). На рисунке  $b = 10 \text{ см}$ ,  $h = 24 \text{ см}$ ,  $H = 30 \text{ см}$ . Чему равна плотность жидкости  $\rho_1$ ?



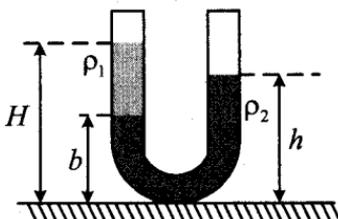
Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{кг/м}^3$ .

91. В U-образную трубку, с широкими вертикальными прямыми коленами, налиты жидкости плотностью  $\rho_1$  и  $\rho_2$  (см. рис.). На рисунке  $b = 5 \text{ см}$ ,  $h = 19 \text{ см}$ ,  $H = 25 \text{ см}$ . Чему равно отношение плотностей  $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_.

92. В U-образную трубку с широкими вертикальными прямыми коленами, изображенную на рисунке, налиты керосин плотностью  $\rho_1 = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  и вода плотностью  $\rho_2 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . На рисунке  $b = 8 \text{ см}$ ,  $h = 24 \text{ см}$ . Чему равно расстояние  $H$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

### Законы сохранения в механике

93. На стоявшие на горизонтальном льду сани массой 200 кг с разбега запрыгнул человек массой 50 кг. Скорость саней после прыжка составила 0,8 м/с. Какой была проекция скорости человека на горизонтальное направление в момент касания саней?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

94. На стоящие на льду сани массой 200 кг с некоторой высоты прыгает человек со скоростью, проекция которой на горизонтальное направление в момент касания саней равна 4 м/с. Скорость саней после прыжка составила 0,8 м/с. Какова масса человека?

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

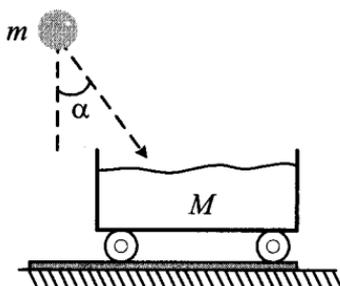
95. Мальчик массой 50 кг, стоя на очень гладком льду, бросает груз массой 8 кг под углом  $60^\circ$  к горизонту со скоростью 5 м/с. Какую скорость приобретет мальчик?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

96. На сани, стоящие на гладком льду, с некоторой высоты прыгает человек массой 50 кг. Проекция скорости человека на горизонтальное направление в момент соприкосновения с санями 4 м/с. Скорость саней с человеком после прыжка составила 0,8 м/с. Какова масса саней?

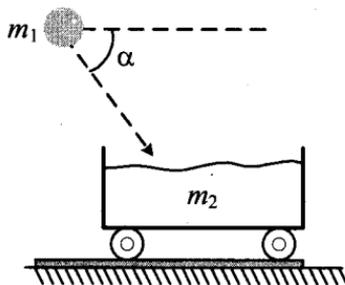
Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

97. Камень массой  $m = 4$  кг падает под углом  $\alpha = 30^\circ$  к вертикали со скоростью 10 м/с в тележку с песком общей массой  $M = 16$  кг, покоящуюся на горизонтальных рельсах (см. рис.). Чему равна скорость тележки после падения в нее камня?



Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

98. Камень массой  $m_1 = 4$  кг падает под углом  $60^\circ$  к горизонту со скоростью 10 м/с в тележку с песком, покоящуюся на горизонтальных рельсах (см. рис.). Чему равен импульс тележки с песком и камнем после падения камня?



Ответ: \_\_\_\_\_ кг · м/с.

99. При произвольном делении покоившегося ядра химического элемента образовалось три осколка массами:  $3m$ ;  $4,5m$ ;  $5m$ . Скорости первых двух взаимно перпендикулярны, а их модули равны соответственно  $4v$  и  $2v$ . Определите отношение модулей скоростей третьего и второго осколков.

Ответ: \_\_\_\_\_.

100. При произвольном делении покоившегося ядра химического элемента образовалось три осколка массами:  $3m$ ;  $4,5m$ ;  $5m$ . Скорости первых двух взаимно перпендикулярны, а их модули равны соответственно  $4v$  и  $2v$ . Определите отношение модулей скоростей третьего и первого осколков.

Ответ: \_\_\_\_\_.

101. Летящий снаряд разрывается на два осколка. По отношению к направлению движения снаряда первый осколок летит под углом  $90^\circ$  со скоростью  $50$  м/с, а второй — под углом  $30^\circ$  со скоростью  $100$  м/с. Найдите отношение массы первого осколка к массе второго осколка.

Ответ: \_\_\_\_\_.

102. Летящий снаряд разрывается на два одинаковых осколка. По отношению к направлению движения снаряда первый осколок летит под углом  $90^\circ$  со скоростью  $50$  м/с, а второй — под углом  $30^\circ$ . Найдите скорость второго осколка.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

103. Мальчик массой  $50$  кг находится на тележке массой  $50$  кг, движущейся по гладкой горизонтальной дороге со скоростью  $1$  м/с. Каким станет модуль скорости тележки, если мальчик прыгнет с нее со скоростью  $2$  м/с относительно дороги в направлении, противоположном первоначальному направлению движения тележки?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

104. Мальчик находится на тележке массой 50 кг, движущейся по гладкой горизонтальной дороге со скоростью 1 м/с. Когда мальчик прыгнул с тележки со скоростью 2 м/с относительно дороги в направлении, противоположном первоначальному направлению движения тележки, то тележка приобрела скорость 4 м/с. Определите массу мальчика.

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

105. Снаряд массой 2 кг, летящий со скоростью 100 м/с, разрывается на два осколка. Один из осколков летит под углом  $90^\circ$  к первоначальному направлению. Под каким углом к этому направлению полетит второй осколок, если его масса 1 кг, а скорость 400 м/с?

Ответ: \_\_\_\_\_  $^\circ$ .

106. Снаряд массой 2 кг, летящий со скоростью 100 м/с, разрывается на два осколка. Один из осколков летит под углом  $90^\circ$  к первоначальному направлению, а второй — под углом  $60^\circ$ . Какова масса второго осколка, если его скорость равна 400 м/с?

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

107. Из ствола пушки, закрепленной на железнодорожной платформе, вдоль рельсов под углом  $60^\circ$  к горизонту вылетает снаряд массой 10 кг. Масса платформы с пушкой 10 т. Каково отношение скоростей снаряда и пушки  $\frac{v_c}{v_{\text{п}}}$ , с которыми они будут двигаться после выстрела?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

108. Снаряд вылетает из ствола пушки, закрепленной на железнодорожной платформе, вдоль рельсов под углом  $60^\circ$  к горизонту. Каким будет отношение скоростей снаряда и пушки, с которыми они станут двигаться после выстрела, если отношение масс платформы с пушкой и снаряда равно 1000?

Ответ: \_\_\_\_\_.

109. Пуля летит горизонтально со скоростью 200 м/с и пробивает насквозь деревянный брусок массой 100 г, лежащий на столе. При вылете пули из бруска ее скорость равна 100 м/с, а скорость бруска равна 10 м/с. Какова масса пули?

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

110. Пуля массой 10 г летит горизонтально со скоростью 200 м/с и пробивает насквозь деревянный брусок, лежащий на столе. При вылете пули из бруска ее скорость равна 100 м/с, а скорость бруска равна 10 м/с. Какова масса бруска?

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

111. Человек, равномерно поднимая веревку, достал ведро с водой из колодца глубиной 10 м. Масса ведра 1,5 кг, масса воды в ведре 10 кг. Какова работа силы упругости веревки?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

112. На горизонтальной поверхности лежит тело. На тело действуют с силой 10 Н, направленной вверх под углом  $60^\circ$  к горизонту. Под действием этой силы тело равномерно переместилось вдоль поверхности на 5 м. Какова работа этой силы?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

113. Лебедка равномерно поднимает груз массой 200 кг на высоту 3 м за 5 с. Какова мощность двигателя лебедки?

Ответ: \_\_\_\_\_ Вт.

114. Механизм равномерно поднимает тело массой 10 кг на высоту 20 м за 40 с. Какова его мощность?

Ответ: \_\_\_\_\_ Вт.

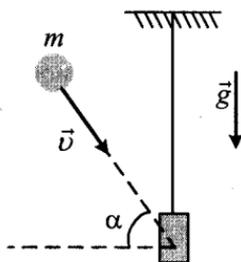
115. Подъемный кран равномерно поднимает груз массой 2 т на высоту 10 м. За какое время поднимается груз, если мощность двигателя крана 10 кВт? Потери энергии незначительны.

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

116. Подъемный кран равномерно поднимает груз массой 2 т на высоту 10 м за 25 секунд. Определите коэффициент полезного действия механизмов крана, если мощность его двигателя 10 кВт?

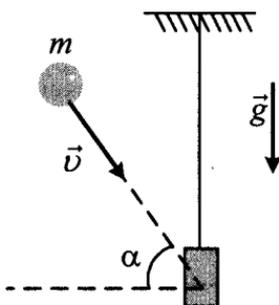
Ответ: \_\_\_\_\_ %.

117. Доска массой 0,8 кг шарнирно подвешена к потолку на легком стержне. На доску со скоростью 10 м/с налетает пластилиновый шарик массой 0,2 кг и прилипает к ней (см. рис.). Скорость шарика перед ударом направлена под углом  $60^\circ$  к нормали к доске. Чему равна кинетическая энергия системы тел после соударения?



Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

118. Доска массой  $0,4$  кг шарнирно подвешена к потолку на легком стержне. На доску со скоростью  $10$  м/с налетает пластилиновый шарик и прилипает к ней (см. рис.). Скорость шарика перед ударом направлена под углом  $60^\circ$  к нормали к доске. Кинетическая энергия системы тел после соударения равна  $0,25$  Дж. Определите массу шарика.



Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

119. Перед ударом два пластилиновых шарика движутся вдоль одной прямой в противоположных направлениях с одинаковыми скоростями  $10$  м/с. Массы шариков  $100$  г и  $150$  г. После столкновения слипшиеся шарики движутся поступательно. Определите их общую кинетическую энергию после соударения.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

120. Перед ударом два пластилиновых шарика движутся взаимно перпендикулярно с одинаковыми импульсами  $1$  кг  $\cdot$  м/с. Массы шариков  $100$  г и  $150$  г. После столкновения слипшиеся шарики движутся поступательно. Определите их общую кинетическую энергию после соударения.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

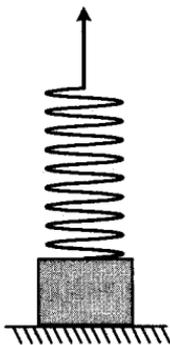
121. В брусок массой 200 г, покоящийся на гладком горизонтальном столе, попадает пластилиновый шарик массой 50 г, летящий горизонтально. После удара брусок с прилипшим к нему пластилином движется поступательно, их кинетическая энергия равна 0,5 Дж. Определите импульс шарика перед ударом.

Ответ: \_\_\_\_\_ кг · м/с.

122. В брусок массой 200 г, покоящийся на гладком горизонтальном столе, попадает пластилиновый шарик массой 50 г, летящий горизонтально. Импульс шарика перед ударом равен 0,5 кг·м/с. После удара брусок с прилипшим к нему пластилином движется поступательно. Определите их кинетическую энергию.

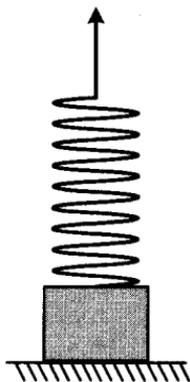
Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

123. К бруску массой 0,4 кг, лежащему на горизонтальной поверхности стола, прикреплена пружина. Свободный конец пружины тянут медленно в вертикальном направлении (см. рис.). Определите величину потенциальной энергии, запасенной в пружине к моменту отрыва бруска от поверхности стола, если пружина при этом растягивается на 2 см. Массой пружины пренебречь.



Ответ: \_\_\_\_\_ мДж.

124. К бруску, лежащему на горизонтальной поверхности стола, прикреплена пружина жесткостью  $200 \text{ Н/м}$ . Свободный конец пружины тянут медленно в вертикальном направлении (см. рис.). Определите, насколько растягивается пружина к моменту отрыва бруска от поверхности стола, если при этом величина потенциальной энергии, запасенной в пружине, составляет  $40 \text{ мДж}$ . Массой пружины пренебречь.



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

125. Мальчик толкнул санки с вершины горки. Сразу после толчка санки имели скорость  $5 \text{ м/с}$ , а у подножия горки она равнялась  $15 \text{ м/с}$ . Трение санок о снег пренебрежимо мало. Какова высота горки?

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

126. Мальчик на санках из состояния покоя спустился с ледяной горы и проехал по горизонтали до остановки  $50 \text{ м}$ . Коэффициент трения при его движении по горизонтальной поверхности равен  $0,2$ . С какой высоты спустился мальчик? Считать, что по склону горы санки скользили без трения.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

127. Сани с саночниками общей массой 100 кг съезжают с горы высотой 8 м и длиной 100 м. Какова средняя сила сопротивления движению санок, если в конце горы они достигли скорости 10 м/с, а начальная скорость равна нулю?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

128. Груз массой 100 г свободно падает с высоты 10 м с нулевой начальной скоростью. Какова потенциальная энергия груза в тот момент времени, когда его скорость равна 8 м/с? Принять, что потенциальная энергия груза равна нулю на поверхности Земли.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

129. Груз массой 100 г свободно падает с высоты 10 м с нулевой начальной скоростью. Какова кинетическая энергия груза на высоте 6 м?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

130. Тело массой 0,1 кг брошено вверх под углом  $30^\circ$  к горизонту со скоростью 4 м/с. Какова потенциальная энергия тела в высшей точке подъема? Считать, что потенциальная энергия тела равна нулю на поверхности Земли.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

131. Тело, массой 1 кг бросили с горизонтальной поверхности Земли со скоростью 20 м/с под углом  $45^\circ$  к горизонту. Какую работу совершила сила тяжести за время полета тела (от броска до падения на Землю)? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

132. Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. Найдите кинетическую энергию мяча перед ударом, если при ударе выделилось количество теплоты, равное 15 Дж.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

133. Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. Какое количество теплоты выделилось при ударе, если перед ударом кинетическая энергия мяча была равна 20 Дж?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

134. Лыжник массой 60 кг спустился с горы высотой 20 м. Какой была сила сопротивления его движению на горизонтальной лыжне после спуска, если он остановился, проехав 200 м? Считать, что по склону горы он скользил без трения.

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

136. Груз массой 0,1 кг привязали к нити длиной 1 м. Нить с грузом отвели от вертикали на угол  $90^\circ$  и отпустили. Каково центростремительное ускорение груза в момент, когда нить образует с вертикалью угол  $60^\circ$ ? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{м/с}^2$ .

137. Груз массой 0,1 кг привязали к нити длиной 1 м. Нить с грузом отвели от вертикали на угол  $90^\circ$  и отпустили. Какой угол образует нить с вертикалью в тот момент, когда центростремительное ускорение груза равно  $10 \text{ м/с}^2$ ? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_  $^\circ$ .

138. Камень массой 200 г, брошенный под углом  $30^\circ$  к горизонту, поднялся на высоту 4 м. Какой будет кинетическая энергия камня непосредственно перед его падением на Землю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

139. Камень, брошенный под углом  $30^\circ$  к горизонту, поднялся на максимальную высоту 4 м. Какова масса камня, если его кинетическая энергия непосредственно перед падением на Землю равна 32 Дж? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

140. Мальчик на санках с общей массой 60 кг спускается с ледяной горы и останавливается, проехав 40 м по горизонтальной поверхности после спуска. Какова высота горы, если сила сопротивления движению на горизонтальном участке равна 60 Н? Считать, что по склону горы санки скользили без трения.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

141. Мальчик на санках спустился с ледяной горы высотой 10 м и проехал по горизонтали до остановки 50 м. Сила трения при его движении по горизонтальной поверхности равна 80 Н. Какова общая масса мальчика с санками? Считать, что по склону горы санки скользили без трения.

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ Н/м.

143. При выстреле из пружинного пистолета вертикально вверх шарик массой 100 г поднимается на высоту 2 м. Насколько была сжата пружина до выстрела, если ее жесткость равна 1600 Н/м? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

144. С высоты 5 м бросают вертикально вверх с начальной скоростью 2 м/с тело малых размеров массой 0,2 кг. При падении на Землю тело входит в грунт на глубину 5 см. Найдите среднюю силу сопротивления грунта движению тела. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

145. С высоты 5 м бросают вертикально вверх с начальной скоростью 2 м/с тело малых размеров массой 0,2 кг. Найдите, на какую глубину тело входит в грунт при падении на Землю, если средняя сила сопротивления грунта движению тела равна 208 Н. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

146. Автомобиль, движущийся с выключенным двигателем, на горизонтальном участке дороги имеет скорость 30 м/с. Затем автомобиль стал перемещаться вверх по склону горы под углом  $30^\circ$  к горизонту. Какой путь он должен пройти по склону, чтобы его скорость уменьшилась до 20 м/с? Трением пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

147. Автомобиль, движущийся с выключенным двигателем, на горизонтальном участке дороги имеет скорость 30 м/с. Затем автомобиль стал перемещаться вверх по склону горы под углом  $30^\circ$  к горизонту и прошел путь по склону, равный 50 м. Определите конечную скорость автомобиля. Трением пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

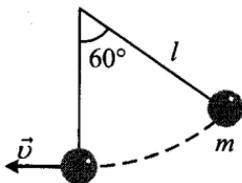
148. После удара клюшкой шайба стала скользить вверх по ледяной горке от ее основания, и у ее вершины имела скорость 5 м/с. Высота горки 10 м. Трение шайбы о лед пренебрежимо мало. Какова скорость шайбы сразу после удара?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

149. После удара клюшкой шайба начала скользить с начальной скоростью 15 м/с вверх по ледяной горке от ее основания, и у ее вершины имела скорость 5 м/с. Трение шайбы о лед пренебрежимо мало. Какова высота горки?

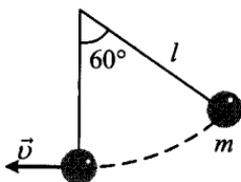
Ответ: \_\_\_\_\_ м.

150. Груз массой  $m = 0,2$  кг привязан к нити длиной  $l = 1$  м. Нить с грузом отвели от вертикали на угол  $60^\circ$  (см. рис.). Чему равна кинетическая энергия груза при прохождении им положения равновесия?



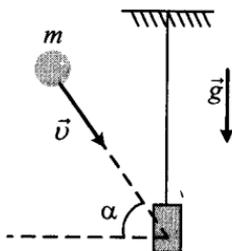
Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

151. Груз массой  $m = 0,2$  кг привязан к длинной нити. Нить с грузом отвели от вертикали на угол  $60^\circ$  (см. рис.). Кинетическая энергия груза при прохождении им положения равновесия равна 1 Дж. Определите длину нити.



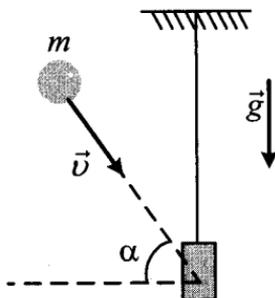
Ответ: \_\_\_\_\_ м.

152. Доска массой 0,5 кг шарнирно подвешена к потолку на легком стержне. На доску со скоростью 10 м/с налетает пластилиновый шарик массой 0,2 кг и прилипает к ней. Скорость шарика перед ударом направлена под углом  $60^\circ$  к нормали к доске (см. рис.). Определите высоту подъема доски относительно положения равновесия после соударения.



Ответ: \_\_\_\_\_ м.

153. Доска шарнирно подвешена к потолку на легком стержне. На доску со скоростью 10 м/с налетает пластилиновый шарик массой 0,2 кг и прилипает к ней. Скорость шарика перед ударом направлена под углом  $60^\circ$  к нормали к доске (см. рис.). Высота подъема доски относительно положения равновесия после соударения равна 0,1 м. Определите массу доски.



Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

154. Автомобиль, двигаясь с выключенным двигателем, на горизонтальном участке дороги имеет скорость 20 м/с. Какое расстояние он проедет до полной остановки вверх по склону горы под углом  $30^\circ$  к горизонту? Трением пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

155. Автомобиль с выключенным двигателем проехал 50 м вниз по дороге, проложенной под углом  $30^\circ$  к горизонту. При этом его скорость достигла 30 м/с. Какова начальная скорость автомобиля? Трением пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

156. Невесомая недеформированная пружина лежит на горизонтальном столе. Один ее конец закреплен, а другой касается бруска массой  $M = 0,1$  кг, находящегося на том же столе. Брусок сдвигают вдоль оси пружины, сжимая пружину на  $\Delta x = 1$  см, и отпускают. При последующем движении брусок приобретает максимальную скорость, равную  $1$  м/с. Определите жесткость пружины. Трение не учитывать.

Ответ: \_\_\_\_\_ Н/м.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

158. Летящая горизонтально со скоростью  $20$  м/с пластилиновая пуля массой  $9$  г попадает в неподвижно висящий на нити груз массой  $81$  г, в результате чего груз с прилипшей к нему пулей начинает совершать колебания. Максимальный угол отклонения нити от вертикали при этом равен  $\alpha = 60^\circ$ . Какова длина нити?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

159. Летящая горизонтально пластилиновая пуля массой  $9$  г попадает в неподвижно висящий на нити длиной  $40$  см груз массой  $81$  г, в результате чего груз с прилипшей к нему пулей начинает совершать колебания. Максимальный угол отклонения нити от вертикали при этом  $\alpha = 60^\circ$ . Какова скорость пули перед попаданием в груз?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

160. Летящая горизонтально со скоростью 20 м/с пластилиновая пуля массой 9 г попадает в неподвижно висящий на длинной нити груз, в результате чего груз с прилипшей к нему пулей начинает совершать колебания. Максимальная высота подъема груза от положения равновесия при этом составляет 20 см. Какова масса груза?

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

161. Летящая горизонтально со скоростью 20 м/с пластилиновая пуля массой 9 г попадает в груз, неподвижно висящий на нити длиной 40 см, в результате чего груз с прилипшей к нему пулей начинает совершать колебания. Максимальный угол отклонения нити от вертикали при этом равен  $\alpha = 60^\circ$ . Какова масса груза?

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

162. Мяч массой 0,1 кг падает с высоты 1,6 м из состояния покоя на горизонтальный пол. В результате удара об пол модуль импульса мяча уменьшается на 10%. Какое количество теплоты выделилось при ударе?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

163. Мяч падает с высоты 1,6 м из состояния покоя на горизонтальный пол. В результате удара об пол модуль импульса мяча уменьшается на 10%, и при ударе выделяется количество теплоты, равное 0,3 Дж. Определите массу мяча.

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

164. Коэффициент полезного действия наклонной плоскости равен 80%. Угол наклона плоскости к горизонту равен  $30^\circ$ . Определите величину силы, направленной параллельно плоскости, которую надо приложить к ящику массой 120 кг, чтобы тащить его вверх по этой плоскости.

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

165. Угол наклона плоскости к горизонту равен  $30^\circ$ . Вверх по этой плоскости тащат ящик массой 90 кг, прикладывая к нему силу, направленную параллельно плоскости и равную 600 Н. Определите коэффициент полезного действия наклонной плоскости.

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

### Механические колебания и волны

166. Шарик на длинной легкой нерастяжимой нити совершает колебания. Максимальная потенциальная энергия шарика в поле тяжести, если считать ее равной нулю в положении равновесия, равна 0,8 Дж. Максимальная скорость шарика в процессе колебаний равна 2 м/с. Какова масса шарика? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

167. Шарик на длинной легкой нерастяжимой нити совершает колебания. Максимальная потенциальная энергия шарика в поле тяжести, если считать ее равной нулю в положении равновесия, равна 0,8 Дж. Масса шарика равна 0,4 кг. Определите максимальную скорость шарика в процессе колебаний. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

168. Груз массой 2 кг, закрепленный на пружине жесткостью 200 Н/м, совершает гармонические колебания. Максимальное ускорение груза при этом равно  $10 \text{ м/с}^2$ . Какова максимальная скорость груза?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

169. Амплитуда малых колебаний пружинного маятника 4 см, масса груза 400 г, жесткость пружины 40 Н/м. Какова максимальная скорость колеблющегося груза?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

170. Груз массой 0,5 кг, закрепленный на пружине жесткостью 200 Н/м, совершает гармонические колебания с амплитудой 5 см. Определите максимальный импульс груза.

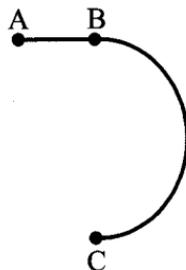
Ответ: \_\_\_\_\_ кг · м/с.

171. Груз массой 2 кг, закрепленный на пружине жесткостью 400 Н/м, совершает гармонические колебания. Максимальное ускорение груза при этом равно  $10 \text{ м/с}^2$ . Какова амплитуда колебаний груза?

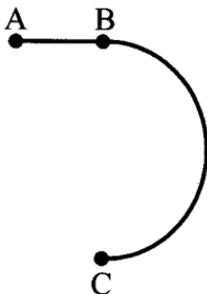
Ответ: \_\_\_\_\_ см.

## 1.2. Задания с развернутым ответом

1. Стартуя из точки А (см. рис.), спортсмен движется равноускоренно до точки В, после которой модуль скорости спортсмена остается постоянным вплоть до точки С. Во сколько раз время, затраченное спортсменом на участок ВС, больше, чем на участок АВ, если модуль ускорения на обоих участках одинаков? Траектория ВС — полуокружность.

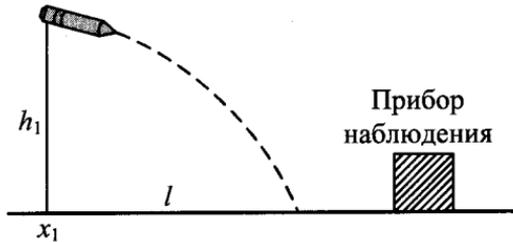


2. Стартуя из точки А (см. рис.), спортсмен движется равноускоренно до точки В, после которой модуль скорости спортсмена остается постоянным вплоть до точки С. На участке ВС модуль ускорения в 2 раза больше, чем на участке АВ. Во сколько раз время, затраченное спортсменом на участок ВС, больше, чем на участок АВ? Траектория ВС — полуокружность.

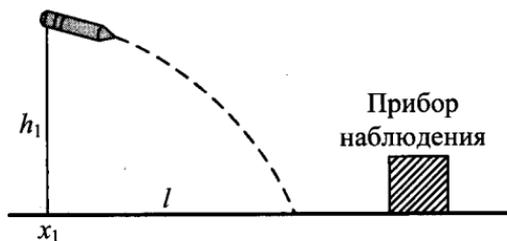


3. В безветренную погоду самолет затрачивает на перелет между городами 6 часов. Если во время полета дует боковой ветер перпендикулярно линии полета, то самолет затрачивает на перелет на 9 минут больше. Найдите скорость ветра, если скорость самолета относительно воздуха постоянна и равна 328 км/ч.
4. В безветренную погоду самолет затрачивает на перелет между городами 6 часов. Если во время полета дует боковой ветер перпендикулярно линии полета, то самолет затрачивает на перелет на 9 минут больше. Найдите скорость самолета относительно воздуха, если скорость ветра постоянна и равна 20 м/с.
5. Тело, свободно падающее с некоторой высоты из состояния покоя, первый участок пути проходит за время  $\tau = 1$  с, а такой же последний — за время  $\frac{1}{2}\tau$ . Найдите полное время падения  $t$ , если начальная скорость равна нулю.

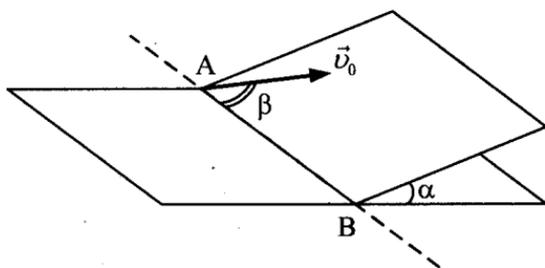
6. Тело, свободно падающее с некоторой высоты из состояния покоя, за время  $\tau = 1$  с после начала движения проходит путь в  $n = 5$  раз меньший, чем за такой же промежуток времени в конце движения. Найдите полное время движения.
7. Прибор наблюдения обнаружил летящий снаряд и зафиксировал его горизонтальную координату  $x_1$  и высоту  $h_1 = 1655$  м над Землей (см. рис.). Через 3 с снаряд упал на Землю и взорвался на расстоянии  $l = 1700$  м от места его обнаружения. Чему равнялось время полета снаряда от пушки до места взрыва, если считать, что сопротивление воздуха пренебрежимо мало? Пушка и место взрыва находятся на одной горизонтали.



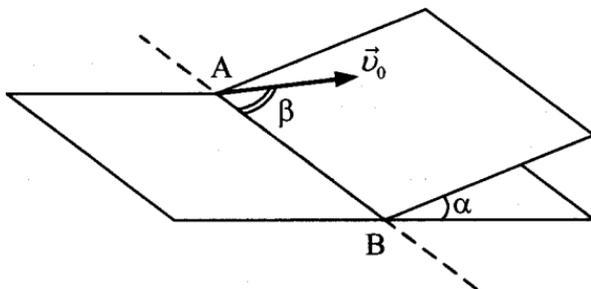
8. Прибор наблюдения обнаружил летящий снаряд и зафиксировал его горизонтальную координату  $x_1$  и высоту  $h_1 = 1655$  м над Землей (см. рис.). Через 3 с снаряд упал на Землю и взорвался на расстоянии  $l = 1700$  м от места его обнаружения. Известно, что снаряды данного типа вылетают из ствола пушки со скоростью 800 м/с. На каком расстоянии от точки взрыва снаряда находилась пушка, если считать, что сопротивление воздуха пренебрежимо мало? Пушка и место взрыва находятся на одной горизонтали.



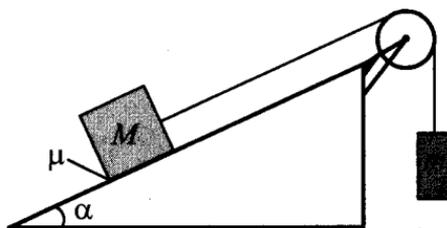
9. Маленький шарик падает сверху на наклонную плоскость и упруго отражается от нее. Угол наклона плоскости к горизонту равен  $30^\circ$ . На какое расстояние по горизонтали перемещается шарик между первым и вторым ударами о плоскость? Скорость шарика в момент первого удара направлена вертикально вниз и равна  $1 \text{ м/с}$ .
10. Маленький шарик падает сверху на наклонную плоскость и упруго отражается от нее. Угол наклона плоскости к горизонту равен  $30^\circ$ . Между первым и вторым ударами о плоскость шарик перемещается по горизонтали на расстояние  $0,173 \text{ м}$ . Скорость шарика в момент первого удара направлена вертикально вниз. Какова величина этой скорости?
11. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой АВ. Угол между плоскостями  $\alpha = 30^\circ$ . Маленькая шайба скользит вверх по наклонной плоскости из точки А с начальной скоростью  $v_0 = 2 \text{ м/с}$ , направленной под углом  $\beta = 60^\circ$  к прямой АВ. Найдите максимальное расстояние, на которое шайба удалится от прямой АВ в ходе подъема по наклонной плоскости. Трением между шайбой и наклонной плоскостью пренебречь.



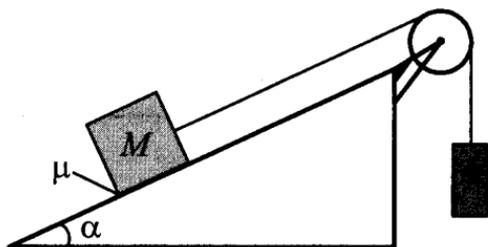
12. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой АВ. Угол между плоскостями  $\alpha = 30^\circ$ . Маленькая шайба начинает движение вверх по наклонной плоскости из точки А с начальной скоростью  $v_0 = 2 \text{ м/с}$  под углом  $\beta = 60^\circ$  к прямой АВ. В ходе движения шайба съезжает на прямую АВ в точке В. Пренебрегая трением между шайбой и наклонной плоскостью, найдите расстояние АВ.



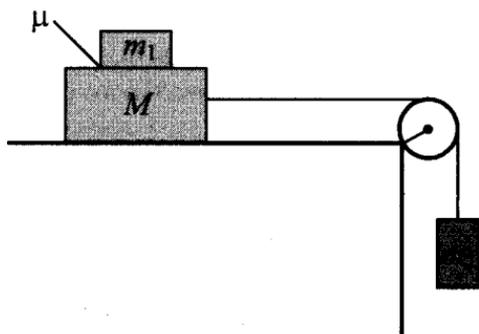
13. Средняя плотность планеты Плюк равна средней плотности Земли, а первая космическая скорость для Плюка в 2 раза больше, чем для Земли. Чему равно отношение периода обращения спутника, движущегося вокруг Плюка по низкой круговой орбите, к периоду обращения аналогичного спутника Земли? Объем шара пропорционален кубу радиуса ( $V \sim R^3$ ).
14. Средняя плотность планеты Плюк равна средней плотности Земли, а радиус Плюка в 2 раза больше радиуса Земли. Чему равно отношение первой космической скорости для Плюка к первой космической скорости для Земли? Объем шара пропорционален кубу радиуса ( $V \sim R^3$ ).
15. Грузы массами  $M = 1$  кг и  $m$  связаны легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок, по которому нить может скользить без трения (см. рис.). Груз массой  $M$  находится на шероховатой наклонной плоскости (угол наклона плоскости к горизонту  $\alpha = 30^\circ$ , коэффициент трения  $\mu = 0,3$ ). Чему равно максимальное значение массы  $m$ , при котором система грузов еще не выходит из первоначального состояния покоя?



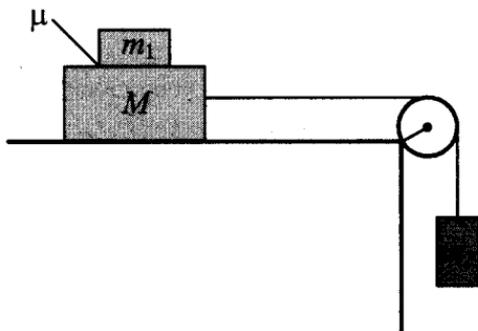
16. Грузы массами  $M$  и  $m = 1$  кг связаны легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок, по которому нить может скользить без трения (см. рис.). Груз массой  $M$  находится на шероховатой наклонной плоскости (угол наклона плоскости к горизонту  $\alpha = 30^\circ$ , коэффициент трения  $\mu = 0,2$ ). Чему равно минимальное значение массы  $M$ , при котором система грузов еще не выходит из первоначального состояния покоя?



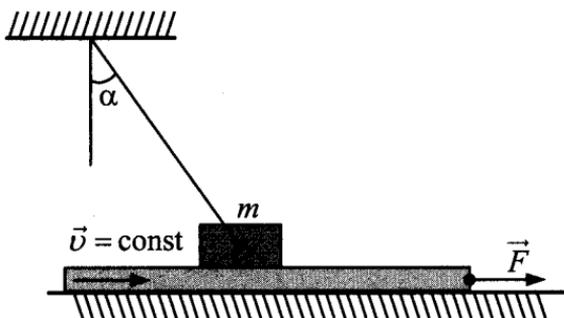
17. Система грузов  $M$ ,  $m_1$  и  $m_2$ , показанная на рисунке, движется из состояния покоя. Поверхность стола — горизонтальная гладкая. Коэффициент трения между грузами  $M$  и  $m_1$  равен  $\mu = 0,2$ . Грузы  $M$  и  $m_2$  связаны легкой нерастяжимой нитью, которая скользит по блоку без трения. Пусть  $M = 1,2$  кг,  $m_1 = m_2 = m$ . При каких значениях  $m$  грузы  $M$  и  $m_1$  движутся как одно целое?



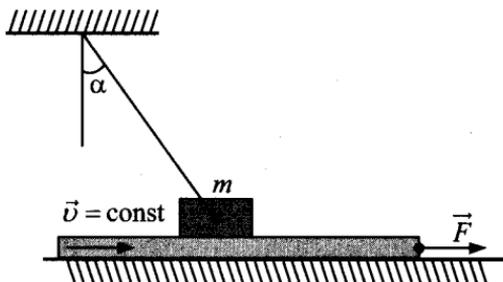
18. Система грузов  $M$ ,  $m_1$  и  $m_2$ , показанная на рисунке, движется из состояния покоя. Поверхность стола — горизонтальная гладкая. Коэффициент трения между грузами  $M$  и  $m_1$  равен  $\mu = 0,2$ . Грузы  $M$  и  $m_2$  связаны легкой нерастяжимой нитью, которая скользит по блоку без трения. Пусть  $m_1 = m_2 = m = 0,5$  кг. При каких значениях  $M$  грузы  $M$  и  $m_1$  движутся как одно целое?



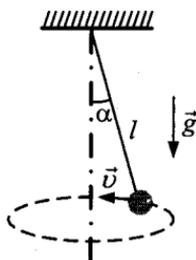
19. Брусок массой  $m = 1$  кг, привязанный к потолку легкой нитью, опирается на массивную горизонтальную доску. Под действием горизонтальной силы  $\vec{F}$  доска движется поступательно вправо с постоянной скоростью (см. рис.). Брусок при этом неподвижен, а нить образует с вертикалью угол  $\alpha = 30^\circ$  (см. рис.). Найдите  $F$ , если коэффициент трения бруска по доске  $\mu = 0,2$ . Трением доски по опоре пренебречь.



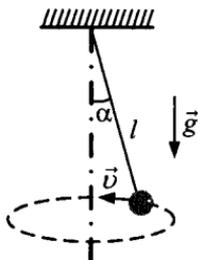
20. Брусок массой  $m$ , привязанный к потолку легкой нитью, опирается на массивную горизонтальную доску. Под действием горизонтальной силы  $\vec{F}$  доска движется поступательно вправо с постоянной скоростью (см. рис.). Брусок при этом неподвижен, а нить образует с вертикалью угол  $\alpha = 30^\circ$  (см. рис.). Найдите  $m$ , если коэффициент трения бруска по доске  $\mu = 0,2$ , а  $F = 1,5$  Н. Трением доски по опоре пренебречь.



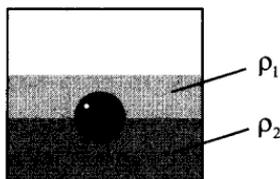
21. Небольшой груз, прикрепленный к нити длиной  $l = 15$  см, вращается вокруг вертикальной оси так, что нить отклоняется от вертикали на угол  $\alpha = 60^\circ$ . С какой скоростью движется груз?



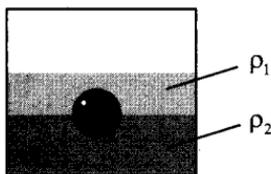
22. Небольшой груз, прикрепленный к нити длиной  $l$ , вращается с угловой скоростью  $\omega = 5$  рад/с вокруг вертикальной оси так, что нить отклоняется от вертикали на угол  $\alpha = 60^\circ$ . Чему равна длина нити  $l$ ?



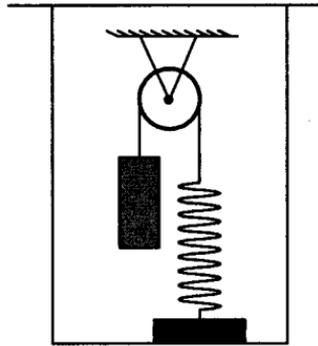
23. Полный конус с углом при вершине  $2\alpha$  вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг вертикальной оси, совпадающей с его осью симметрии. Вершина конуса обращена вверх. На внешней поверхности конуса находится небольшая шайба, коэффициент трения которой о поверхность конуса равен  $\mu$ . При каком максимальном расстоянии  $L$  от вершины шайба будет неподвижна относительно конуса? Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шайбу.
24. Полный конус с углом при вершине  $2\alpha$  вращается вокруг вертикальной оси, совпадающей с его осью симметрии. Вершина конуса обращена вверх. На внешней поверхности конуса на расстоянии  $L$  от вершины находится небольшая шайба, коэффициент трения которой о поверхность конуса равен  $\mu$ . При какой максимальной угловой скорости  $\omega$  шайба будет неподвижна относительно конуса? Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шайбу.
25. На границе раздела двух несмешивающихся жидкостей, имеющих плотности  $\rho_1 = 400 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_2 = 3\rho_1$ , плавает шарик (см. рис.). Какой должна быть плотность шарика  $\rho$ , чтобы выше границы раздела жидкостей была одна четверть его объема?



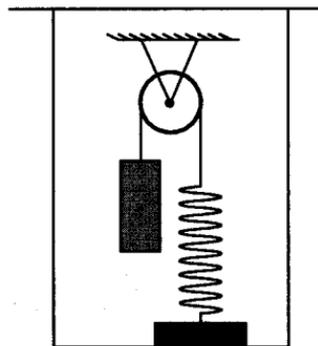
26. На границе раздела двух несмешивающихся жидкостей, имеющих плотности  $\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_2 = 3\rho_1$ , плавает шарик (см. рис.). Какой должна быть плотность шарика  $\rho$ , чтобы выше границы раздела жидкостей была одна треть его объема?



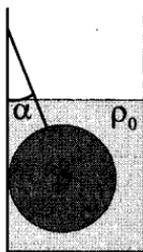
27. В сосуде (см. рис.) находится система тел, состоящая из блока с перекинутой через него нитью, к концам которой привязаны тело объемом  $V$  и пружина жесткостью  $k$ . Нижний конец пружины прикреплен ко дну сосуда. На какую величину изменится сила натяжения нити, действующая на пружину, если эту систему целиком погрузить в жидкость плотностью  $\rho$ ? Считать, что трение в оси блока отсутствует.



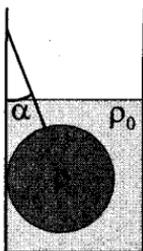
28. В сосуде (см. рис.) находится система тел, состоящая из блока с перекинутой через него нитью, к концам которой привязаны тело объемом  $V$  и пружина жесткостью  $k$ . Нижний конец пружины прикреплен ко дну сосуда. Если эту систему целиком погрузить в жидкость, то сила натяжения нити, действующая на пружину, уменьшится на  $\Delta T$ . Определите плотность жидкости  $\rho$ . Считать, что трение в оси блока отсутствует.



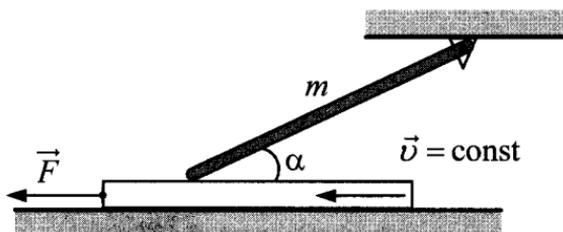
29. Свинцовый шар массой 4 кг подвешен на нити и полностью погружен в воду (см. рис.). Нить образует с вертикалью угол  $\alpha = 30^\circ$ . Определите силу, с которой нить действует на шар. Плотность свинца  $\rho = 11\,300 \text{ кг/м}^3$ . Трением шара о стенку пренебречь. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шар.



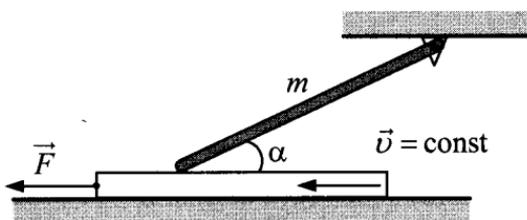
30. Свинцовый шар подвешен на нити и полностью погружен в воду (см. рис.). Нить образует с вертикалью угол  $\alpha = 30^\circ$ . Нить действует на шар с силой 42 Н. Плотность свинца  $\rho = 11\,300 \text{ кг/м}^3$ . Определите массу шара. Трением шара о стенку пренебречь. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шар.



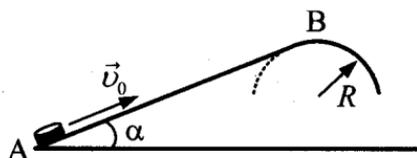
31. Однородный тонкий стержень массой  $m = 1 \text{ кг}$  одним концом шарнирно прикреплен к потолку, а другим концом опирается на массивную горизонтальную доску, образуя с ней угол  $\alpha = 30^\circ$ . Под действием горизонтальной силы  $\vec{F}$  доска движется поступательно влево с постоянной скоростью (см. рис.). Стержень при этом неподвижен. Найдите  $F$ , если коэффициент трения стержня по доске  $\mu = 0,2$ . Трением доски по опоре и трением в шарнире пренебречь.



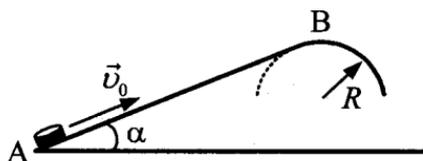
32. Однородный тонкий стержень массой  $m$  одним концом шарнирно прикреплен к потолку, а другим концом опирается на массивную горизонтальную доску, образуя с ней угол  $\alpha = 30^\circ$ . Под действием горизонтальной силы  $\vec{F}$  доска движется поступательно влево с постоянной скоростью (см. рис.). Стержень при этом неподвижен. Найдите  $m$ , если коэффициент трения стержня по доске  $\mu = 0,2$ , а сила  $F = 0,9$  Н. Трением доски по опоре и трением в шарнире пренебечь.



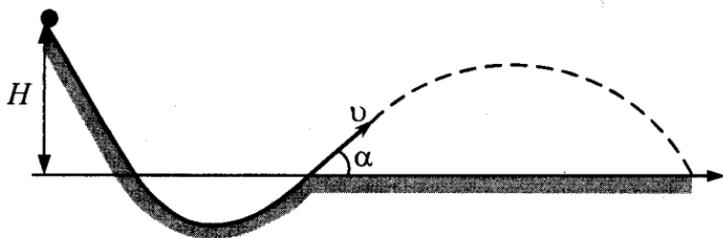
33. Из пружинного пистолета выстрелили вертикально вниз в мишень, находящуюся на расстоянии 2 м от него. Совершив работу 0,12 Дж, пуля застряла в мишени. Какова масса пули, если пружина была сжата перед выстрелом на 2 см, а ее жесткость 100 Н/м?
34. Из пружинного пистолета выстрелили вертикально вниз в мишень, находящуюся на расстоянии 2 м от него. Совершив работу 0,12 Дж, пуля застряла в мишени. Какова жесткость пружины, если пружина была сжата перед выстрелом на 2 см, а масса пули равна 5 г?
35. Небольшая шайба после удара скользит вверх по наклонной плоскости из точки А (см. рис.). В точке В наклонная плоскость без излома переходит в наружную поверхность горизонтальной трубы радиусом  $R$ . Если в точке А скорость шайбы превосходит  $v_0 = 4$  м/с, то в точке В шайба отрывается от опоры. Длина наклонной плоскости  $AB = L = 1$  м, угол  $\alpha = 30^\circ$ . Коэффициент трения между наклонной плоскостью и шайбой  $\mu = 0,2$ . Найдите внешний радиус трубы  $R$ .



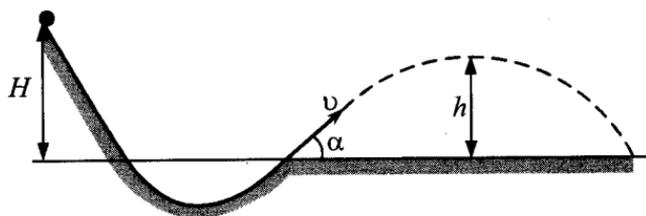
36. Небольшая шайба после удара скользит вверх по наклонной плоскости из точки А (см. рис.). В точке В наклонная плоскость без излома переходит в наружную поверхность горизонтальной трубы радиусом  $R = 0,3$  м. Если в точке А скорость шайбы превосходит  $v_0 = 4$  м/с, то в точке В шайба отрывается от опоры. Длина наклонной плоскости  $AB = L$ , угол  $\alpha = 30^\circ$ . Коэффициент трения между наклонной плоскостью и шайбой  $\mu = 0,2$ . Найдите длину наклонной плоскости  $L$ .



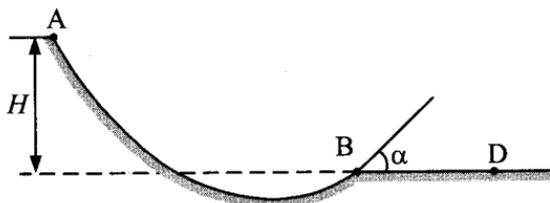
37. При выполнении трюка «Летающий велосипедист» гонщик движется по гладкому трамплину под действием силы тяжести, начиная движение из состояния покоя с высоты  $H$  (см. рис.). На краю трамплина скорость гонщика направлена под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту. Пролетев по воздуху, он приземляется на горизонтальный стол, находящийся на той же высоте, что и край трамплина. Какова дальность полета гонщика?



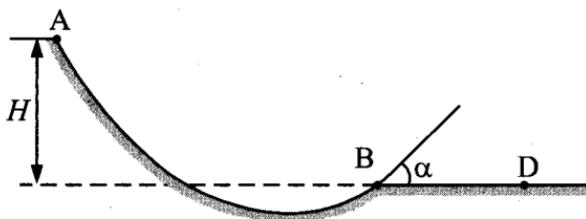
38. При выполнении трюка «Летающий велосипедист» гонщик движется по гладкому трамплину под действием силы тяжести, начиная движение из состояния покоя с высоты  $H$  (см. рис.). На краю трамплина скорость гонщика направлена под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту. Пролетев по воздуху, он приземляется на горизонтальный стол, находящийся на той же высоте, что и край трамплина. Какова максимальная высота  $h$  полета гонщика?



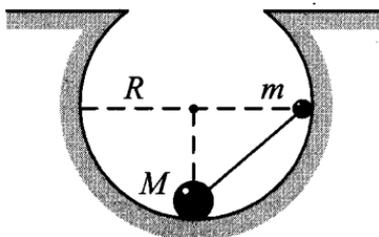
39. Шайба массой  $m = 100$  г начинает движение по желобу АВ из точки А из состояния покоя. Точка А расположена выше точки В на высоте  $H = 6$  м. В процессе движения по желобу механическая энергия шайбы из-за трения уменьшается на величину  $\Delta E$ . В точке В шайба вылетает из желоба под углом  $\alpha = 15^\circ$  к горизонту и падает на землю в точке D, находящейся на одной горизонтали с точкой В (см. рис.).  $BD = 4$  м. Найдите величину  $\Delta E$ . Сопротивлением воздуха пренебречь.



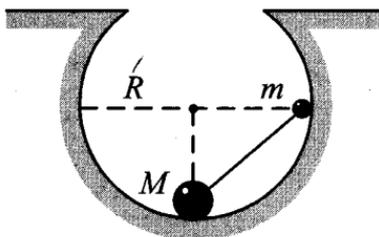
40. Массивная шайба начинает движение по желобу АВ из точки А из состояния покоя. Точка А расположена выше точки В на высоте  $H = 6$  м. В процессе движения по желобу механическая энергия шайбы из-за трения уменьшается на  $\Delta E = 2$  Дж. В точке В шайба вылетает из желоба под углом  $\alpha = 15^\circ$  к горизонту и падает на землю в точке D, находящейся на одной горизонтали с точкой В (см. рис.). Найдите массу шайбы, если  $BD = 2$  м. Сопротивлением воздуха пренебречь.



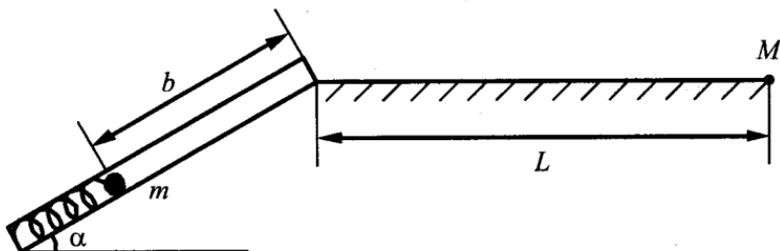
41. Небольшие шарики, массы которых  $m = 30$  г и  $M = 60$  г, соединены легким стержнем и помещены в гладкую сферическую выемку. В начальный момент шарики удерживаются в положении, изображенном на рисунке. Когда их отпустили без толчка, шарики стали скользить по поверхности выемки. Максимальная высота подъема шарика массой  $M$  относительно нижней точки выемки оказалась равной 12 см. Каков радиус выемки  $R$ ?



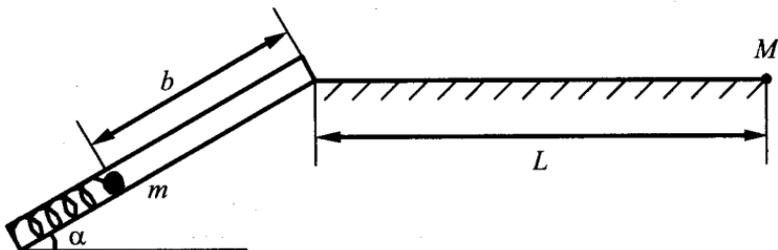
42. Небольшие шарики, массы которых  $m$  и  $M$ , соединены легким стержнем и помещены в гладкую сферическую выемку радиусом  $R = 20$  см. В начальный момент шарики удерживаются в положении, изображенном на рисунке. Когда их отпустили без толчка, шарики стали скользить по поверхности выемки. Минимальная высота, на которой оказался шарик  $m$  в процессе движения, равна 4 см от нижней точки выемки. Определите отношение масс  $M$  и  $m$ .



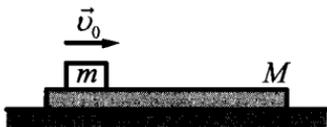
43. Пружинное ружье наклонено под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. Энергия сжатой пружины равна 0,41 Дж. При выстреле шарик массой  $m = 50$  г проходит по стволу ружья расстояние  $b$ , вылетает и падает на расстоянии  $L = 1$  м от дула ружья в точку  $M$ , находящуюся с ним на одной высоте (см. рис.). Найдите расстояние  $b$ . Трением в стволе и сопротивлением воздуха пренебречь.



44. Пружинное ружье наклонено под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту. При выстреле шарик массой  $m = 50$  г проходит по стволу ружья расстояние  $b = 70$  см, вылетает и падает на расстоянии  $L = 1$  м от дула ружья в точку  $M$ , находящуюся с ним на одной высоте (см. рис.). Определите начальную энергию сжатой пружины. Трением в стволе и сопротивлением воздуха пренебречь.



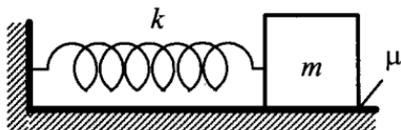
45. На гладкой горизонтальной плоскости находится длинная доска массой  $M = 2$  кг. По доске скользит шайба массой  $m$ . Коэффициент трения между шайбой и доской  $\mu = 0,2$ . В начальный момент времени скорость шайбы  $v_0 = 2$  м/с, а доска покоится. В момент  $\tau = 0,8$  с шайба перестает скользить по доске. Чему равна масса шайбы  $m$ ?



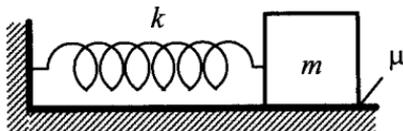
46. На гладкой горизонтальной плоскости находится длинная доска массой  $M$ . По доске скользит шайба массой  $m = 0,5$  кг. Коэффициент трения между шайбой и доской  $\mu = 0,3$ . В начальный момент времени скорость шайбы  $v = 1,8$  м/с, а доска покоится. В момент  $\tau = 0,5$  с шайба перестает скользить по доске. Чему равна масса доски  $M$ ?



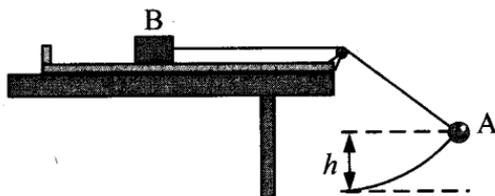
47. К одному концу легкой пружины жесткостью  $k = 100$  Н/м прикреплен массивный груз, лежащий на горизонтальной плоскости, другой конец пружины закреплен неподвижно (см. рис.). Коэффициент трения груза по плоскости  $\mu = 0,2$ . Груз смещают по горизонтали, растягивая пружину, затем отпускают с начальной скоростью, равной нулю. Груз движется в одном направлении и затем останавливается в положении, в котором пружина уже сжата. Максимальное растяжение пружины, при котором груз движется таким образом, равно  $d = 15$  см. Найдите массу  $m$  груза.



48. К одному концу легкой пружины жесткостью  $k$  прикреплен массивный груз массой  $m = 2$  кг, лежащий на горизонтальной плоскости, другой конец пружины закреплен неподвижно (см. рис.). Коэффициент трения груза по плоскости  $\mu = 0,3$ . Груз смещают по горизонтали, растягивая пружину, затем отпускают с начальной скоростью, равной нулю. Груз движется в одном направлении и затем останавливается в положении, в котором пружина уже сжата. Максимальное растяжение пружины, при котором груз движется таким образом, равно  $d = 20$  см. Найдите коэффициент жесткости пружины  $k$ .

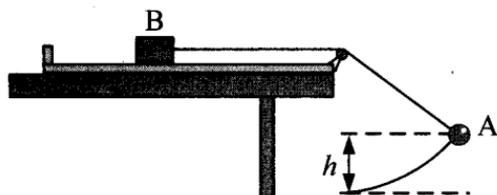


49. В установке, изображенной на рисунке, грузик А соединен перекинутой через блок нитью с бруском В, лежащим на горизонтальной поверхности трибометра, закрепленного на столе. Грузик отводят в сторону, приподнимая его на высоту  $h$ , и отпускают. Длина свисающей части нити равна  $L$ . Какую величину должна превзойти масса грузика, чтобы брусок сдвинулся с места в момент прохождения грузиком нижней точки траектории? Масса бруска  $M$ , коэффициент трения между бруском и поверхностью  $\mu$ . Трением в блоке, а также размерами блока пренебречь.

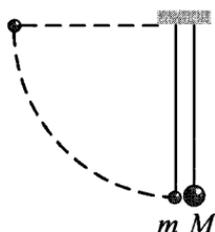


50. В установке, изображенной на рисунке, грузик А массой  $m$  соединен перекинутой через блок нитью с бруском В массой  $M$ , лежащим на горизонтальной поверхности трибометра, закрепленного на столе. Грузик отводят в сторону, приподнимая его

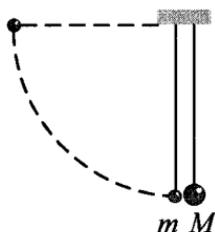
на высоту  $h$ , и отпускают. Длина свисающей части нити равна  $L$ . На какую минимальную высоту необходимо отклонить грузик, чтобы в момент прохождения грузиком нижней точки траектории брусок сдвинулся с места? Коэффициент трения между бруском и поверхностью равен  $\mu$ . Трением в блоке, а также размерами блока пренебречь.



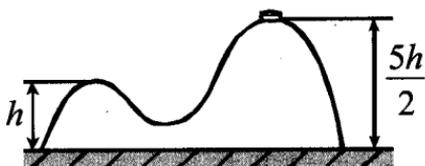
51. Два шарика, массы которых отличаются в 3 раза, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях (см. рис.). Легкий шарик отклоняют на угол  $90^\circ$  и отпускают из состояния покоя. Каким будет отношение кинетических энергий тяжелого и легкого шариков тотчас после их абсолютно упругого центрального удара?



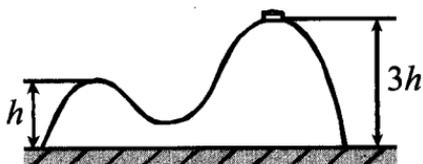
52. Два шарика, массы которых  $m = 0,1$  кг и  $M = 0,2$  кг, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях длиной  $l = 1,5$  м (см. рис.). Левый шарик отклоняют на угол  $90^\circ$  и отпускают из состояния покоя. Какое количество теплоты выделится в результате абсолютно неупругого удара шариков?



53. На гладкой горизонтальной поверхности стола покоится горка с двумя вершинами, высоты которых  $h$  и  $\frac{5}{2}h$  (см. рис.). На правой вершине горки находится шайба. От незначительного толчка шайба и горка приходят в движение, причем шайба движется влево, не отрываясь от гладкой поверхности горки, а поступательно движущаяся горка не отрывается от стола. Скорость шайбы на левой вершине горки оказалась равной  $v$ . Найдите отношение масс шайбы и горки.



54. Горка с двумя вершинами, высоты которых  $h$  и  $3h$ , покоится на гладкой горизонтальной поверхности стола (см. рис.). На правой вершине горки находится шайба, масса которой в 12 раз меньше массы горки. От незначительного толчка шайба и горка приходят в движение, причем шайба движется влево, не отрываясь от гладкой поверхности горки, а поступательно движущаяся горка не отрывается от стола. Найдите скорость горки в тот момент, когда шайба окажется на левой вершине горки.

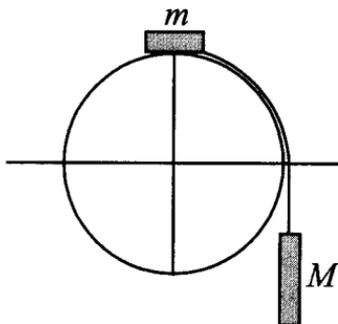


55. Снаряд, движущийся со скоростью  $v_0$ , разрывается на две равные части, одна из которых продолжает движение по направлению движения снаряда, а другая — в противоположную

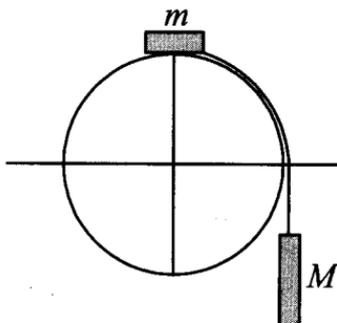
сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличивается за счет энергии взрыва на величину  $\Delta E$ . Скорость осколка, движущегося вперед по направлению движения снаряда, равна  $v_1$ . Найдите массу  $m$  осколка.

56. Снаряд массой  $2m$  разрывается в полете на две равные части, одна из которых продолжает движение по направлению движения снаряда, а другая — в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличивается за счет энергии взрыва на величину  $\Delta E$ . Модуль скорости осколка, движущегося по направлению движения снаряда, равен  $v_1$ , а модуль скорости второго осколка равен  $v_2$ . Найдите  $\Delta E$ .
57. Начальная скорость снаряда, выпущенного из пушки вертикально вверх, равна  $500$  м/с. В точке максимального подъема снаряд разорвался на два осколка. Первый упал на землю вблизи точки выстрела, имея скорость в  $2$  раза больше начальной скорости снаряда, а второй в этом же месте — через  $100$  с после разрыва. Чему равно отношение массы первого осколка к массе второго осколка? Сопротивлением воздуха пренебречь.
58. С какой начальной скоростью надо бросить вниз с высоты  $3,55$  м мяч, чтобы он после удара о землю подпрыгнул на высоту  $2,7$  м, если известно, что при ударе модуль импульса мяча уменьшается на  $25\%$ ? Сопротивлением воздуха пренебречь.
59. С какой высоты надо бросить вниз мяч, чтобы он после удара о землю подпрыгнул на высоту  $2,7$  м, если известно, что при ударе модуль импульса мяча уменьшается на  $25\%$ ? Начальная скорость мяча  $5$  м/с. Сопротивлением воздуха пренебречь.

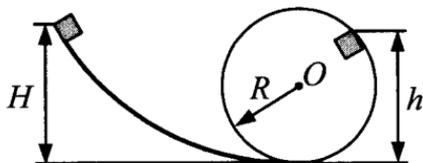
60. Система из грузов  $m$  и  $M$  и связывающей их легкой нерастяжимой нити в начальный момент покоится в вертикальной плоскости, проходящей через центр закрепленной сферы. Груз  $m$  находится в точке  $A$  на вершине сферы (см. рис.). В ходе возникшего движения груз  $m$  отрывается от поверхности сферы, пройдя по ней дугу  $30^\circ$ . Найдите массу  $M$ , если  $m = 100$  г. Размеры груза  $m$  ничтожно малы по сравнению с радиусом сферы. Трением пренебречь. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на грузы.



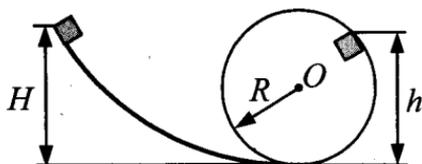
61. Система из грузов  $m$  и  $M$  и связывающей их легкой нерастяжимой нити в начальный момент покоится в вертикальной плоскости, проходящей через центр закрепленной сферы. Груз  $m$  находится в точке  $A$  на вершине сферы (см. рис.). В ходе возникшего движения груз  $m$  отрывается от поверхности сферы, пройдя по ней дугу  $30^\circ$ . Найдите массу  $m$ , если  $M = 1$  кг. Размеры груза  $m$  ничтожно малы по сравнению с радиусом сферы. Трением пренебречь. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на грузы.



62. Небольшой кубик массой  $m = 1$  кг начинает соскальзывать с высоты  $H = 3$  м по гладкой горке, переходящей в мертвую петлю (см. рис.). Определите радиус петли  $R$ , если на высоте  $h = 2,5$  м от нижней точки петли кубик давит на ее стенку с силой  $F = 4$  Н. Сделайте рисунок с указанием сил, поясняющий решение.

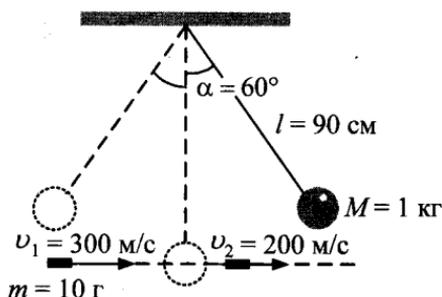


63. Небольшой кубик массой  $m = 1$  кг начинает соскальзывать с высоты  $H$  по гладкой горке, переходящей в мертвую петлю радиусом  $R = 2,5$  м (см. рис.). Определите высоту  $H$ , если на высоте  $h = 2,5$  м от нижней точки петли кубик давит на ее стенку с силой  $F = 4$  Н. Сделайте рисунок с указанием сил, поясняющий решение.

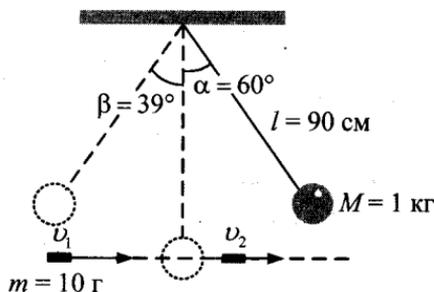


64. Каково среднее давление пороховых газов в стволе орудия, если скорость вылетевшего из него снаряда  $1,5$  км/с? Длина ствола  $3$  м, его диаметр  $45$  мм, масса снаряда  $2$  кг. (Трение пренебрежимо мало.)
65. С какой скоростью вылетает снаряд массой  $2,5$  кг, если среднее давление пороховых газов в стволе орудия составляет  $0,5$  ГПа? Длина ствола  $3$  м, его диаметр  $45$  мм. (Трение пренебрежимо мало.)

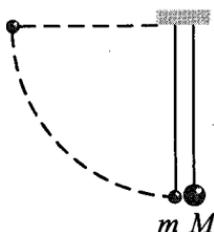
66. Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол  $60^\circ$  и отпускают. В момент прохождения шаром положения равновесия в него попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу шару со скоростью 300 м/с. Она пробивает его и вылетает горизонтально со скоростью 200 м/с, после чего шар продолжает движение в прежнем направлении. На какой максимальный угол отклонится шар после попадания в него пули? (Массу шара считать неизменной, диаметр шара — пренебрежимо малым по сравнению с длиной нити.)



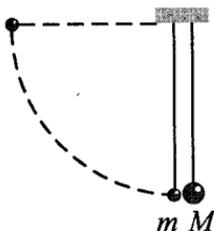
67. Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол  $60^\circ$  и отпускают. В момент прохождения шаром положения равновесия в него попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу шару. Она пробивает его и продолжает двигаться горизонтально. Определите изменение скорости пули в результате попадания в шар, если он, продолжая движение в прежнем направлении, отклоняется на угол  $39^\circ$ . (Массу шара считать неизменной, диаметр шара — пренебрежимо малым по сравнению с длиной нити,  $\cos 39^\circ = \frac{7}{9}$ .)



68. Два шарика, массы которых  $m = 0,1$  кг и  $M = 0,2$  кг, висят, соприкасаясь, на нитях. Левый шарик отклоняют на угол  $90^\circ$  и отпускают с начальной скоростью, равной нулю. Каково отношение количества теплоты, выделившегося в результате абсолютно неупругого удара шариков, к кинетической энергии шариков после удара?

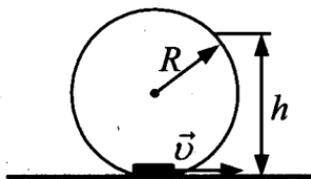


69. Два шарика висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях (см. рис.). Левый шарик отклоняют на угол  $90^\circ$  и отпускают с начальной скоростью, равной нулю. Каким должно быть отношение масс шариков  $\frac{M}{m}$ , чтобы в результате их абсолютно неупругого удара половина кинетической энергии левого шарика, которой шарик обладал непосредственно перед ударом, перешла в тепло?

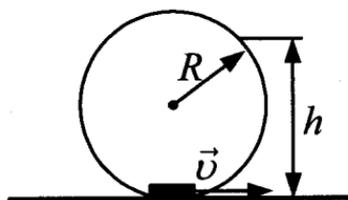


70. С высоты  $H$  над землей начинает свободно падать стальной шарик, который через время  $t = 0,4$  с сталкивается с плитой, наклоненной под углом  $30^\circ$  к горизонту. После абсолютно упругого удара он движется по траектории, верхняя точка которой находится на высоте  $h = 1,4$  м над землей. Чему равна высота  $H$ ? Сделайте схематический рисунок, поясняющий решение.

71. С высоты  $H = 3$  м над землей начинает свободно падать стальной шарик, который через время  $t = 0,6$  с сталкивается с плитой, наклоненной под углом  $30^\circ$  к горизонту. На какую высоту над землей поднимется шарик после абсолютно упругого удара с плитой? Сделайте схематический рисунок, поясняющий решение.
72. На краю стола высотой  $h = 1,25$  м лежит пластилиновый шарик массой  $m = 100$  г. На него со стороны стола налетает по горизонтали другой пластилиновый шарик, имеющий скорость  $v = 0,9$  м/с. Какой должна быть масса второго шарика, чтобы точка приземления шариков на пол была дальше от стола, чем заданное расстояние  $L = 0,3$  м? (Удар считать центральным.)
73. На краю стола высотой  $h = 1,25$  м лежит пластилиновый шарик. На него со стороны стола налетает по горизонтали другой пластилиновый шарик массой  $M = 300$  г, имеющий скорость  $v = 1,2$  м/с. Какой должна быть масса первого шарика, чтобы точка приземления шариков на пол была дальше от стола, чем заданное расстояние  $L = 0,4$  м? (Удар считать центральным.)
74. Небольшая шайба после толчка приобретает скорость  $v = 2$  м/с и скользит по внутренней поверхности гладкого закрепленного кольца радиусом  $R = 0,14$  м. На какой высоте  $h$  шайба отрывается от кольца и начинает свободно падать?

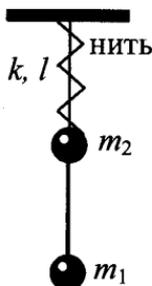


75. Небольшая шайба после толчка приобретает скорость  $v$  и скользит по внутренней поверхности гладкого закрепленного кольца радиусом  $R = 0,56$  м. Определите начальную скорость шайбы  $v$ , если на высоте  $h = 0,72$  м шайба отрывается от кольца и начинает свободно падать.

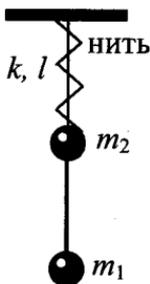


76. На космическом аппарате, находящемся вдали от Земли, начал работать реактивный двигатель. Из сопла двигателя каждую секунду выбрасывается 2 кг газа ( $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 2$  кг/с) со скоростью  $v = 500$  м/с. Исходная масса аппарата  $M = 500$  кг. Какой будет скорость  $v_1$  аппарата через  $t = 6$  с после старта? Начальную скорость аппарата принять равной нулю. Изменением массы аппарата за время движения пренебречь.
77. На космическом аппарате, находящемся вдали от Земли, начал работать реактивный двигатель. Из сопла двигателя каждую секунду выбрасывается 2 кг газа ( $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 2$  кг/с) со скоростью  $v = 500$  м/с. Исходная масса аппарата  $M = 500$  кг. Какую скорость приобретет аппарат, пройдя расстояние  $S = 36$  м? Начальную скорость аппарата принять равной нулю. Изменением массы аппарата за время движения пренебречь.

78. Материальные точки массами  $m_1 = 100$  г и  $m_2 = 200$  г прикреплены к невесомому стержню, как показано на рисунке. К точке  $m_2$  прикреплена невесомая пружина жесткостью  $k = 30$  Н/м, верхний конец которой закреплен. Длина пружины в недеформированном состоянии  $l_0 = 20$  см. В начальный момент концы пружины связаны нитью длиной  $l = 10$  см. Определите силу реакции стержня, действующую на массу  $m_1$  сразу после пережигания нити.



79. Материальные точки массами  $m_1 = 100$  г и  $m_2 = 200$  г прикреплены к невесомому стержню, как показано на рисунке. К точке  $m_2$  прикреплена невесомая пружина жесткостью  $k = 30$  Н/м, верхний конец которой закреплен. Длина пружины в недеформированном состоянии  $l_0 = 20$  см. В начальный момент концы пружины связаны нитью длиной  $l = 10$  см. Определите силу реакции стержня, действующую на массу  $m_2$  сразу после пережигания нити.



## 2. Молекулярная физика и термодинамика

### 2.1. Задачи с кратким ответом

#### Уравнение Клапейрона–Менделеева

1. При уменьшении абсолютной температуры на 500 К средняя кинетическая энергия теплового движения молекул неона уменьшилась в 3 раза. Какова начальная температура газа?

Ответ: \_\_\_\_\_ К.

2. При увеличении абсолютной температуры на 750 К средняя кинетическая энергия теплового движения молекул гелия увеличилась в 4 раза. Какова конечная температура газа?

Ответ: \_\_\_\_\_ К.

3. 1 моль идеального газа изохорно охлаждают на 150 К, при этом его давление уменьшается в 1,6 раза. Какова первоначальная абсолютная температура газа?

Ответ: \_\_\_\_\_ К.

4. Идеальный газ изохорно нагревают так, что его температура изменяется на  $\Delta T = 120$  К, а давление — в 1,4 раза. Масса газа постоянна. Найдите начальную абсолютную температуру газа.

Ответ: \_\_\_\_\_ К.

5. В стеклянный сосуд закачивают воздух, одновременно нагревая его. При этом абсолютная температура воздуха в сосуде повысилась в 2,5 раза, а его давление возросло в 5 раз. Во сколько раз увеличилась масса воздуха в сосуде?

Ответ: \_\_\_\_\_ раз(а).

6. Воздух охлаждали в сосуде постоянного объема. При этом абсолютная температура воздуха в сосуде снизилась в 1,8 раза, а его давление уменьшилось в 1,2 раза. Оказалось, что кран у сосуда был закрыт плохо, и через него просачивался воздух. Во сколько раз увеличилась масса воздуха в сосуде?

Ответ: \_\_\_\_\_ раз(а).

7. Температура в холодных облаках межзвездного газа составляет около 10 К, а давление газа достигает  $1,4 \cdot 10^{-12}$  Па. Оцените концентрацию молекул межзвездного газа. Ответ в  $10^9 \text{ м}^{-3}$  округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_  $\cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$ .

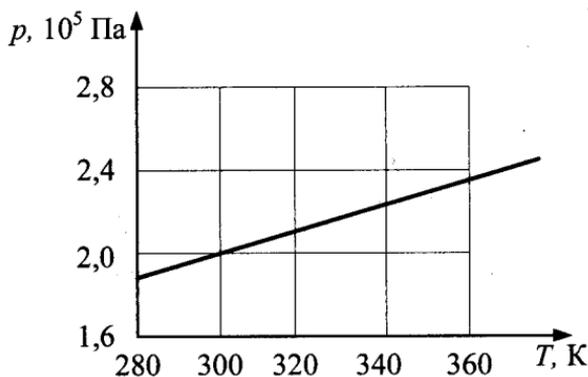
8. На высоте 200 км давление воздуха составляет примерно  $10^{-9}$  от нормального атмосферного давления, а температура воздуха — примерно 1200 К. Оцените плотность воздуха на этой высоте. Ответ в  $10^{-10} \text{ кг/м}^3$  округлите до десятых.

Ответ: \_\_\_\_\_  $\cdot 10^{-10} \text{ кг/м}^3$ .

9. При температуре 11 °С и давлении  $2 \cdot 10^5$  Па плотность газа равна  $5 \text{ кг/м}^3$ . Какова молярная масса газа? Ответ в г/моль округлите до целых.

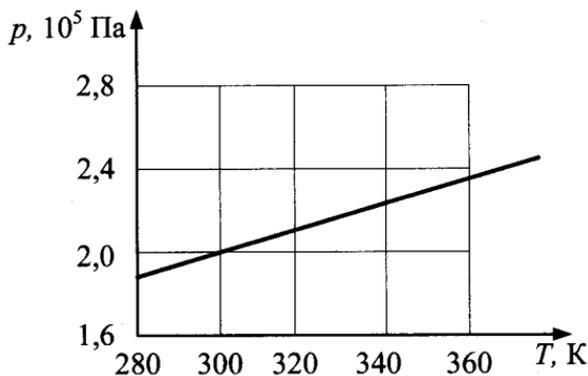
Ответ: \_\_\_\_\_ г/моль.

10. На рисунке показан график изменения давления 24 моль разреженного газа при изохорном нагревании. Каков объем газа? Ответ в  $\text{м}^3$  округлите до десятых.



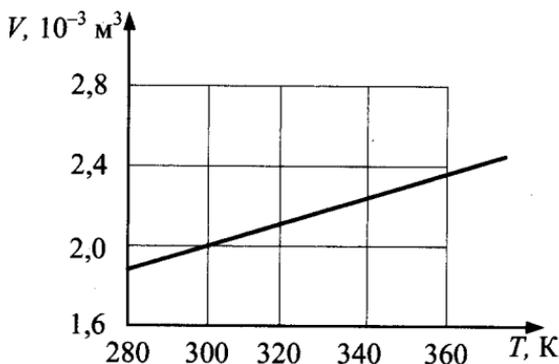
Ответ: \_\_\_\_\_  $\text{м}^3$ .

11. На рисунке показан график изменения давления постоянной массы разреженного газа при изохорном нагревании. Объем газа равен  $0,2 \text{ м}^3$ . Чему равно число молей газа? Ответ округлите до целых.



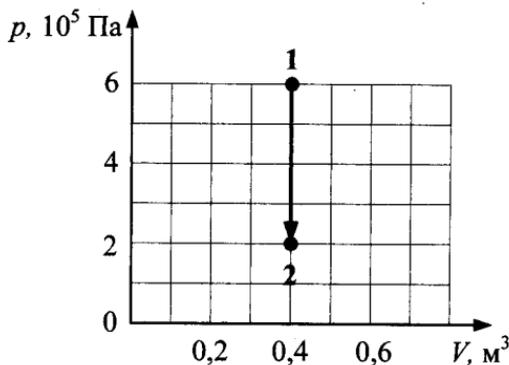
Ответ: \_\_\_\_\_ моль.

12. На рисунке показан график изменения давления 0,2 моль разреженного газа при изобарном нагревании. Чему равно давление газа? Ответ в  $10^5$  Па округлите до десятых.



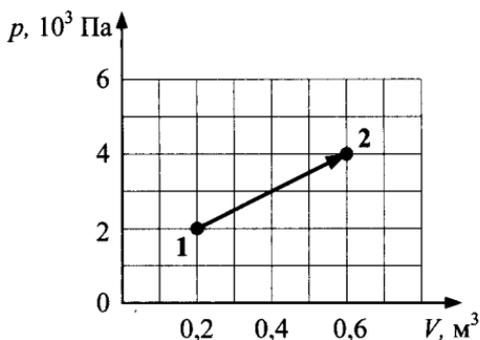
Ответ: \_\_\_\_\_ ·  $10^5$  Па.

13. Абсолютная температура воздуха в сосуде понизилась в 1,5 раза, при этом воздух перешел из состояния 1 в состояние 2 (см. рис.). Сквозь неплотно закрытый кран сосуда мог просачиваться воздух. Рассчитайте отношение  $\frac{N_2}{N_1}$  числа молекул газа в сосуде в конце и начале опыта. Воздух считать идеальным газом.



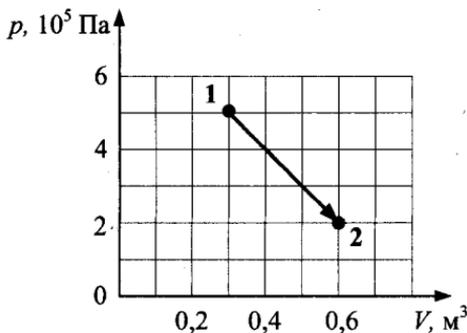
Ответ: \_\_\_\_\_.

14. Абсолютная температура воздуха в сосуде под поршнем повысилась в 2 раза, и воздух перешел из состояния 1 в состояние 2 (см. рис.). Сквозь зазор между поршнем и стенками сосуда мог просачиваться воздух. Рассчитайте отношение  $\frac{N_2}{N_1}$  числа молекул газа в сосуде в конце и начале опыта. Воздух считать идеальным газом.



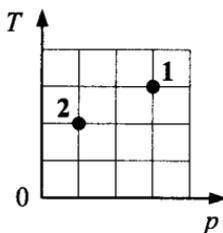
Ответ: \_\_\_\_\_.

15. Абсолютная температура воздуха в сосуде под поршнем повысилась в 2 раза, и воздух перешел из состояния 1 в состояние 2 (см. рис.). Сквозь зазор между поршнем и стенками сосуда мог просачиваться воздух. Рассчитайте отношение  $\frac{N_2}{N_1}$  числа молекул газа в сосуде в конце и начале опыта. Воздух считать идеальным газом.



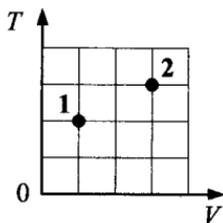
Ответ: \_\_\_\_\_.

16. Идеальный газ, находящийся в сосуде под поршнем, переходит из состояния 1 в состояние 2 (см. рис.). Количество вещества газа не меняется. Найдите отношение  $V_2/V_1$ .



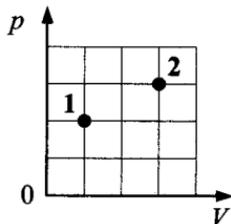
Ответ: \_\_\_\_\_.

17. Идеальный газ, находящийся в сосуде под поршнем, переходит из состояния 1 в состояние 2 (см. рис.). Количество вещества газа не меняется. Найдите отношение  $p_2/p_1$ .



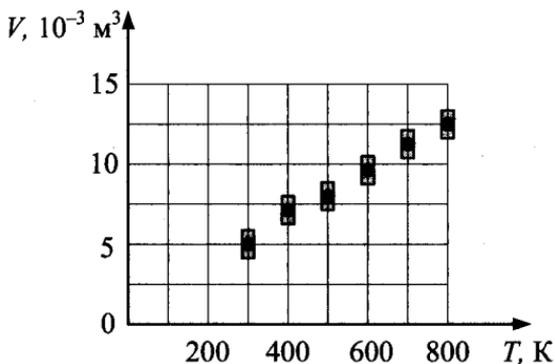
Ответ: \_\_\_\_\_.

18. Идеальный газ, находящийся в сосуде под поршнем, переходит из состояния 1 в состояние 2 (см. рис.). Количество вещества газа не меняется. Найдите отношение  $T_2/T_1$ .



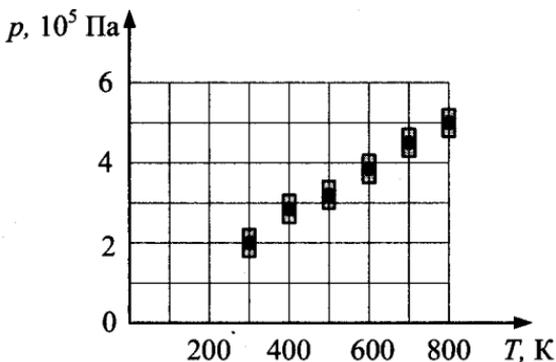
Ответ: \_\_\_\_\_.

19. В цилиндре под поршнем находится 0,4 моль разреженного газа. Результаты измерения объема газа с повышением температуры при постоянном давлении показаны на рисунке. Погрешность измерения температуры  $\Delta T = \pm 10$  К, объема  $\Delta V = \pm 0,5$  л. Чему равно давление газа под поршнем? Ответ в  $10^5$  Па округлите до целых.



Ответ: \_\_\_\_\_  $\cdot 10^5$  Па.

20. На рисунке показаны результаты измерения давления 0,3 моль разреженного газа при изохорном повышении его температуры. Погрешность измерения температуры  $\Delta T = \pm 10$  К, давления  $\Delta p = \pm 2 \cdot 10^4$  Па. Чему равен объем газа? Ответ в литрах (л) округлите до целых.



Ответ: \_\_\_\_\_ л.

**Внутренняя энергия.  
Первое начало термодинамики**

21. При изобарном нагревании газообразный гелий получил количество теплоты 100 Дж. Каково изменение внутренней энергии гелия? Масса гелия в данном процессе не менялась.

*Ответ:* \_\_\_\_\_ Дж.

22. При изобарном нагревании газообразный гелий совершил работу, равную 50 Дж. Какое количество теплоты получил гелий в этом процессе? Масса гелия в данном процессе не менялась.

*Ответ:* \_\_\_\_\_ Дж.

23. При изобарном нагревании внутренняя энергия газообразного гелия увеличилась на 120 Дж. Какую работу совершил гелий в этом процессе? Масса гелия в данном процессе не менялась.

*Ответ:* \_\_\_\_\_ Дж.

24. При постоянном давлении газообразный гелий нагрели, в результате чего он совершил работу 4986 Дж. Масса гелия 0,04 кг. Насколько увеличилась температура газа?

*Ответ:* \_\_\_\_\_ К.

25. При постоянном давлении газообразный гелий нагрели на 40 К, в результате чего он совершил работу 2493 Дж. Чему равна масса гелия?

*Ответ:* \_\_\_\_\_ г.

26. При постоянном давлении газообразный гелий нагрели на 20 К. Какое количество теплоты получил гелий в этом процессе, если масса гелия равна 40 г?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

27. Газообразный гелий, масса которого равна 32 г, поглощает количество теплоты 2 кДж. При этом температура газа повышается на 10 К. Какую работу совершает газ в этом процессе? Ответ в кДж округлите до десятых.

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

28. Газообразный гелий, масса которого равна 32 г, совершает работу, равную 0,8 кДж. При этом температура газа повышается на 10 К. Какое количество теплоты получает гелий в этом процессе? Ответ в кДж округлите до десятых.

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

29. Газообразный гелий, масса которого равна 16 г, совершает работу, равную 1,2 кДж, и поглощает при этом количество теплоты, равное 2 кДж. На какую величину повышается при этом температура газа? Ответ в кельвинах (К) округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_ К.

30. Идеальный одноатомный газ находится в сосуде объемом  $1,2 \text{ м}^3$  под давлением  $4 \cdot 10^3 \text{ Па}$ . Определите внутреннюю энергию этого газа.

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

31. Идеальный одноатомный газ находится в закрытом сосуде объемом  $0,6 \text{ м}^3$ . При охлаждении его внутренняя энергия уменьшилась на  $1,8 \text{ кДж}$ . На какую величину снизилось при этом давление газа?

Ответ: \_\_\_\_\_ кПа.

32. Идеальный одноатомный газ находится в сосуде с жесткими стенками объемом  $0,6 \text{ м}^3$ . При нагревании его внутренняя энергия увеличилась на  $18 \text{ кДж}$ . На какую величину возросло при этом давление газа?

Ответ: \_\_\_\_\_ кПа.

33. Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 0,09$  моль находится в равновесии в вертикальном гладком цилиндре под массивным поршнем с площадью  $S = 25 \text{ см}^2$ . Внешнее атмосферное давление  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ . В результате охлаждения газа поршень опустился на высоту  $\Delta h = 4 \text{ см}$ , а температура газа понизилась на  $\Delta T = 16 \text{ К}$ . Какова масса поршня? Ответ в кг округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

34. Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 0,09$  моль находится в равновесии в вертикальном цилиндре под поршнем массой  $m = 5 \text{ кг}$  и площадью  $S = 25 \text{ см}^2$ . Трение между поршнем и стенками цилиндра отсутствует. Внешнее атмосферное давление  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ . В результате нагревания газа поршень поднялся на высоту  $\Delta h = 4 \text{ см}$ . На какую величину возросла температура газа? Ответ в кельвинах округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_ К.

35. Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 0,09$  моль находится в равновесии в вертикальном гладком цилиндре под поршнем массой  $m = 5$  кг и площадью  $S = 25$  см<sup>2</sup>. Внешнее атмосферное давление  $p_0 = 10^5$  Па. В результате охлаждения газа поршень сдвинулся вниз на  $\Delta h$ , а температура газа понизилась на  $\Delta T = 16$  К. Какова величина  $\Delta h$ ? Ответ в см округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

### Циклы. Тепловой двигатель. Цикл Карно

36. У идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, температура нагревателя 960 К, а температура холодильника 360 К. Рабочее тело получает за цикл работы от нагревателя количество теплоты, равное 20 кДж. Какую работу совершает за один цикл этот двигатель?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

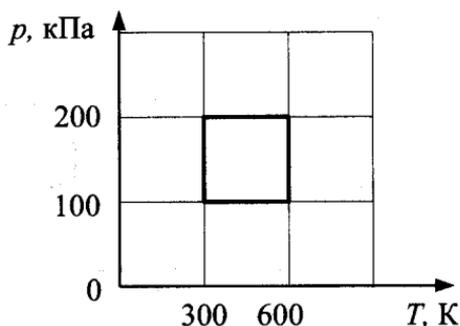
37. У идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, температура нагревателя 750 К, а температура холодильника 450 К. Рабочее тело за один цикл получает от нагревателя количество теплоты 40 кДж. Какое количество теплоты рабочее тело отдает за цикл холодильнику?

Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

38. Температура нагревателя идеального теплового двигателя Карно 227 °С, а температура холодильника 27 °С. Рабочее тело двигателя совершает за цикл работу, равную 10 кДж. Какое количество теплоты получает рабочее тело от нагревателя за один цикл?

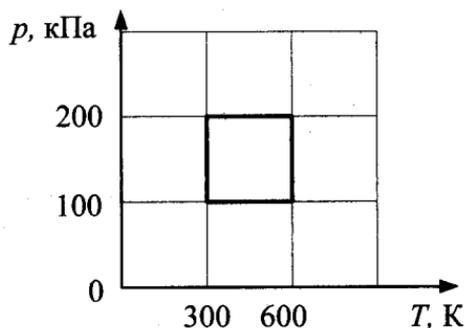
Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

39. С идеальным газом постоянной массы происходит циклический процесс,  $pT$ -диаграмма которого представлена на рисунке. Наименьший объем, который занимает газ в этом процессе, равен 6 л. Определите количество вещества этого газа. Ответ округлите до сотых.



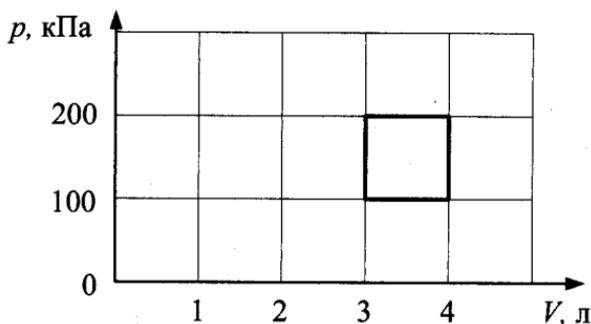
Ответ: \_\_\_\_\_ моль.

40. Состояние идеального газа меняется по циклу,  $pT$ -диаграмма которого представлена на рисунке. Количество вещества газа равно 0,5 моль. Определите наибольший объем, который занимает газ в этом процессе. Ответ в литрах округлите до целых.



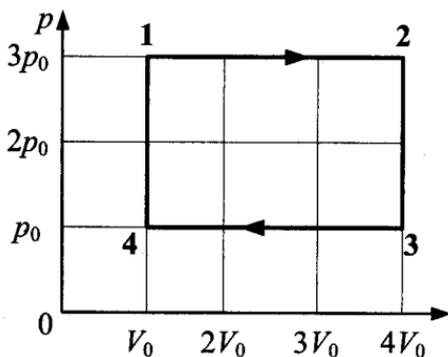
Ответ: \_\_\_\_\_ л.

41. С идеальным газом постоянной массы происходит циклический процесс,  $pV$ -диаграмма которого представлена на рисунке. Минимальная температура, достигаемая газом в этом процессе, равна 300 К. Определите количество вещества этого газа. Ответ округлите до сотых.



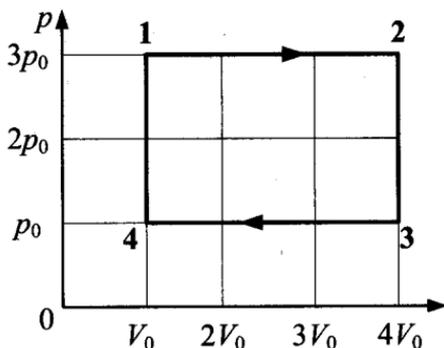
Ответ: \_\_\_\_\_ моль.

42. За цикл, показанный на рисунке, газ получает от нагревателя количество теплоты  $Q_{\text{нагр}} = 6,8$  кДж. КПД цикла равен  $\frac{4}{17}$ . Масса газа постоянна. Какую работу газ совершает на участке 1-2?



Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

43. За цикл, показанный на рисунке, газ отдает холодильнику количество теплоты  $|\dot{Q}_{\text{хол}}| = 7,8$  кДж. КПД цикла равен  $\frac{4}{17}$ . Масса газа постоянна. Какую работу газ совершает на участке 1–2?



Ответ: \_\_\_\_\_ кДж.

### Влажность воздуха

44. В сосуде под поршнем находится 2 г водяного пара под давлением 50 кПа и при температуре 100 °С. Не изменяя температуры, объем сосуда уменьшили в 4 раза. Найдите массу образовавшейся при этом воды.

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

45. В сосуде под поршнем находится 6 г водяного пара под давлением 25 кПа и при температуре 100 °С. Не изменяя температуры, объем сосуда уменьшили в 8 раз. Найдите массу пара, оставшегося после этого в сосуде.

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

46. В сосуде под поршнем при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  находится 2 г водяного пара и такое же количество воды. Не изменяя температуры, объем сосуда увеличили в 2,5 раза. Определите массу воды, перешедшей при этом в пар.

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

47. В сосуде под поршнем при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  находится 2 г водяного пара и такое же количество воды. Не изменяя температуры, объем сосуда увеличили в 3,5 раза. Определите массу пара в сосуде после изменения объема.

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

48. В кубическом метре воздуха в помещении при температуре  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  находится  $1 \cdot 10^{-2}$  кг водяных паров. Пользуясь таблицей плотности насыщенных паров воды, определите относительную влажность воздуха. Ответ в процентах округлите до целых.

$t, ^{\circ}\text{C}$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\rho, 10^{-2}$ кг/м <sup>3</sup>	1,36	1,45	1,54	1,63	1,73	1,83	1,94	2,06	2,18	2,30

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

49. В кубическом метре воздуха в помещении при температуре  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  находится  $1,24 \cdot 10^{-2}$  кг водяных паров. Пользуясь таблицей плотности насыщенных паров воды, определите относительную влажность воздуха. Ответ в процентах округлите до целых.

$t, ^{\circ}\text{C}$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\rho, 10^{-2}$ кг/м <sup>3</sup>	1,36	1,45	1,54	1,63	1,73	1,83	1,94	2,06	2,18	2,30

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

50. В кубическом метре воздуха в помещении при температуре  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  находится  $1,42 \cdot 10^{-2}$  кг водяных паров. Пользуясь таблицей плотности насыщенных паров воды, определите относительную влажность воздуха. Ответ в процентах округлите до целых.

$t, \text{ }^{\circ}\text{C}$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\rho, 10^{-2}$ кг/м <sup>3</sup>	1,36	1,45	1,54	1,63	1,73	1,83	1,94	2,06	2,18	2,30

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

### Уравнение теплового баланса

51. Железному и алюминиевому шарикам сообщили одинаковое количество теплоты, что привело к одинаковым изменениям их температуры. Удельные теплоемкости алюминия  $900\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  и железа  $450\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ . Определите отношение масс этих шариков  $\frac{m_{\text{Fe}}}{m_{\text{Al}}}$ . Ответ запишите, округлив до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_.

52. Свинцовому и медному шарикам сообщили одинаковое количество теплоты, что привело к одинаковым изменениям их температуры. Удельные теплоемкости меди  $390\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  и свинца  $130\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ . Определите отношение масс этих шариков  $\frac{m_{\text{Pb}}}{m_{\text{Cu}}}$ . Ответ запишите, округлив до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_.

53. Кусок льда, имеющий температуру  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , помещен в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лед в воду с температурой  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , требуется количество теплоты  $100\text{ кДж}$ . Какая температура установится внутри калориметра, если лед получит от нагревателя количество теплоты  $70\text{ кДж}$ ? Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$ .

54. Кусок льда, имеющий температуру  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , помещен в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лед в воду с температурой  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , требуется количество теплоты  $80\text{ кДж}$ . Какая температура установится внутри калориметра, если лед получит от нагревателя количество теплоты  $50\text{ кДж}$ ? Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$ .

55. Кусок льда, имеющий температуру  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , помещен в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лед в воду с температурой  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , требуется количество теплоты  $60\text{ кДж}$ . Какая температура установится внутри калориметра, если лед получит от нагревателя количество теплоты  $45\text{ кДж}$ ? Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$ .

56. Кусок льда опустили в термос с водой. Начальная температура льда  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , начальная температура воды  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Теплоемкостью термоса можно пренебречь. При переходе к тепловому равновесию часть льда массой  $280\text{ г}$  растаяла. Чему равна исходная масса воды в термосе?

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

57. Кусок льда опустили в термос с водой. Начальная температура льда  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , начальная температура воды  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Теплоемкостью термоса можно пренебречь. При переходе к тепловому равновесию часть льда массой  $140\text{ г}$  растаяла. Чему равна исходная масса воды в термосе?

Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

58. Кусок льда опустили в термос с горячей водой. Начальная температура льда  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , масса горячей воды  $550\text{ г}$ . При переходе к тепловому равновесию часть льда массой  $420\text{ г}$  растаяла. Чему равна исходная температура горячей воды в термосе? Теплоемкостью термоса можно пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$ .

59. В стакан калориметра налили  $150\text{ г}$  воды. Начальная температура калориметра и воды  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В эту воду опустили кусок льда температурой  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Когда наступило тепловое равновесие, температура воды в калориметре стала  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определите массу льда. Ответ в граммах (г) округлите до целых. Теплоемкостью калориметра пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ г.

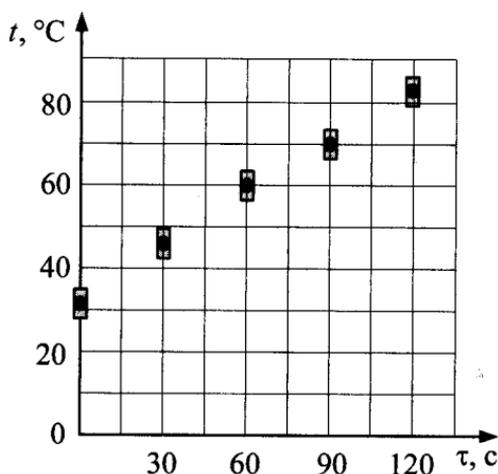
60. В калориметр с водой бросают кусочки тающего льда. В некоторый момент кусочки льда перестают таять. Первоначальная температура воды  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Насколько увеличилась масса воды? Ответ выразите в процентах от первоначальной массы воды.

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

61. В калориметре находится вода, масса которой 100 г и температура  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В него добавляют кусок льда, масса которого 20 г и температура  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какой будет температура содержимого калориметра после установления в нем теплового равновесия?

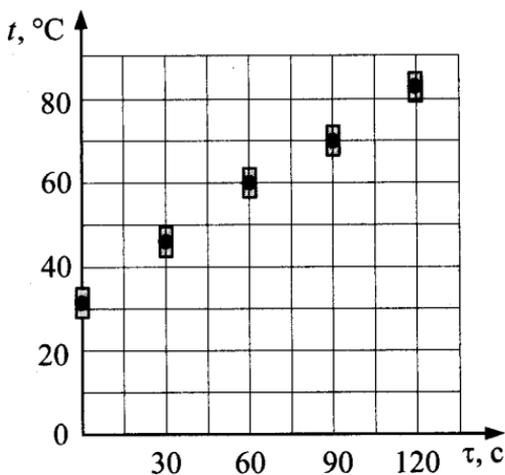
Ответ: \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$ .

62. На рисунке представлены результаты измерения температуры воды в электрическом чайнике в последовательные моменты времени. Погрешность измерения времени равна 3 с, погрешность измерения температуры равна  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какова полезная мощность нагревателя чайника, если масса воды равна 0,75 кг? Ответ в кВт округлите до десятых.



Ответ: \_\_\_\_\_ кВт.

63. На рисунке представлены результаты измерения температуры воды в электрическом чайнике в последовательные моменты времени. Погрешность измерения времени равна 3 с, погрешность измерения температуры равна  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какова масса воды в чайнике, если полезная мощность нагревателя чайника равна 2,1 кВт? Ответ в кг округлите до десятых.



Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

## 2.2. Задания с развернутым ответом

- Сферическую оболочку воздушного шара делают из материала, квадратный метр которого имеет массу 1 кг. Шар наполняют гелием. Атмосферное давление  $10^5$  Па равно давлению гелия в шаре. Определите минимальную массу оболочки, при которой шар оторвется от земли. Температура гелия и окружающего воздуха одинакова и равна  $0^\circ\text{C}$ . (Площадь сферы  $S = 4\pi r^2$ , объем шара  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ .)
- Газонепроницаемая оболочка воздушного шара имеет массу 400 кг. Шар заполнен гелием. Он может удерживать груз массой 225 кг в воздухе на высоте, где температура воздуха  $17^\circ\text{C}$ , а давление  $10^5$  Па. Какова масса гелия в оболочке шара? Оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объема шара, объем груза пренебрежимо мал по сравнению с объемом шара.

3. Воздушный шар объемом  $V = 2500 \text{ м}^3$  с массой оболочки  $m_{\text{об}} = 400 \text{ кг}$  имеет внизу отверстие, через которое воздух в шаре нагревается горелкой. До какой минимальной температуры  $t_1$  нужно нагреть воздух в шаре, чтобы шар взлетел вместе с грузом (корзиной и воздухоплателем) массой  $m_r = 200 \text{ кг}$ ? Температура окружающего воздуха  $t = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ , его плотность  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ . Оболочку шара считать нерастяжимой.
4. Воздушный шар объемом  $V = 2500 \text{ м}^3$  с массой оболочки  $m_{\text{об}} = 400 \text{ кг}$  имеет внизу отверстие, через которое воздух в шаре нагревается горелкой. Какова максимальная масса груза  $m_r$ , который может поднять шар, если воздух в нем нагреть до температуры  $t_1 = 77 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Температура окружающего воздуха  $t = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ , его плотность  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ . Оболочку шара считать нерастяжимой.
5. Теплоизолированный цилиндр, расположенный горизонтально, разделен подвижным теплопроводящим поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой — аргон. В начальный момент температура гелия равна  $300 \text{ К}$ , а аргона —  $900 \text{ К}$ , объемы, занимаемые газами, одинаковы, а поршень находится в равновесии. Во сколько раз изменится объем, занимаемый гелием, после установления теплового равновесия, если поршень перемещается без трения? Теплоемкостью цилиндра и поршня пренебречь.
6. Теплоизолированный цилиндр, расположенный горизонтально, разделен подвижным теплопроводящим поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой — аргон. В начальный момент температура гелия равна  $300 \text{ К}$ , а аргона —  $600 \text{ К}$ , объемы, занимаемые газами, одинаковы, а поршень находится в равновесии. Во сколько раз изменится объем, занимаемый аргоном, после установления теплового равновесия, если поршень перемещается без трения? Теплоемкостью цилиндра и поршня пренебречь.

7. Сосуд объемом 10 л содержит смесь водорода и гелия общей массой 2 г. При температуре 27 °С давление в сосуде равно 200 кПа. Каково отношение массы водорода к массе гелия в смеси?
8. Сосуд объемом 10 л содержит смесь водорода и гелия общей массой 2 г при температуре 27 °С. Каково давление смеси, если отношение массы водорода к массе гелия в смеси равно 1,5?
9. В камере, заполненной азотом, при температуре  $T_0 = 300$  К находится открытый цилиндрический сосуд (см. рис. 1). Высота сосуда  $L = 50$  см. Сосуд плотно закрывают цилиндрической пробкой и охлаждают до температуры  $T_1$ . В результате расстояние от дна сосуда до низа пробки становится равным  $h = 40$  см (см. рис. 2). Затем сосуд нагревают до первоначальной температуры  $T_0$ . Расстояние от дна сосуда до низа пробки при этой температуре становится равным  $H = 46$  см (см. рис. 3). Чему равно  $T_1$ ? Величину силы трения между пробкой и стенками сосуда считать одинаковой при движении пробки вниз и вверх. Массой пробки пренебречь. Давление азота в камере во время эксперимента поддерживается постоянным.

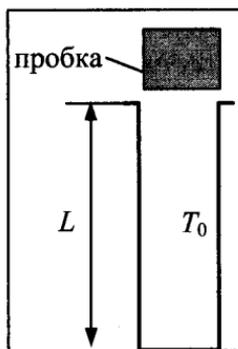


Рис. 1

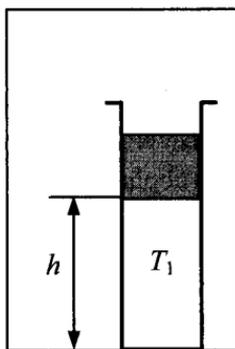


Рис. 2

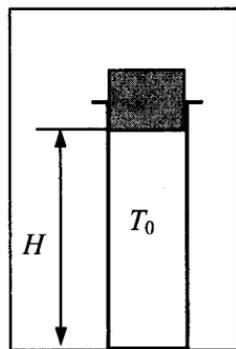


Рис. 3

10. В камере, заполненной азотом, при температуре  $T_0 = 300$  К находится открытый цилиндрический сосуд (см. рис. 1). Высота сосуда  $L = 50$  см. Сосуд плотно закрывают цилиндрической пробкой и охлаждают до температуры  $T_1 = 240$  К. В результате расстояние от дна сосуда до низа пробки становится

равным  $h$  (см. рис. 2). Затем сосуд нагревают до первоначальной температуры  $T_0$ . Расстояние от дна сосуда до низа пробки при этой температуре становится равным  $H = 46$  см (см. рис. 3). Чему равно  $h$ ? Величину силы трения между пробкой и стенками сосуда считать одинаковой при движении пробки вниз и вверх. Массой пробки пренебречь. Давление азота в камере во время эксперимента поддерживается постоянным.

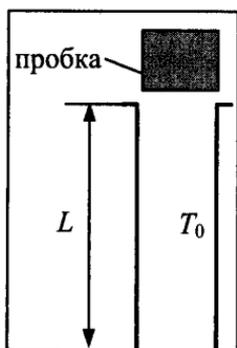


Рис. 1

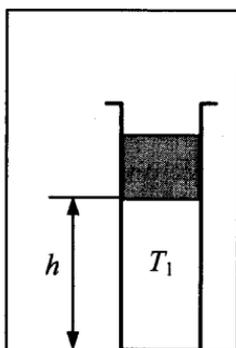


Рис. 2

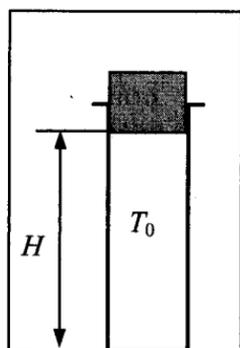
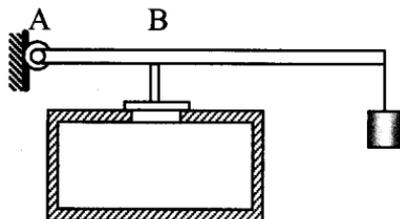
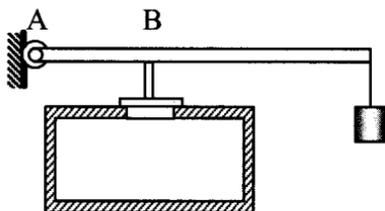


Рис. 3

11. В цилиндр объемом  $0,5 \text{ м}^3$  насосом закачивается воздух со скоростью  $0,002 \text{ кг/с}$ . В верхнем торце цилиндра есть отверстие, закрытое предохранительным клапаном. Клапан удерживается в закрытом состоянии стержнем, который может свободно поворачиваться вокруг оси в точке А (см. рис.). К свободному концу стержня подвешен груз массой  $2 \text{ кг}$ . Клапан открывается через  $580 \text{ с}$  работы насоса, если в начальный момент времени давление воздуха в цилиндре было равно атмосферному. Площадь закрытого клапаном отверстия  $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ , расстояние АВ равно  $0,1 \text{ м}$ . Температура воздуха в цилиндре и снаружи не меняется и равна  $300 \text{ К}$ . Определите длину стержня, если его считать невесомым.



12. В цилиндр объемом  $0,5 \text{ м}^3$  насосом закачивается воздух со скоростью  $0,002 \text{ кг/с}$ . В верхнем торце цилиндра есть отверстие, закрытое предохранительным клапаном. Клапан удерживается в закрытом состоянии стержнем длиной  $0,5 \text{ м}$ , который может свободно поворачиваться вокруг оси в точке А (см. рис.). К свободному концу стержня подвешен груз массой  $2 \text{ кг}$ . Клапан открывается через  $580 \text{ с}$  работы насоса, если в начальный момент времени давление воздуха в цилиндре было равно атмосферному. Площадь закрытого клапаном отверстия  $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . Температура воздуха в цилиндре и снаружи не меняется и равна  $300 \text{ К}$ . Определите расстояние АВ, если считать стержень невесомым.



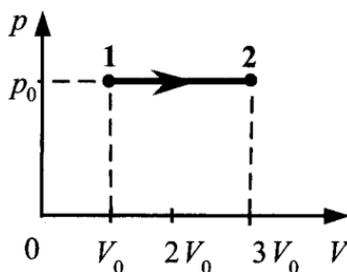
13. В вертикальном цилиндрическом сосуде с площадью поперечного сечения  $S = 5 \text{ см}^2$ , ограниченном сверху подвижным поршнем массой  $M = 1 \text{ кг}$ , находится воздух при комнатной температуре. Первоначально поршень находился на высоте  $H = 13 \text{ см}$  от дна сосуда. На какой высоте  $h$  от дна сосуда окажется поршень, если на него положить груз массой  $m = 0,5 \text{ кг}$ ? Воздух считать идеальным газом, а его температуру — неизменной. Атмосферное давление принять равным  $10^5 \text{ Па}$ . Трение между стенками сосуда и поршнем не учитывать.
14. В вертикальном цилиндрическом сосуде с площадью поперечного сечения  $S$ , ограниченном сверху подвижным поршнем массой  $M = 1 \text{ кг}$ , находится воздух при комнатной температу-

ре. Первоначально поршень находился на высоте  $H = 13$  см от дна сосуда. Если на поршень положить груз массой  $m = 0,5$  кг, то он окажется на высоте  $h = 12$  см от дна сосуда. Определите площадь поперечного сечения поршня. Воздух считать идеальным газом, а его температуру — неизменной. Атмосферное давление принять равным  $10^5$  Па. Трение между стенками сосуда и поршнем не учитывать.

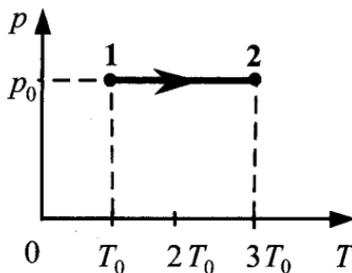
15. Теплоизолированный сосуд разделен тонкой теплоизолирующей перегородкой на две части, отношение объемов которых  $\frac{V_2}{V_1} = 2$ . Обе части сосуда заполнены одинаковым одноатомным идеальным газом. Давление в первой из них равно  $p_0$ , во второй —  $4p_0$ . Каким станет давление в сосуде, если перегородку убрать?
16. Теплоизолированный сосуд разделен тонкой теплоизолирующей перегородкой на две части. Обе части сосуда заполнены одинаковым одноатомным идеальным газом. Давление в первой из них равно  $p_0$ , во второй —  $4p_0$ . Определите отношение объемов частей сосуда, если, после того как перегородку убрали, давление в сосуде стало равным  $3p_0$ .
17. Теплоизолированный горизонтальный сосуд разделен пористой перегородкой на две равные части. В начальный момент в левой части сосуда находится  $\nu = 2$  моль гелия, а в правой — такое же количество моль аргона. Атомы гелия могут проникать через перегородку, а для атомов аргона перегородка непроницаема. Температура гелия равна температуре аргона:  $T = 300$  К. Определите отношение внутренних энергий газов по разные стороны перегородки после установления термодинамического равновесия.

18. Теплоизолированный горизонтальный сосуд разделен пористой перегородкой на две равные части. В начальный момент в левой части сосуда находится  $\nu = 2$  моль гелия, а в правой — некоторое количество аргона. Атомы гелия могут проникать через перегородку, а для атомов аргона перегородка непроницаема. Температура гелия равна температуре аргона:  $T = 300$  К. Определите количество моль аргона, если отношение внутренних энергий газов по разные стороны перегородки после установления термодинамического равновесия оказалось равным  $1/3$ .

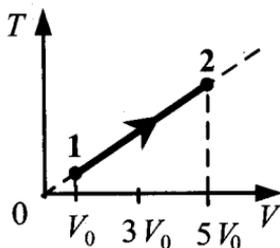
19. На рисунке изображено изменение состояния 1 моль идеального одноатомного газа. Начальная температура газа  $27^\circ\text{C}$ . Какое количество теплоты сообщено газу в этом процессе?



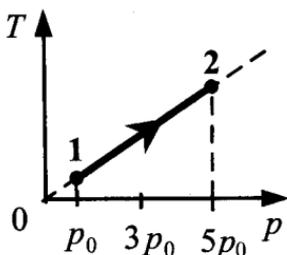
20. На рисунке изображено изменение состояния 2 моль идеального одноатомного газа. Начальная температура газа  $27^\circ\text{C}$ . Какое количество теплоты сообщено газу в этом процессе?



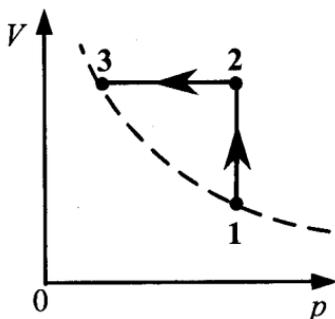
21. На рисунке изображено изменение состояния 1 моль неона. Начальная температура газа  $0^\circ\text{C}$ . Какое количество теплоты сообщено газу в этом процессе?



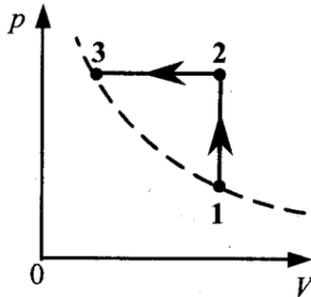
22. На рисунке изображено изменение состояния 1 моль неона. Начальная температура газа  $0^\circ\text{C}$ . Какое количество теплоты сообщено газу в этом процессе?



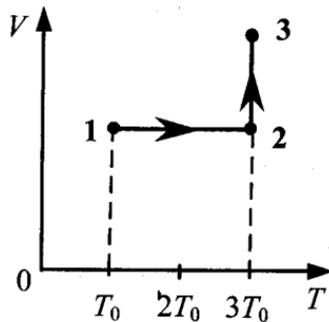
23. Один моль идеального одноатомного газа сначала нагрели, а затем охладил до первоначальной температуры  $300\text{ K}$ , уменьшив давление в 3 раза (см. рис.). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 12?



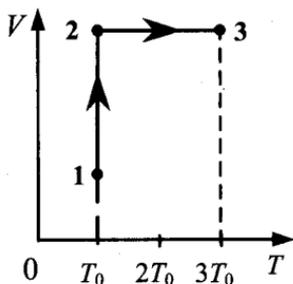
24. Один моль идеального одноатомного газа сначала нагрели, а затем охладил до первоначальной температуры 300 К, уменьшив объем в 3 раза (см. рис.). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 12?



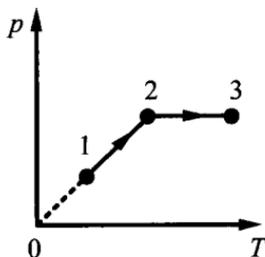
25. Один моль одноатомного идеального газа переходит из состояния 1 в состояние 3 в соответствии с графиком зависимости его объема  $V$  от температуры  $T$  ( $T_0 = 100$  К). На участке 23 к газу подводят 2,5 кДж теплоты. Найдите отношение работы газа  $A_{123}$  ко всему количеству подведенной к газу теплоты  $Q_{123}$ .



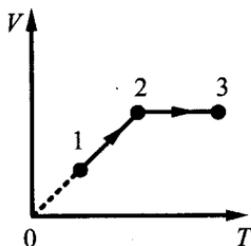
26. Один моль одноатомного идеального газа переходит из состояния 1 в состояние 3 в соответствии с графиком зависимости его объема  $V$  от температуры  $T$  ( $T_0 = 200$  К). На участке 1–2 к газу подводят 2,5 кДж теплоты. Найдите отношение работы газа  $A_{123}$  ко всему количеству подведенной к газу теплоты  $Q_{123}$ .



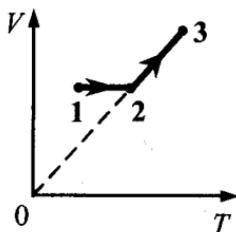
27. Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1–2–3, график которого показан на рисунке в координатах  $p$ – $T$ . Известно, что давление газа  $p$  в процессе 1–2 увеличилось в 2 раза. Какое количество теплоты было сообщено газу в процессе 1–2–3, если его температура  $T$  в состоянии 1 равна 300 К, а в состоянии 3 равна 900 К?



28. Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1–2–3, график которого показан на рисунке в координатах  $V$ – $T$ . Известно, что объем газа  $V$  в процессе 1–2 увеличился в 2 раза. Какое количество теплоты было сообщено газу в процессе 1–2–3, если его температура  $T$  в состоянии 1 равна 300 К, а в состоянии 3 равна 900 К?



29. Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1–2–3, график которого показан на рисунке в координатах  $V$ – $T$ . Известно, что объем газа  $V$  в процессе 2–3 увеличился в 2 раза. Какое количество теплоты было сообщено газу в процессе 1–2–3, если его температура  $T$  в состоянии 1 равна 200 К, а в состоянии 3 равна 600 К?

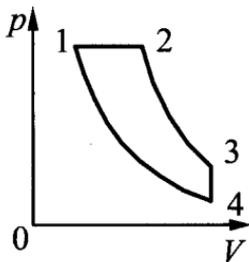


30. Один моль одноатомного идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 таким образом, что в ходе процесса давление газа возрастает прямо пропорционально его объему. В результате плотность газа уменьшается в  $\alpha = 2$  раза. Газ в ходе процесса получает количество теплоты  $Q = 20$  кДж. Какова температура газа в состоянии 1?
31. Один моль одноатомного идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 таким образом, что в ходе процесса давление газа возрастает прямо пропорционально его объему. В результате плотность газа уменьшается в  $\alpha = 2$  раза. Газ в ходе процесса совершает работу  $A = 5$  кДж. Какова температура газа в состоянии 2?
32. С разреженным газом, который находится в сосуде под поршнем, провели два опыта. В первом опыте газу сообщили, закрепив поршень, количество теплоты  $Q_1 = 742$  Дж, в результате чего его температура изменилась на некоторую величину  $\Delta T$ . Во втором опыте, предоставив газу возможность изобарно расширяться, сообщили ему количество теплоты  $Q_2 = 1039$  Дж, в результате чего его температура изменилась также на  $\Delta T$ . Каким было изменение температуры  $\Delta T$  в опытах? Масса газа  $m = 1$  кг.

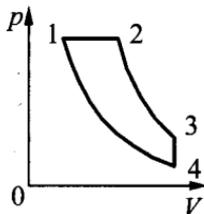
33. С разреженным газом, который находится в сосуде под поршнем, провели два опыта. В первом опыте газу сообщили, закрепив поршень, количество теплоты  $Q_1 = 742$  Дж, в результате чего его температура изменилась на  $\Delta T = 2$  К. Во втором опыте, предоставив газу возможность изобарно расширяться, сообщили ему количество теплоты  $Q_2 = 1039$  Дж, в результате чего его температура изменилась также на  $\Delta T$ . Чему равна масса газа  $m$ ?
34. В сосуде объемом  $V = 0,02$  м<sup>3</sup> с жесткими стенками находится одноатомный газ при атмосферном давлении. В крышке сосуда имеется отверстие площадью  $S$ , заткнутое пробкой. Максимальная сила трения покоя  $F$  пробки о края отверстия равна 100 Н. Пробка выскакивает, если газу передать количество теплоты не менее 15 кДж. Определите значение  $S$ , полагая газ идеальным.
35. В сосуде объемом  $V = 0,1$  м<sup>3</sup> с жесткими стенками находится одноатомный газ при атмосферном давлении. В крышке сосуда имеется отверстие площадью  $S = 5$  см<sup>2</sup>, заткнутое пробкой. Пробка выскакивает, если газу передать количество теплоты не менее 15 кДж. Определите максимальную величину силы трения покоя  $F$  пробки о края отверстия, полагая газ идеальным.
36. Один моль аргона, находящийся в цилиндре при температуре  $T_1 = 600$  К и давлении  $p_1 = 4 \cdot 10^5$  Па, расширяется и одновременно охлаждается так, что его давление при расширении обратно пропорционально квадрату объема. Конечный объем газа вдвое больше начального. Какое количество теплоты газ отдал при расширении, если при этом он совершил работу  $A = 2493$  Дж?

37. Один моль аргона, находящийся в цилиндре при температуре  $T_1 = 600\text{ К}$  и давлении  $p_1 = 4 \cdot 10^5\text{ Па}$ , расширяется и одновременно охлаждается так, что его давление при расширении обратно пропорционально квадрату объема. Конечное давление газа  $p_2 = 10^5\text{ Па}$ . Какую работу совершил газ при расширении, если он отдал холодильнику количество теплоты  $Q = 1247\text{ Дж}$ ?
38. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Давление окружающего воздуха  $p = 10^5\text{ Па}$ . Трение между поршнем и стенками сосуда пренебрежимо мало. В процессе медленного охлаждения от газа отведено количество теплоты  $|Q| = 75\text{ Дж}$ . При этом поршень передвинулся на расстояние  $x = 10\text{ см}$ . Чему равна площадь поперечного сечения поршня?
39. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем с площадью поперечного сечения  $S = 30\text{ см}^2$ , находится одноатомный идеальный газ. Давление окружающего воздуха  $p = 10^5\text{ Па}$ . Трение между поршнем и стенками сосуда пренебрежимо мало. В процессе медленного охлаждения от газа отведено количество теплоты  $|Q|$ . При этом поршень передвинулся на расстояние  $x = 10\text{ см}$ . Найдите  $|Q|$ .
40. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Первоначальное давление газа  $p_1 = 4 \cdot 10^5\text{ Па}$ . Расстояние от дна сосуда до поршня равно  $L$ . Площадь поперечного сечения поршня  $S = 25\text{ см}^2$ . В результате медленного нагревания газ получил количество теплоты  $Q = 1,65\text{ кДж}$ , а поршень сдвинулся на расстояние  $x = 10\text{ см}$ . При движении поршня на него со стороны стенок сосуда действует сила трения величиной  $F_{\text{тр}} = 3 \cdot 10^3\text{ Н}$ . Найдите  $L$ . Считать, что сосуд находится в вакууме.

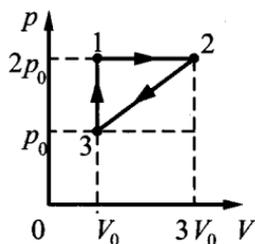
41. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Первоначальное давление газа  $p_1 = 4 \cdot 10^5$  Па. Расстояние от дна сосуда до поршня  $L = 0,3$  м. Площадь поперечного сечения поршня  $S = 25$  см<sup>2</sup>. В результате медленного нагревания газ получил количество теплоты  $Q$ , а поршень сдвинулся на расстояние  $x = 10$  см. При движении поршня на него со стороны стенок сосуда действует сила трения величиной  $F_{\text{тр}} = 3 \cdot 10^3$  Н. Найдите  $Q$ . Считать, что сосуд находится в вакууме.
42. Цикл тепловой машины, рабочим веществом которой является один моль одноатомного идеального газа, состоит из изотермического расширения, изохорного охлаждения и адиабатического сжатия. В изохорном процессе температура газа понижается на  $\Delta T$ , а работа, совершенная газом в изотермическом процессе, равна  $A$ . Определите КПД тепловой машины.
44. Тепловой двигатель использует в качестве рабочего вещества 1 моль идеального одноатомного газа. Цикл работы двигателя изображен на  $pV$ -диаграмме и состоит из двух адиабат, изохоры и изобары. Зная, что КПД этого цикла  $\eta = 15\%$ , а минимальная и максимальная температуры газа при изохорном процессе  $t_{\text{min}} = 37$  °С и  $t_{\text{max}} = 302$  °С, определите количество теплоты, получаемое газом за цикл.



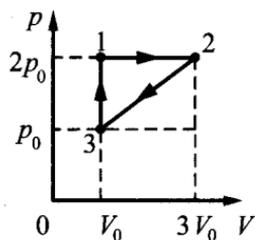
45. Тепловой двигатель использует в качестве рабочего вещества 1 моль идеального одноатомного газа. Цикл работы двигателя изображен на  $pV$ -диаграмме и состоит из двух адиабат, изохоры, изобары. Зная, что КПД цикла равен 50%, определите модуль отношения изменения температуры газа при изобарном процессе  $\Delta T_{12}$  к изменению его температуры  $\Delta T_{34}$  при изохорном процессе.



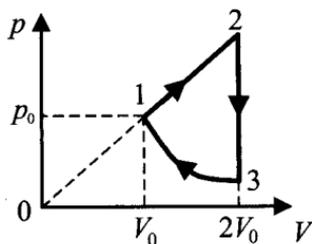
46. Изменение состояния постоянной массы одноатомного идеального газа происходит по циклу, показанному на рисунке. При переходе из состояния 1 в состояние 2 газ совершает работу  $A_{12} = 5$  кДж. Какое количество теплоты газ отдает за цикл холодильнику?



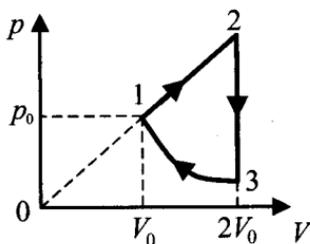
47. Изменение состояния постоянной массы одноатомного идеального газа происходит по циклу, показанному на рисунке. За цикл газ совершает работу  $A_{ц} = 5$  кДж. Какое количество теплоты газ получает за цикл от нагревателя?



48. Над одноатомным идеальным газом проводится циклический процесс, показанный на рисунке. На участке 1–2 газ совершает работу  $A_{12} = 1000$  Дж. На адиабате 3–1 внешние силы сжимают газ, совершая работу  $|A_{31}| = 370$  Дж. Количество вещества газа в ходе процесса не меняется. Найдите количество теплоты  $|Q_{\text{хол}}|$ , отданное газом за цикл холодильнику.



49. Над одноатомным идеальным газом проводится циклический процесс, показанный на рисунке. На участке 1–2 газ совершает работу  $A_{12} = 1000$  Дж. Участок 3–1 — адиабата. Количество теплоты, отданное газом за цикл холодильнику, равно  $|Q_{\text{хол}}| = 3370$  Дж. Количество вещества газа в ходе процесса не меняется. Найдите работу  $|A_{31}|$  внешних сил на адиабате.



50. Относительная влажность воздуха при  $t = 36$  °С составляет 80%. Давление насыщенного водяного пара при этой температуре  $p_{\text{н}} = 5945$  Па. Какая масса пара содержится в  $1 \text{ м}^3$  этого воздуха?

51. В  $1 \text{ м}^3$  влажного воздуха при  $t = 36 \text{ }^\circ\text{C}$  содержится 25 г водяного пара. Давление насыщенного водяного пара при этой температуре  $p_n = 5945 \text{ Па}$ . Какова относительная влажность воздуха?
52. Два сосуда объемами 20 л и 30 л, соединенные трубкой с краном, содержат влажный воздух при комнатной температуре. Относительная влажность воздуха в сосудах равна соответственно 30% и 40%. Если кран открыть, то какой будет относительная влажность воздуха в сосудах после установления теплового равновесия? Температуру считать постоянной.
53. Два сосуда разного объема, соединенные трубкой с краном, содержат влажный воздух при комнатной температуре. Относительная влажность воздуха в сосудах равна соответственно 30% и 40%. Если кран открыть, то после установления теплового равновесия относительная влажность воздуха в сосудах окажется равной 36%. Определите отношение объема второго сосуда к объему первого. Температуру считать постоянной.
54. В сосуде под поршнем находится воздух с относительной влажностью  $\varphi = 40\%$ . Объем воздуха изотермически уменьшили в 5 раз. Какая часть  $\alpha$  исходного количества водяных паров сконденсировалась при сжатии?
55. В сосуде под поршнем находился воздух с относительной влажностью  $\varphi = 40\%$ . При изотермическом сжатии сконденсировалась доля  $\alpha = 1/6$  от исходного количества водяных паров. Во сколько раз уменьшили объем воздуха?
56. Необходимо расплавить лед массой 0,2 кг, имеющий температуру  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Выполнима ли эта задача, если потребляемая мощность нагревательного элемента 400 Вт, тепловые потери составляют 30%, а время работы нагревателя не должно превышать 5 минут?

57. Необходимо расплавить лед массой 0,3 кг, имеющий температуру  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Выполнима ли эта задача, если потребляемая мощность нагревательного элемента 400 Вт, тепловые потери составляют 25%, а время работы нагревателя не должно превышать 5 минут?
58. Какую массу воды можно нагреть до кипения при сжигании в костре 1,8 кг сухих дров, если в окружающую среду рассеивается 95% тепла от их сжигания? Начальная температура воды  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , удельная теплота сгорания сухих дров  $\lambda = 8,3 \cdot 10^6\text{ Дж/кг}$ .
59. Какую массу сухих дров нужно сжечь на костре, чтобы нагреть до кипения 3 л воды, если в окружающую среду рассеивается 95% тепла от их сжигания? Начальная температура воды  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , удельная теплота сгорания сухих дров  $\lambda = 8,3 \cdot 10^6\text{ Дж/кг}$ .
60. В калориметре находится 1 кг льда при температуре  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какую массу воды, имеющей температуру  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , нужно добавить в калориметр, чтобы температура его содержимого после установления теплового равновесия оказалась  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь.
61. В калориметр, где находится 1 кг льда, добавили 30 г воды, имеющей температуру  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . После установления теплового равновесия температура содержимого калориметра равна  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какова первоначальная температура льда? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь.
62. В сосуде лежит кусок льда. Температура льда  $t_1 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Если сообщить ему количество теплоты  $Q$ , то весь лед растает и образовавшаяся вода нагреется до температуры  $t_2 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какая доля льда  $k$  растает, если сообщить ему количество теплоты  $q = \frac{Q}{2}$ ? Тепловыми потерями на нагрев сосуда пренебречь.

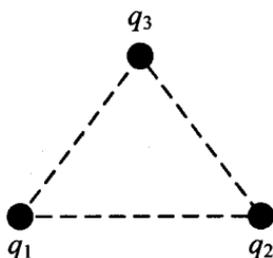
63. В сосуде лежит кусок льда. Температура льда  $t_1 = 0$  °С. Если сообщить ему количество теплоты  $Q$ , то растает доля  $k = 0,8$  первоначальной массы льда. Какая температура  $t$  установится в сосуде, если содержимому сосуда дополнительно сообщить количество теплоты  $q = \frac{Q}{2}$ ? Тепловыми потерями на нагрев сосуда пренебречь.
64. В сосуде лежит кусок льда. Температура льда  $t_1 = 0$  °С. Если сообщить ему количество теплоты  $Q = 50$  кДж, то  $3/4$  льда растает. Какое количество теплоты  $q$  надо после этого сообщить содержимому сосуда дополнительно, чтобы весь лед растаял и образовавшаяся вода нагрелась до температуры  $t_2 = 20$  °С? Тепловыми потерями на нагрев сосуда пренебречь.
65. В школьном физическом кружке изучали уравнение теплового баланса. В одном из опытов использовали два калориметра. В первом калориметре находилось 300 г воды, во втором — 200 г льда и 200 г воды при 0 °С. Какой была первоначальная температура воды в первом калориметре, если после добавления в него всего содержимого второго в первом калориметре установилась температура 2 °С? Теплоемкостью калориметров пренебречь.
66. В школьном физическом кружке изучали уравнение теплового баланса. В одном из опытов использовали два калориметра. В первом калориметре находилось 300 г воды при температуре 57 °С, во втором — лед и 200 г воды при 0 °С. Какова масса льда, если после добавления в первый калориметр всего содержимого второго в нем установилась температура 2 °С? Теплоемкостью калориметров пренебречь.

### 3. Электродинамика (Электричество)

#### 3.1. Задачи с кратким ответом

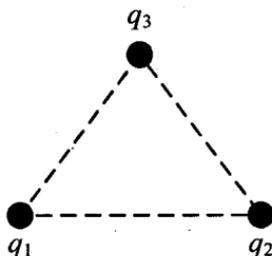
##### Электростатика

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



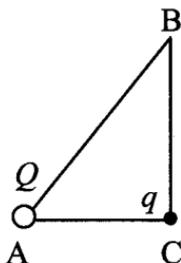
Ответ: \_\_\_\_\_ мН.

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



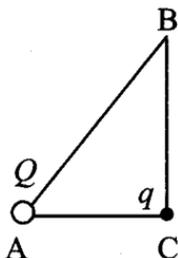
Ответ: \_\_\_\_\_ мН.

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  $q$ , помещенный в вершину C. Определите, с какой силой будут взаимодействовать заряды, если заряд  $q$  перенести в вершину B. Отношение сторон  $\frac{AC}{AB} = 0,6$ .



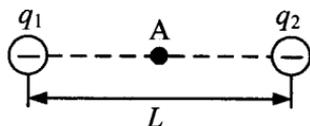
Ответ: \_\_\_\_\_ нН (наноニュートン).

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  $q$ , помещенный в вершину C. Если заряд  $q$  перенести в вершину B, то заряды будут взаимодействовать с силой  $18 \cdot 10^{-9}$  Н. Найдите отношение  $\frac{AC}{BC}$ .



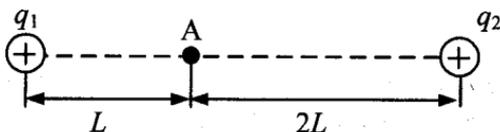
Ответ: \_\_\_\_\_.

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 напряженности электростатического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на одинаковом расстоянии от обоих зарядов (см. рис.).



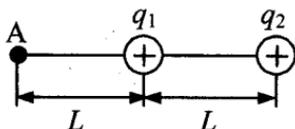
Ответ: \_\_\_\_\_ Н/Кл.

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



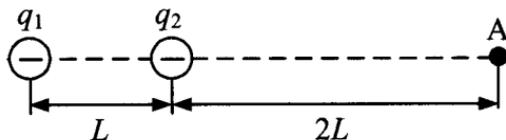
Ответ: \_\_\_\_\_ Н/Кл.

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 напряженности электростатического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии  $L$  от первого заряда (см. рис.).



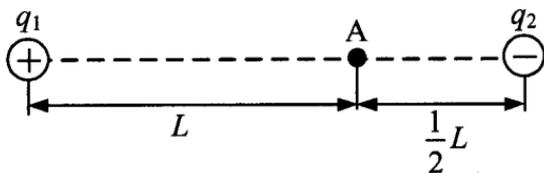
Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

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 напряженности электростатического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии  $2L$  от второго заряда (см. рис.).



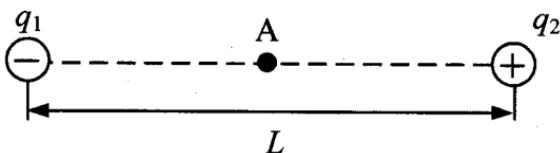
Ответ: \_\_\_\_\_ Н/Кл.

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



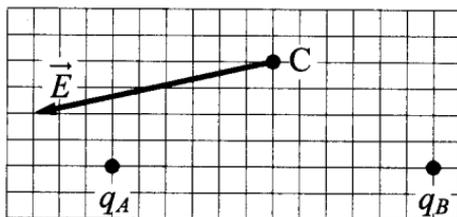
Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

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 напряженности электростатического поля этих зарядов в точке А, расположенной на прямой, соединяющей заряды, на одинаковом расстоянии от обоих зарядов (см. рис.).



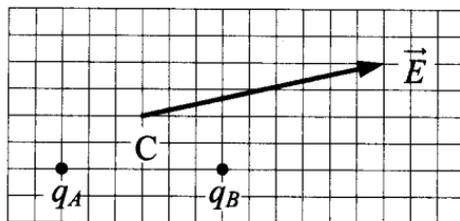
Ответ: \_\_\_\_\_ нКл.

11. На рисунке показан вектор напряженности  $\vec{E}$  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?



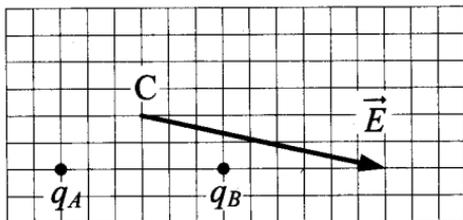
Ответ: \_\_\_\_\_ нКл.

12. На рисунке показан вектор напряженности  $\vec{E}$  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?



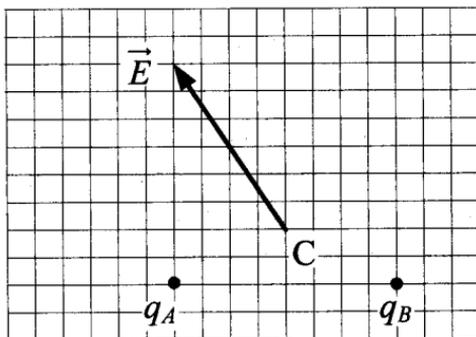
Ответ: \_\_\_\_\_ нКл.

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



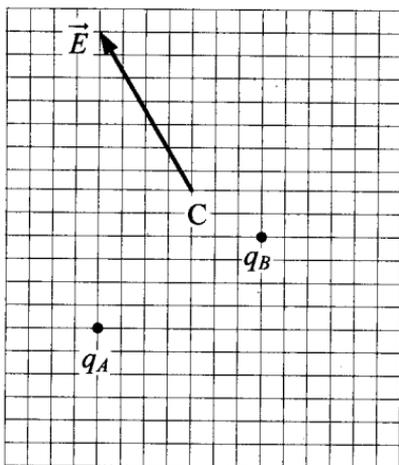
Ответ: \_\_\_\_\_ нКл.

14. На рисунке показан вектор напряженности  $\vec{E}$  электростатического поля в точке С, 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 напряженности  $\vec{E}$  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.

16. Потенциал электростатического поля в точке  $A$  равен 250 В, потенциал 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 напряженности однородного электростатического поля, равна 10 В. Чему равна напряженность 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  $10^{-8}$  Кл. Масса пылинки  $10^{-7}$  кг. Чему равна напряженность электрического поля?

Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ мг.

21. Частица с зарядом  $2 \cdot 10^{-11}$  Кл находится в однородном горизонтальном электрическом поле напряженностью 5000 В/м. Какова масса частицы, если за 2 с она 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 напряженностью 5000 В/м. За какое время частица переместится на расстояние 0,45 м по горизонтали, если ее начальная скорость равна нулю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

23. Пылинка с зарядом  $10^{-11}$  Кл, влетела в однородное электрическое поле с напряженностью  $10^5$  В/м вдоль его силовых линий с начальной скоростью 0,1 м/с и переместилась на расстояние 4 см. Какова масса пылинки, если ее 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 напряженностью  $10^5$  В/м вдоль его силовых линий с начальной скоростью 0,1 м/с и переместилась на расстояние 4 см. Каков заряд пылинки, если ее 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 напряженности поля. Какое расстояние пролетит электрон до полной остановки, если модуль напряженности 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 напряженности поля. Каков модуль напряженности поля, если до полной остановки электрон пролетает расстояние, равное 2 см? Ответ округлите до целых. Действием силы тяжести пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

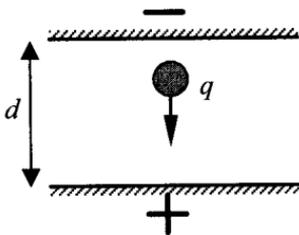
27. Две частицы с отношением зарядов  $\frac{q_2}{q_1} = 2$  и масс  $\frac{m_2}{m_1} = 4$ , движутся в однородном электрическом поле. Начальная скорость у обеих частиц равна нулю. Определите отношение кинетических энергий этих частиц  $\frac{W_2}{W_1}$  в один и тот же момент времени после начала движения.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

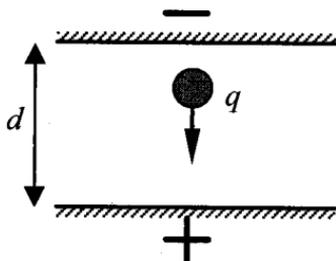
Ответ: \_\_\_\_\_.

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, ее 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, ее 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.

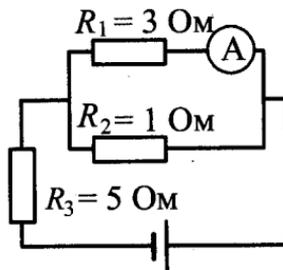
32. Резистор подключен к источнику тока с ЭДС 10 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Сила тока в электрической цепи равна 2 А. Каково сопротивление резистора?

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

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

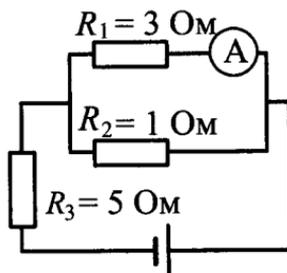
Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

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



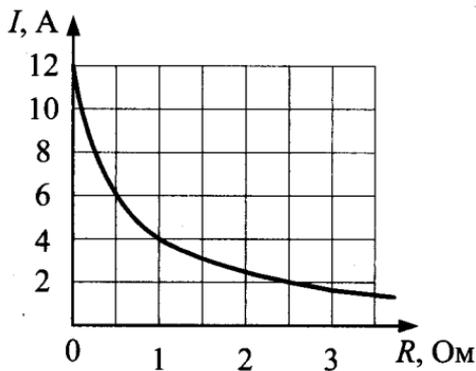
Ответ: \_\_\_\_\_ В.

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



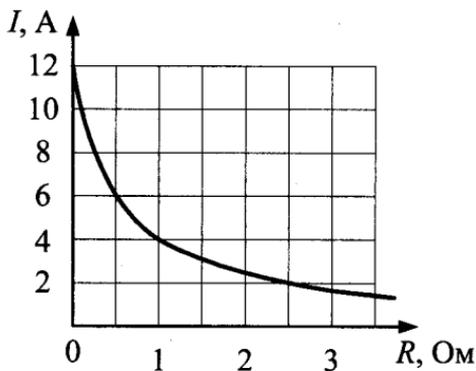
Ответ: \_\_\_\_\_ В.

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?



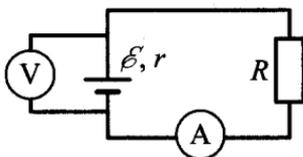
Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

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?



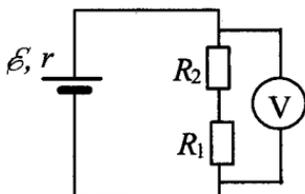
Ответ: \_\_\_\_\_ В.

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?



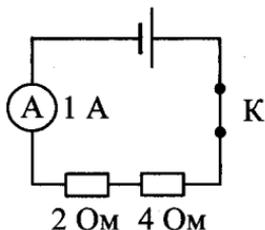
Ответ: \_\_\_\_\_ А.

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?



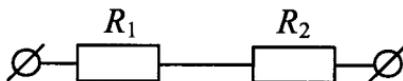
Ответ: \_\_\_\_\_ В.

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



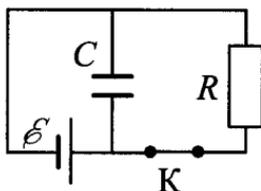
Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

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



Ответ: \_\_\_\_\_ с.

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



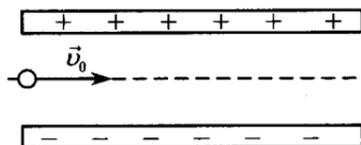
Ответ: \_\_\_\_\_ мкДж.

### 3.2. Задания с развернутым ответом

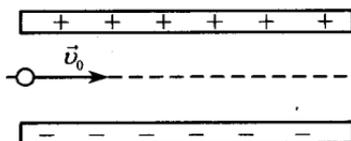
1. Полый шарик массой  $m = 0,4 \text{ г}$  с зарядом  $q = 8 \text{ нКл}$  движется в горизонтальном однородном электрическом поле, напряженность которого  $E = 500 \text{ кВ/м}$ . Какой угол  $\alpha$  образует с вертикалью траектория шарика, если его начальная скорость равна нулю?

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  $\alpha = 45^\circ$ . Чему равен модуль напряженности электрического поля  $E$ ?
3. Конденсатор состоит из двух неподвижных, вертикально расположенных, параллельных, разноименно заряженных пластин. Пластины расположены на расстоянии  $d = 5$  см друг от друга. Напряженность поля внутри конденсатора равна  $E = 10^4$  В/м. Между пластинами, на равном расстоянии от них, помещен шарик с зарядом  $q = 10^{-5}$  Кл и массой  $m = 20$  г. После того как шарик отпустили, он начинает падать и через некоторое время ударяется об одну из пластин. Оцените время падения  $\Delta t$  шарика до удара о пластину.
4. Конденсатор состоит из двух неподвижных, вертикально расположенных, параллельных, разноименно заряженных пластин. Пластины расположены на расстоянии  $d = 5$  см друг от друга. Напряженность поля внутри конденсатора равна  $E = 10^4$  В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещен шарик с зарядом  $q = 10^{-5}$  Кл и массой  $m = 20$  г. После того как шарик отпустили, он начинает падать и ударяется об одну из пластин. На какую величину  $\Delta h$  уменьшится высота, на которой находится шарик, к моменту его удара об одну из пластин?
5. Конденсатор состоит из двух неподвижных, вертикально расположенных, параллельных, разноименно заряженных пластин. Пластины расположены на расстоянии  $d = 5$  см друг от друга. Между пластинами на равном расстоянии от них помещен шарик с зарядом  $q = 10^{-5}$  Кл и массой  $m = 20$  г. После того как шарик отпустили, он начинает падать и ударяется об одну из пластин. К моменту удара высота, на которой находится шарик, уменьшилась на  $\Delta h = 5$  см. Определите напряженность поля внутри конденсатора.

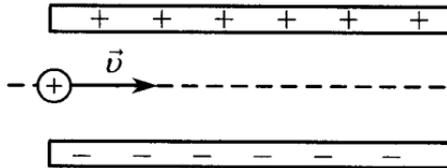
6. Отрицательно заряженная пластина, создающая вертикально направленное однородное электрическое поле напряженностью  $E = 10^4$  В/м, укреплена на горизонтальной плоскости. На нее с высоты  $h = 10$  см падает шарик массой  $m = 20$  г, имеющий положительный заряд  $q = 10^{-5}$  Кл. Начальная скорость шарика равна нулю. Какой импульс шарик передаст пластине при абсолютно упругом ударе?
7. Горизонтальная отрицательно заряженная пластина создает поле напряженностью  $E = 10^4$  В/м. На нее с некоторой высоты  $h$  падает шарик малого размера массой 10 г, имеющий заряд  $q = +10^{-5}$  Кл. Начальная скорость шарика равна нулю. С какой высоты падал шарик, если при абсолютно упругом ударе он передал пластине импульс  $0,08$  кг · м/с?
8. Электрон влетает в плоский конденсатор со скоростью  $v_0$  ( $v_0 \ll c$ ), 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  $L$  ( $L \gg d$ ). Поле внутри конденсатора считать однородным, силой тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.



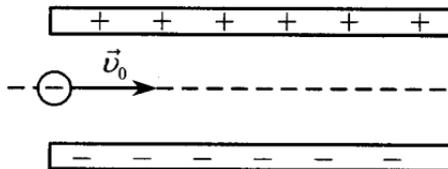
9. Электрон влетает в плоский конденсатор со скоростью  $v_0$  ( $v_0 \ll c$ ), параллельно пластинам (см. рис.), расстояние между которыми  $d$ . Какова разность потенциалов между пластинами конденсатора, если при вылете из конденсатора вектор скорости электрона отклоняется от первоначального направления на угол  $\alpha$ ? Длина пластин  $L$  ( $L \gg d$ ). 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  $v$ , с которой протон должен влететь в конденсатор, чтобы затем вылететь из него, равна 350 км/с. Длина пластин конденсатора 5 см, напряженность электрического поля конденсатора 5200 В/м. Каково расстояние между пластинами конденсатора? Поле внутри конденсатора считать однородным, силой тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.

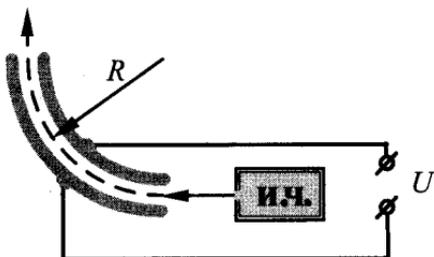


11. Пылинка, имеющая массу  $10^{-8}$  г и заряд  $(-1,8) \cdot 10^{-14}$  Кл, влетает в электрическое поле конденсатора в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рис.). Чему должна быть равна минимальная скорость, с которой влетает пылинка в конденсатор, чтобы она смогла пролететь его 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.

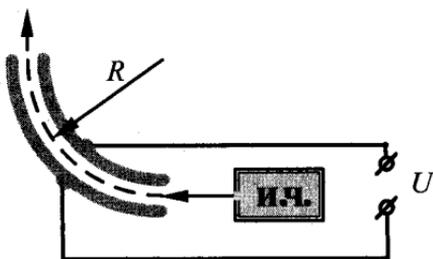


12. На рисунке показана схема устройства для предварительного отбора заряженных частиц для последующего детального исследования. Устройство представляет собой конденсатор, пластины которого изогнуты дугой радиуса  $R \approx 50$  см. Предположим, что в промежуток между обкладками конденсатора из источника заряженных частиц (и.ч.) влетают ионы с зарядом  $-e$ , как показано на рисунке. Напряженность электрического

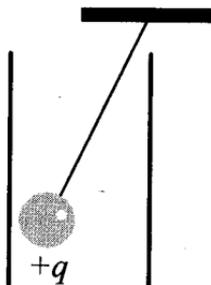
поля в конденсаторе по модулю равна  $50 \text{ кВ/м}$ . Скорость ионов  $2 \cdot 10^5 \text{ м/с}$ . При какой массе иона он пролетит сквозь конденсатор, не коснувшись его пластин? Считать, что расстояние между обкладками конденсатора мало, напряженность электрического поля в конденсаторе всюду одинакова по модулю, а вне конденсатора электрическое поле отсутствует. Влиянием силы тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.



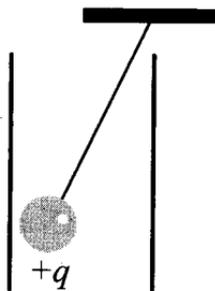
13. На рисунке показана схема устройства для предварительного отбора заряженных частиц для последующего детального исследования. Устройство представляет собой конденсатор, пластины которого изогнуты дугой радиуса  $R \approx 50 \text{ см}$ . Предположим, что в промежуток между обкладками конденсатора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



14. Маленький 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 5 см. Какова разность потенциалов между обкладками конденсатора, если удлинение нити 0,5 мм?

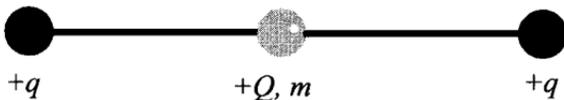


15. Маленький заряженный шарик массой 3 г, подвешенный на невесомой нити с коэффициентом упругости 100 Н/м, находится между вертикальными пластинами плоского воздушного конденсатора. Расстояние между обкладками конденсатора 5 см, разность потенциалов между обкладками конденсатора 5 кВ. Каков заряд шарика,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



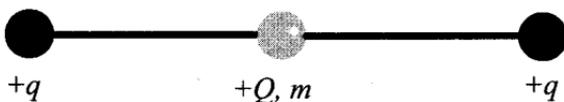
16. Полый металлический шарик массой 2 г подвешен на шелковой нити длиной 50 см. Шарик имеет положительный заряд  $10^{-8}$  Кл и находится в однородном электрическом поле напряженностью  $10^6$  В/м, направленном вертикально вниз. Каков период малых колебаний шарика?

17. Полый металлический шарик массой 2 г подвешен на шелковой нити и помещен над положительно заряженной плоскостью, создающей однородное вертикальное электрическое поле напряженностью  $10^6$  В/м. Шарик имеет положительный заряд  $10^{-8}$  Кл. Период малых колебаний шарика 1 с. Какова длина нити?
18. Полый металлический шарик массой 3 г подвешен на шелковой нити длиной 50 см над положительно заряженной плоскостью, создающей однородное электрическое поле напряженности  $2 \cdot 10^6$  В/м. Электрический заряд шарика отрицателен и по модулю равен  $6 \cdot 10^{-8}$  Кл. Определите циклическую частоту свободных гармонических колебаний данного маятника.
19. 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  $T$ .



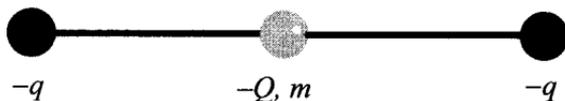
Чему будет равен период колебаний бусинки, если ее заряд увеличить в 2 раза?

20. 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  $T$ .



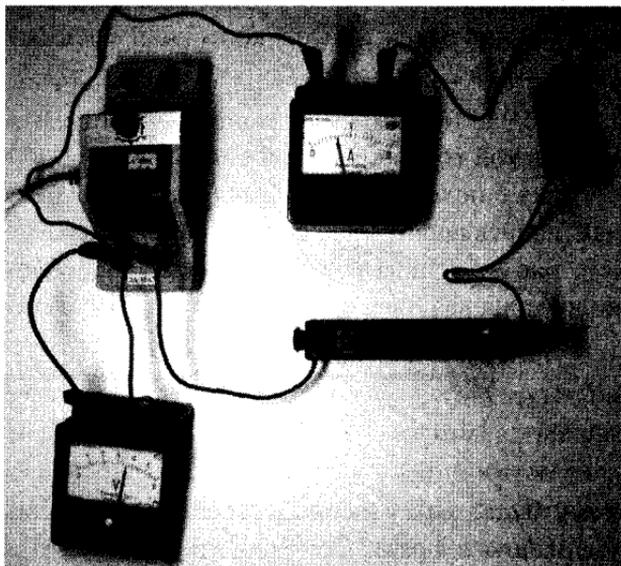
Чему будет равен период колебаний бусинки, если ее заряд уменьшить в 2 раза?

21. 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  $T$ .

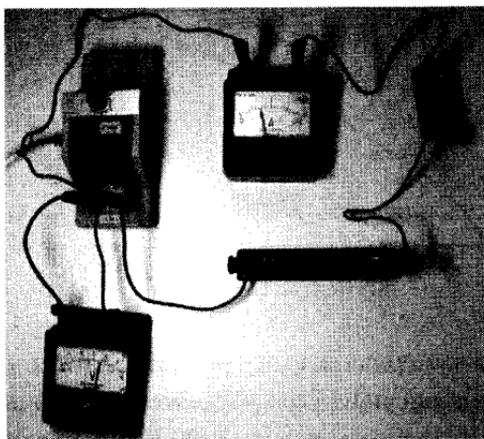


Чему будет равен период колебаний бусинки, если ее заряд увеличить в 4 раза?

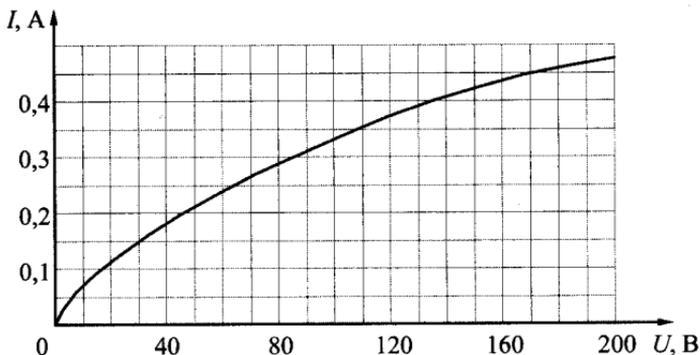
22. При изучении закона Ома для полной электрической цепи ученик исследовал зависимость напряжения на полюсах источника тока от силы тока во внешней цепи (см. рис.). Внутреннее сопротивление источника не зависит от силы тока. Сопротивление вольтметра велико, сопротивление амперметра пренебрежимо мало.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



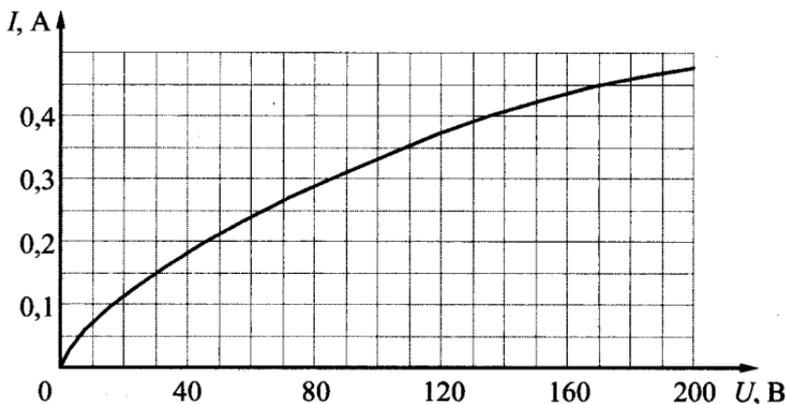
23. При изучении закона Ома для полной электрической цепи ученик исследовал зависимость напряжения на полюсах источника тока от силы тока во внешней цепи (см. рис.). Внутреннее сопротивление источника не зависит от силы тока. Сопротивление вольтметра велико, сопротивление амперметра пренебрежимо мало. 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.



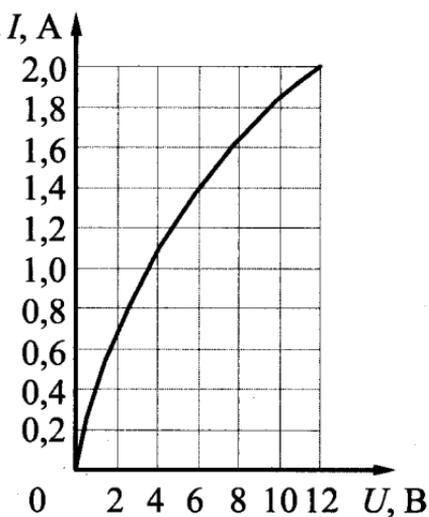
24. На рисунке изображена зависимость силы тока через лампу накаливания от приложенного к ней напряжения. При последовательном соединении двух таких ламп и источника сила тока в цепи оказалась равной 0,35 А. Каково напряжение на клеммах источника? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



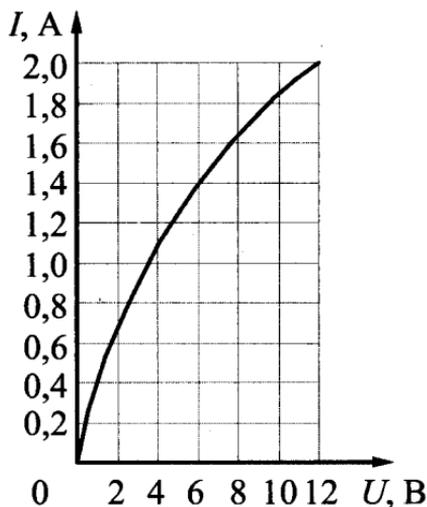
25. На рисунке изображена зависимость силы тока через лампу накаливания от приложенного к ней напряжения. При параллельном соединении двух таких ламп и источника сила тока в цепи оказалась равной  $0,7\text{ А}$ . Каково напряжение на клеммах источника? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



26. Вольт-амперная характеристика лампы накаливания изображена на рисунке. При напряжении источника  $12\text{ В}$  температура нити лампы равна  $3100\text{ К}$ . Сопротивление нити прямо пропорционально ее температуре. Какова температура нити накала при напряжении источника  $6\text{ В}$ ?



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



28. 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.

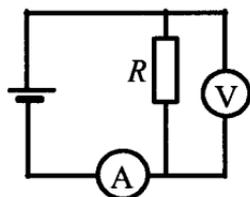


Схема 1

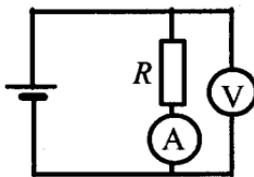
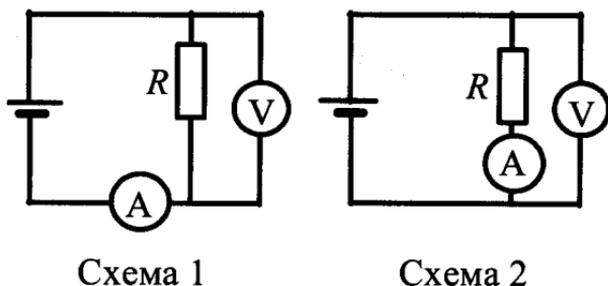
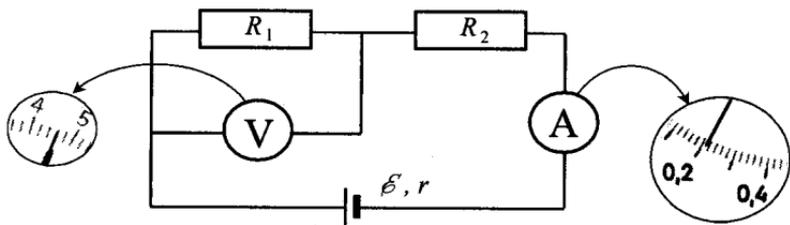


Схема 2

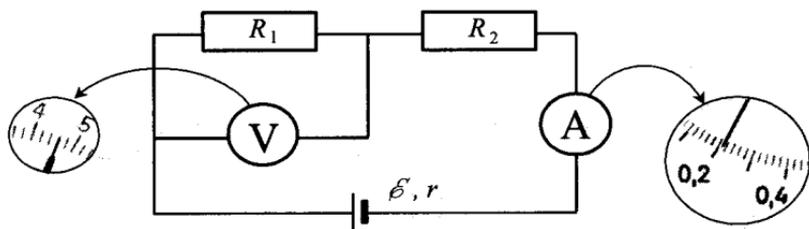
29. Одни и те же элементы соединены в электрическую цепь сначала по схеме 1, а затем по схеме 2 (см. рис.). Сопротивление резистора равно  $R$ , сопротивление амперметра  $\frac{1}{10}R$ , сопротивление вольтметра  $9R$ . Каковы показания вольтметра в первой схеме, если во второй схеме они равны  $U_2$ ? Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов пренебречь.



30. 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 дает неверные показания?

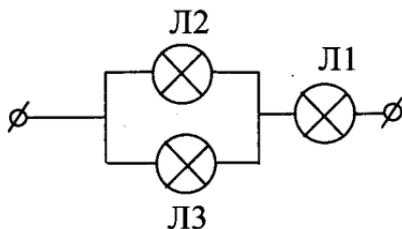


31. При проведении лабораторной работы ученик собрал электрическую цепь по схеме на рисунке. Сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  равны 20 Ом и 150 Ом соответственно. Сопротивление вольтметра равно 10 кОм, а амперметра — 0,4 Ом. ЭДС источника равна 36 В, а его внутреннее сопротивление — 6 Ом.

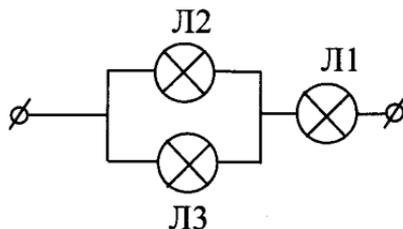


На рисунке показаны шкалы приборов с показаниями, которые получил ученик. Исправны ли приборы или же какой-то из них дает неверные показания?

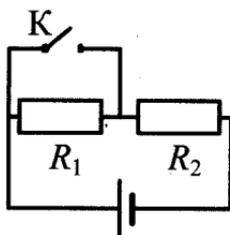
32. Вольт-амперные характеристики газовых ламп Л1, Л2 и Л3 при достаточно больших токах хорошо описываются квадратичными зависимостями  $U_1 = \alpha I^2$ ,  $U_2 = 3\alpha I^2$ ,  $U_3 = 6\alpha I^2$ , где  $\alpha$  — некоторая известная размерная константа. Лампы Л2 и Л3 соединили параллельно, а лампу 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.



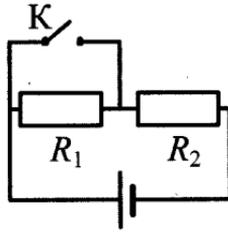
33. Вольт-амперные характеристики газовых ламп Л1, Л2 и Л3 при достаточно больших токах хорошо описываются квадратичными зависимостями  $U_1 = \alpha I^2$ ,  $U_2 = 2\alpha I^2$ ,  $U_3 = 4\alpha I^2$ , где  $\alpha$  — некоторая известная размерная константа. Лампы Л2 и Л3 соединили параллельно, а лампу 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.



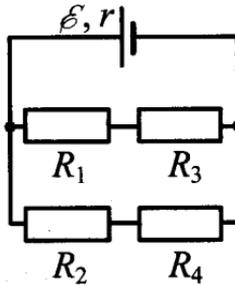
34. Источник тока, два резистора и ключ включены в цепь, как показано на рисунке. При разомкнутом ключе на резисторе  $R_1$  выделяется мощность  $P_1 = 2$  Вт, а на резисторе  $R_2$  — мощность  $P_2 = 1$  Вт. Какая мощность будет выделяться на резисторе  $R_2$  после замыкания ключа К? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.



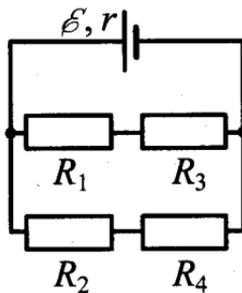
35. Источник тока, два резистора и ключ включены в цепь, как показано на рисунке. При разомкнутом ключе на резисторе  $R_1$  выделяется мощность 1 Вт, а на резисторе  $R_2$  — мощность 2 Вт. Какая мощность будет выделяться на резисторе  $R_2$  после замыкания ключа К? Внутренним сопротивлением источника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



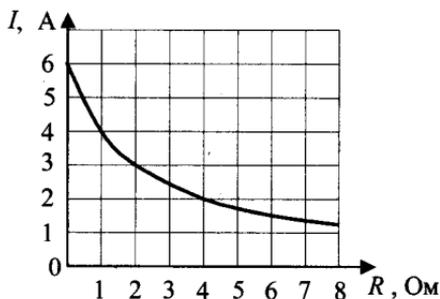
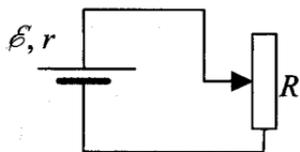
36. В схеме, изображенной на рисунке, сопротивления резисторов  $R_1 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 9 \text{ Ом}$ , ЭДС батареи  $\mathcal{E} = 20 \text{ В}$ , ее внутреннее сопротивление  $r = 2 \text{ Ом}$ . Определите мощность, выделяемую на резисторе  $R_3$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



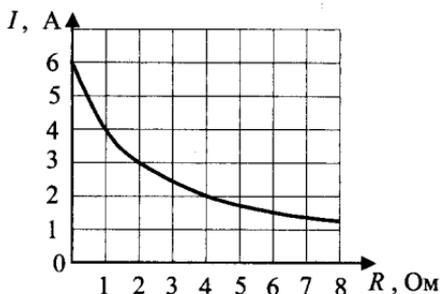
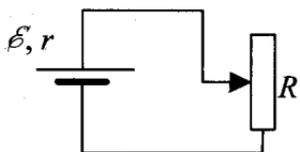
37. В схеме, изображенной на рисунке, сопротивления резисторов  $R_1 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 9 \text{ Ом}$ , ЭДС батареи  $\mathcal{E} = 20 \text{ В}$ , ее внутреннее сопротивление  $r = 2 \text{ Ом}$ . Определите мощность, выделяемую на резисторе  $R_2$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



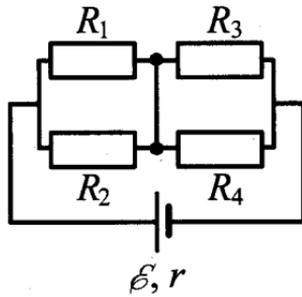
38. Реостат  $R$  подключен к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  (см. рис.). Зависимость силы тока в цепи от сопротивления реостата представлена на графике. Найдите сопротивление реостата, при котором мощность тока, выделяемая на внутреннем сопротивлении источника,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



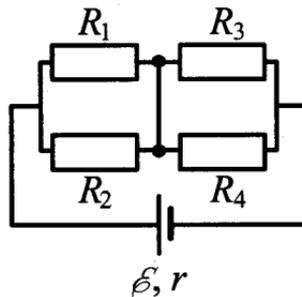
39. Реостат  $R$  подключен к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  (см. рис.). Зависимость силы тока в цепи от сопротивления реостата представлена на графике. Найдите сопротивление реостата, при котором мощность тока, выделяемая на внутреннем сопротивлении источника,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



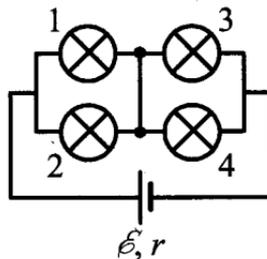
40. Какая тепловая мощность будет выделяться на резисторе  $R_1$  в схеме, изображенной на рисунке, если резистор  $R_2$  перегорит (превратится в разрыв цепи)? Все резисторы, включенные в схему, имеют одинаковое сопротивление  $R = 20$  Ом. Внутреннее сопротивление источника  $r = 2$  Ом; его ЭДС  $\mathcal{E}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



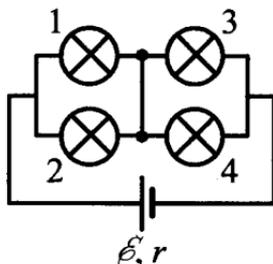
41. Какая тепловая мощность будет выделяться на резисторе  $R_3$  в схеме, изображенной на рисунке, если резистор  $R_4$  перегорит (превратится в разрыв цепи)? Все резисторы, включенные в схему, имеют одинаковое сопротивление 40 Ом. Внутреннее сопротивление источника  $r = 2$  Ом; его ЭДС 50 В.



42. Какая тепловая мощность выделяется на лампе 4 в цепи, собранной по схеме, изображенной 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  $\mathcal{E} = 100$  В.

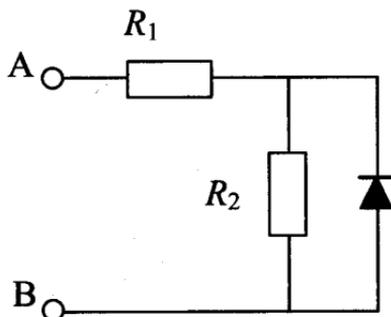


43. Какая тепловая мощность выделяется на лампе 2 в цепи, собранной по схеме, изображенной на рисунке? Сопротивление ламп 1 и 2  $R_1 = 20$  Ом, ламп 3 и 4  $R_2 = 10$  Ом. Внутреннее сопротивление источника  $r = 5$  Ом, его ЭДС  $\mathcal{E} = 100$  В.

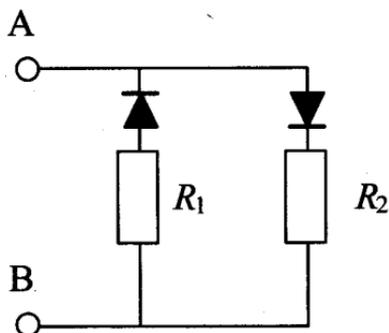


44. Электрическая цепь состоит из источника тока и реостата. ЭДС источника  $\mathcal{E} = 6$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 2$  Ом. Сопротивление реостата можно изменять в пределах от 1 Ом до 5 Ом. Чему равна максимальная мощность тока, выделяемая на реостате?
45. Электрическая цепь состоит 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?
46. В цепи, изображенной на рисунке, сопротивление диода в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном — многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке А — положительного, а к точке В — отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением, потребляемая мощность

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

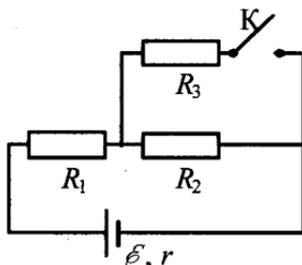


47. В цепи, изображенной на рисунке, сопротивление диодов в прямом направлении пренебрежимо мало, а в обратном — многократно превышает сопротивление резисторов. При подключении к точке А — положительного, а к точке В — отрицательного полюса батареи с ЭДС 12 В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением,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

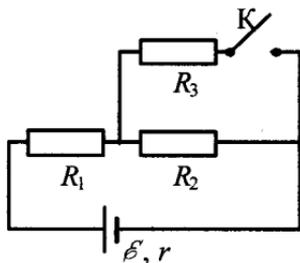


Укажите условия протекания тока через диоды и резисторы в обоих случаях и определите сопротивление резисторов в этой цепи.

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



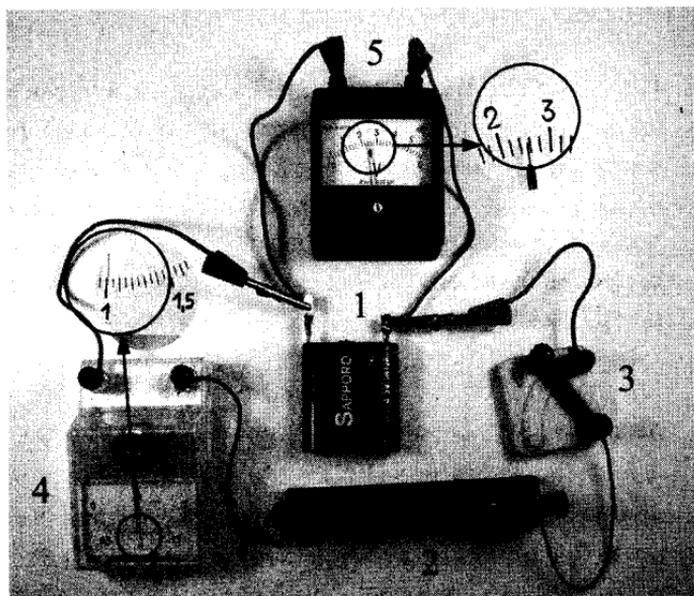
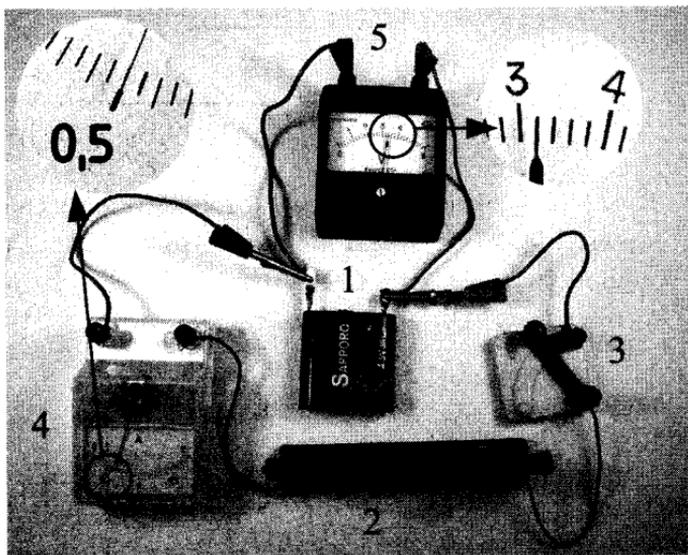
49. В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, ключ  $K$  первоначально замкнут. Во сколько раз изменится мощность, выделяемая на резисторе  $R_1$ , при размыкании ключа  $K$ , если  $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ Ом}$ ,  $r = 0,5 \text{ Ом}$ ?



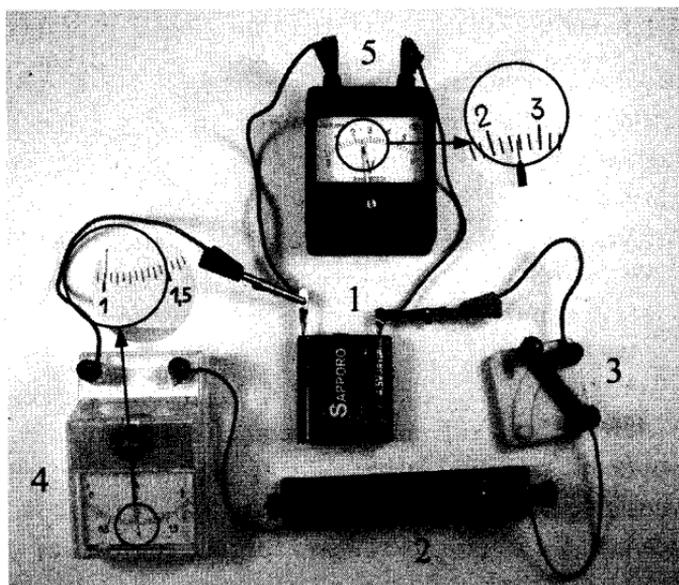
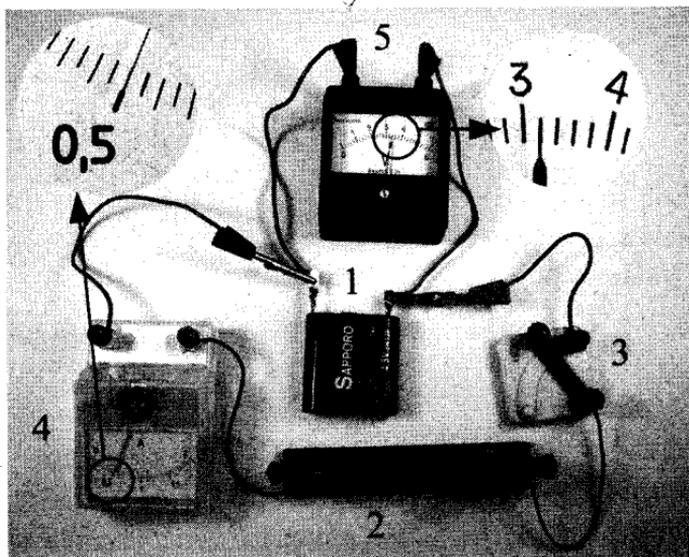
50. По однородному цилиндрическому алюминиевому проводнику сечением  $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  пропустили ток  $10 \text{ А}$ . Определите промежуток времени, в течение которого температура проводника повысится на  $10 \text{ К}$ . Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании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

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

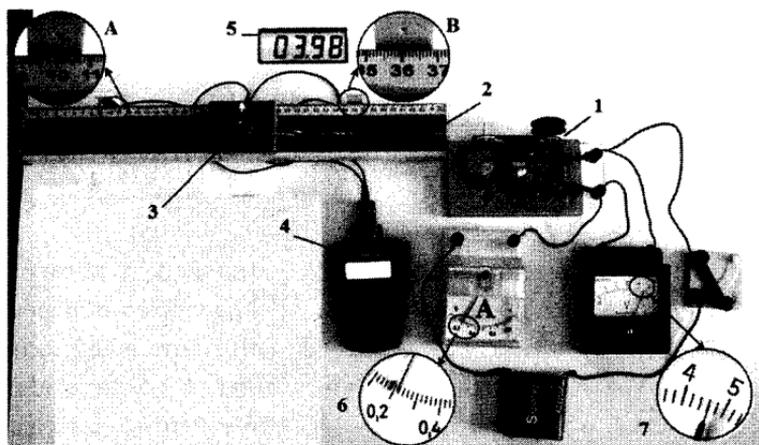
52. Ученик собрал электрическую цепь, состоящую из батарейки (1), реостата (2), ключа (3), амперметра (4) и вольтметра (5). После этого он измерил напряжение на полюсах источника тока и силу тока в цепи при различных положениях ползунка реостата (см. фотографии). Определите КПД источника тока в первом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



53. 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.

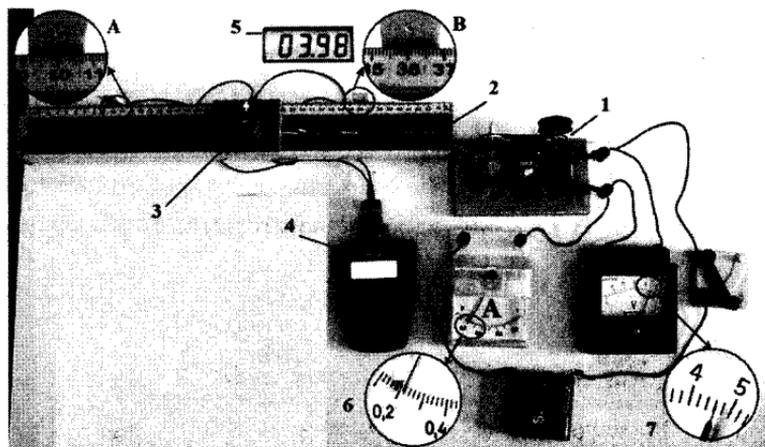


54. На фотографии представлена установка, в которой электродвигатель (1) с помощью нити (2) равномерно перемещает каретку (3) вдоль направляющей горизонтальной линейки. При прохождении каретки мимо датчика А секундомер (4) включается, а при прохождении каретки мимо датчика В секундомер выключается.

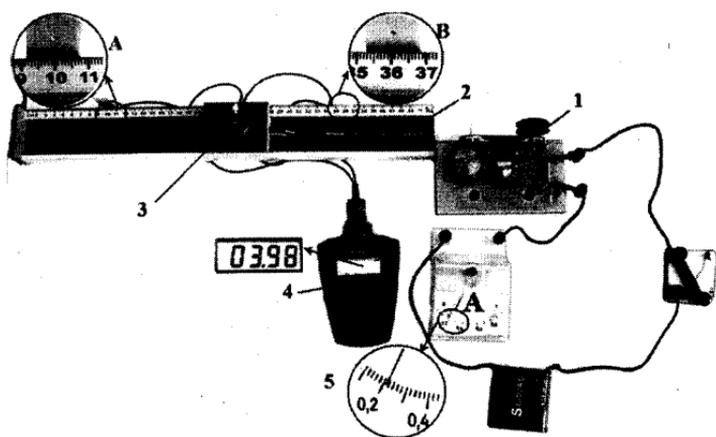


После измерения силы тока (6), напряжения (7) и времени (дисплей 5) ученик с помощью динамометра измерил силу трения скольжения каретки по направляющей. Она оказалась равной 0,4 Н. Рассчитайте отношение  $\alpha$  работы силы упругости нити к работе электрического тока во внешней цепи.

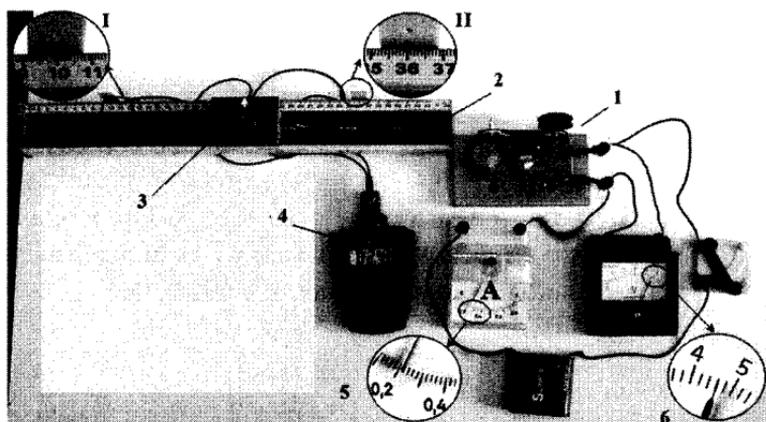
55. На фотографии представлена установка для преобразования электрической энергии в механическую с помощью электродвигателя (1). Нить (2) равномерно перемещает каретку (3) вдоль направляющей горизонтальной линейки. При прохождении каретки мимо датчика А секундомер (4) включается, а при прохождении каретки 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?



56. 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?

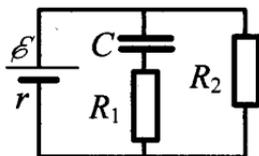


57. На фотографии представлена установка, в которой электродвигатель (1) с помощью нити (2) равномерно перемещает каретку (3) вдоль направляющей. При прохождении каретки (3) мимо датчика I секундомер (4) включается и при дальнейшем движении каретки фиксирует время от момента включения. При прохождении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

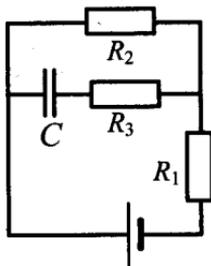


После измерения силы тока амперметром (5) и напряжения вольтметром (6) ученик измерил с помощью динамометра силу трения скольжения каретки по направляющей. Она оказалась равной 0,4 Н. Какими будут показания секундомера при прохождении каретки мимо второго датчика, если работа силы упругости нити составляет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

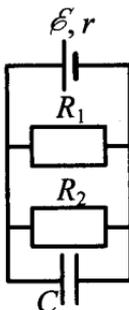
58. Напряженность электрического поля плоского конденсатора (см. рис.) равна 24 кВ/м. Внутреннее сопротивление источника  $r = 10$  Ом, ЭДС  $\mathcal{E} = 30$  В, сопротивления резисторов  $R_1 = 20$  Ом,  $R_2 = 40$  Ом. Найдите расстояние между пластинами конденсатора.



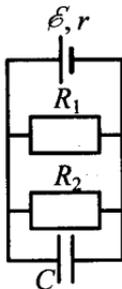
59. Конденсатор емкостью 2 мкФ присоединен к источнику постоянного тока с ЭДС 3,6 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Сопротивления резисторов  $R_1 = 4$  Ом,  $R_2 = 7$  Ом,  $R_3 = 3$  Ом. Каков заряд на левой обкладке конденсатора?



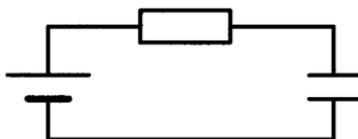
60. Источник постоянного тока с ЭДС  $\mathcal{E} = 10$  В и внутренним сопротивлением  $r = 0,4$  Ом подсоединен к параллельно соединенным резисторам  $R_1 = 4$  Ом,  $R_2 = 6$  Ом и конденсатору. Определите емкость конденсатора  $C$ , если энергия электрического поля конденсатора равна  $W = 60$  мкДж.



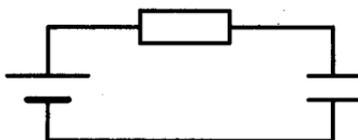
61. Источник постоянного тока с внутренним сопротивлением  $r = 0,4$  Ом подсоединен к параллельно соединенным резисторам  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом и конденсатору емкости  $C = 5$  мкФ. Определите ЭДС источника  $\mathcal{E}$ , если энергия электрического поля конденсатора  $W = 10$  мкДж.



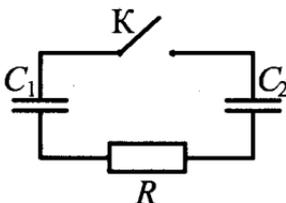
62. Источник постоянного напряжения с ЭДС 100 В подключен через резистор к конденсатору переменной емкости, расстояние между пластинами которого можно изменять (см. рис.). Пластины медленно раздвинули. Какая работа была совершена против сил притяжения пластин, если за время движения пластин на резисторе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



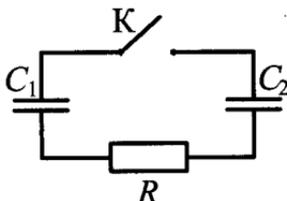
63. Источник постоянного напряжения с ЭДС 100 В подключен через резистор к конденсатору переменной емкости, расстояние между пластинами которого можно изменять (см. рис.). Пластины медленно раздвинули. Какое количество теплоты выделилось за время движения пластин на резисторе, если против сил притяжения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



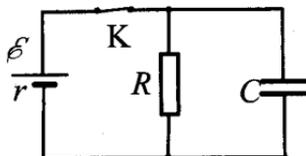
64. Заряженный конденсатор  $C_1 = 1$  мкФ включен в последовательную цепь из резистора  $R = 300$  Ом, незаряженного конденсатора  $C_2 = 2$  мкФ и разомкнутого ключа К (см. рис.). После замыкания ключа в цепи выделяется количество теплоты  $Q = 30$  мДж. Чему равно первоначальное напряжение на конденсаторе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



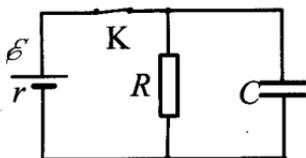
65. Заряженный конденсатор  $C_1 = 1$  мкФ включен в последовательную цепь из резистора  $R = 300$  Ом, незаряженного конденсатора  $C_2 = 2$  мкФ и разомкнутого ключа  $K$  (см. рис.). Какое количество теплоты выделяется в цепи после замыкания ключа, если первоначальное напряжение на конденсаторе  $C_1$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



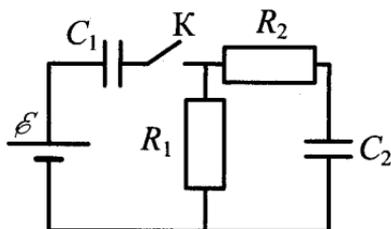
66. В электрической схеме, показанной на рисунке, ключ  $K$  замкнут. ЭДС батарейки  $\mathcal{E} = 24$  В, сопротивление резистора  $R = 25$  Ом, заряд конденсатора 2 мкКл. После размыкания ключа  $K$  в результате разряда конденсатора на резисторе выделяется количество теплоты 20 мкДж. Найдите внутреннее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



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

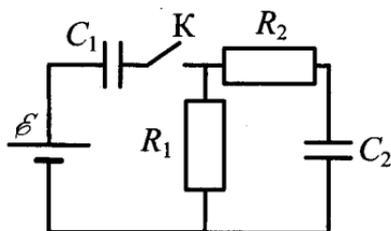


68. В цепи, изображенной на рисунке, ЭДС батареи равна 100 В, сопротивления резисторов  $R_1 = 10$  Ом и  $R_2 = 6$  Ом, а емкости конденсаторов  $C_1 = 60$  мкФ и  $C_2 = 100$  мкФ.



В начальном состоянии ключ  $K$  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?

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



В начальном состоянии ключ  $K$  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?

## 4. Электродинамика (Электромагнитное поле)

### 4.1. Задачи с кратким ответом

#### Магнитное поле

1. Прямолинейный проводник длиной  $l = 0,4$  м, по которому течет 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 течет ток, находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,2$  Тл и расположен под углом  $90^\circ$  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 течет ток  $I = 2$  А, расположен в однородном магнитном поле под углом  $90^\circ$  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 течет ток, равный 6 А, расположен в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,4$  Тл под углом  $30^\circ$  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<sup>2</sup>, если напряжение на нем 4,8 В, а модуль вектора магнитной индукции 0,5 Тл? Вектор магнитной индукции перпендикулярен проводнику. Удельное сопротивление стали 0,12 Ом · мм<sup>2</sup>/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<sup>2</sup>/м.

Ответ: \_\_\_\_\_ мм<sup>2</sup>.

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.

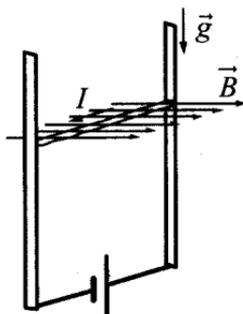
8. Прямолинейный проводник подвешен горизонтально на двух нитях в однородном магнитном поле с индукцией 20 мТл. Вектор магнитной индукции горизонтален и перпендикулярен проводнику. Во сколько раз изменится сила натяжения нитей при изменении направления тока на противоположное? Масса единицы длины проводника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

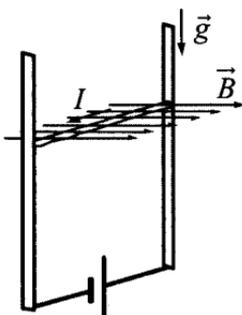
Ответ: \_\_\_\_\_ А.

10. В однородном магнитном поле по вертикальным направляющим без трения скользит прямой горизонтальный проводник массой 0,25 кг, по которому течет 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  $2 \text{ м/с}^2$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_ м.

11. В однородном магнитном поле по вертикальным направляющим без трения скользит прямой горизонтальный массивный проводник длиной 0,2 м, по которому течет 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  $2 \text{ м/с}^2$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

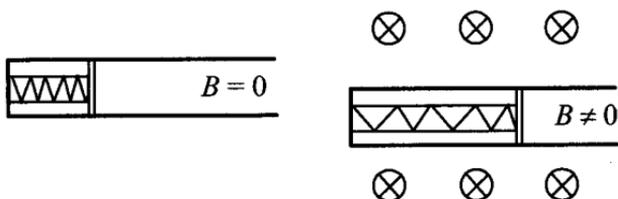
12. Участок проводника длиной 20 см находится в однородном магнитном поле индукцией 25 мТл. Сила Ампера при перемещении проводника на 6 см в направлении своего действия совершает работу 0,003 Дж. Чему равна сила тока, протекающего по проводнику? Проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции.

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.

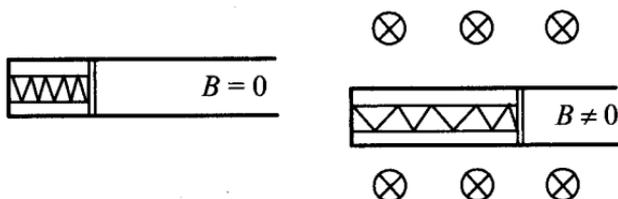
Ответ: \_\_\_\_\_ м.

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



Ответ: \_\_\_\_\_ мТл.

15. Свободно перемещающийся по рамке проводник с током через изолятор прикреплен к пружине жесткостью  $5 \text{ Н/м}$  (см. рис.). Длина проводника  $0,2 \text{ м}$ , и по нему течет ток силой  $5 \text{ А}$ . 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  $0,5 \text{ Тл}$ .



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ .

17. Протон и  $\alpha$ -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  $\frac{v_1}{v_2} = 2$ .

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: \_\_\_\_\_.

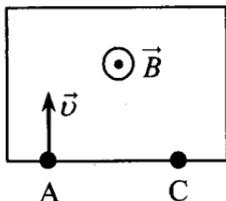
21. Две частицы, имеющие отношение зарядов  $\frac{q_1}{q_2} = 1$  и отношение масс  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{2}$ , влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции и движутся по окружностям. Определите отношение периодов обращения этих частиц  $\frac{T_1}{T_2}$ .

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 времен  $\frac{T_2}{T_1}$ , затраченных частицами на один оборот, если отношение индукций  $\frac{B_2}{B_1} = \frac{1}{4}$ .

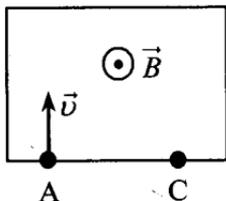
Ответ: \_\_\_\_\_.

23. Пучок ионов попадает в камеру масс-спектрометра через отверстие в точке А со скоростью  $v = 2 \cdot 10^4$  м/с, направленной перпендикулярно стенке АС. В камере создается однородное магнитное поле, линии вектора индукции которого перпендикулярны вектору скорости ионов. Двигаясь в этом поле, ионы попадают на мишень, расположенную в точке С на расстоянии 12 см от точки А (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 А со скоростью  $v = 1,5 \cdot 10^4$  м/с, направленной перпендикулярно стенке АС. В камере создается однородное магнитное поле, линии вектора индукции которого перпендикулярны вектору скорости ионов. Двигаясь в этом поле, ионы попадают на мишень, расположенную в точке С на некотором расстоянии от точки А (см. рис.). Определите расстояние АС, 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  $0,5 \text{ м}^2$  под углом  $30^\circ$  к ее поверхности, создавая магнитный поток, равный  $0,2 \text{ Вб}$ . Чему равен модуль вектора индукции магнитного поля?

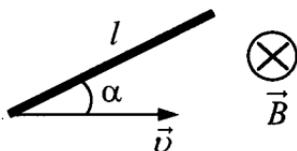
Ответ: \_\_\_\_\_ Тл.

26. Линии индукции однородного магнитного поля пронизывают плоскую фигуру площадью  $0,5 \text{ м}^2$  под углом  $30^\circ$  к ее поверхности. Модуль вектора индукции магнитного поля равен  $0,4 \text{ Тл}$ . Определите величину магнитного потока через фигуру.

Ответ: \_\_\_\_\_ Вб.

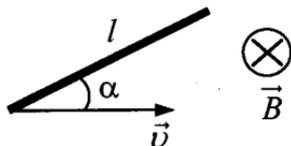
### Электромагнитная индукция

27. Проводящий стержень длиной  $l = 40 \text{ см}$  движется поступательно в однородном магнитном поле со скоростью  $v = 0,5 \text{ м/с}$  так, что угол между стержнем и вектором скорости  $\alpha = 30^\circ$  (см. рис.). ЭДС индукции в стержне равна  $0,05 \text{ В}$ . Какова индукция магнитного поля?



Ответ: \_\_\_\_\_ Тл.

28. Проводящий стержень длиной  $l = 20 \text{ см}$  движется поступательно в однородном магнитном поле со скоростью  $v = 2 \text{ м/с}$  так, что угол между стержнем и вектором скорости  $\alpha = 30^\circ$  (см. рис.). Определите ЭДС индукции в стержне, если модуль индукции магнитного поля равен  $0,25 \text{ Тл}$ .



Ответ: \_\_\_\_\_ В.

29. В проводнике индуктивностью 4 мГн сила тока в течение 0,4 с равномерно возрастает с 2 А до 10 А. Определите 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 0,1 В. Определите конечное значение силы тока в проводнике.

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

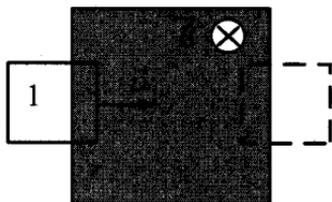
31. Кольцо радиуса 20 см из тонкой проволоки с сопротивлением 0,16 Ом находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого пересекают плоскость кольца под углом  $60^\circ$ . За какое время в кольце выделится количество теплоты 555 мкДж, если магнитная индукция убывает со скоростью 0,05 Тл/с? 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  $60^\circ$ . Определите скорость возрастания магнитной индукции, если за 3 с в кольце выделяется количество теплоты 555 мкДж. Ответ округлите до сотых.

Ответ: \_\_\_\_\_ Тл/с.

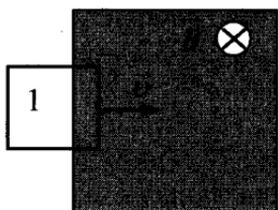
33. На рисунке заштрихована область однородного магнитного поля, перпендикулярного плоскости рисунка,  $B = 0,1$  Тл. Проволочную квадратную рамку сопротивлением  $R = 10$  Ом и стороной  $l = 10$  см перемещают в плоскости рисунка поступательно со скоростью  $v = 1$  м/с. Чему равен индукционный ток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



Чему равен индукционный ток в рамке в состоянии 1?

Ответ: \_\_\_\_\_ мА.

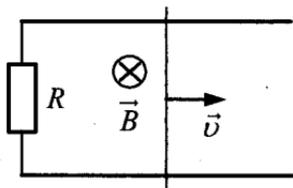
34. На рисунке заштрихована область однородного магнитного поля, перпендикулярного плоскости рисунка, с индукцией  $B = 0,1$  Тл. Квадратную проволочную рамку с сопротивлением 10 Ом и длиной стороны 10 см, перемещают в этом поле в плоскости рисунка поступательно равномерно с некоторой скоростью  $v$ . Когда рамка проходит положение 1, индукционный ток в ней равен 1 мА. Какова скорость движения рамки?



Какова скорость движения рамки?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

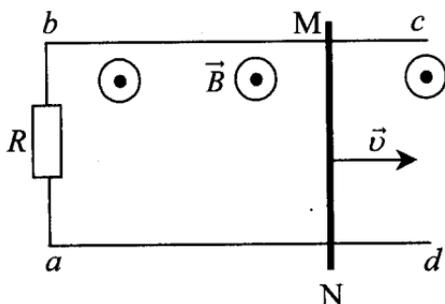
35. Прямоугольный контур, образованный двумя рельсами и двумя перемычками, находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости контура. Левая перемычка неподвижна, а правая перемычка скользит по рельсам, сохраняя надежный контакт с ними. Индукция магнитного поля  $B = 0,1$  Тл,



расстояние между рельсами  $l = 20$  см, скорость движения правой перемычки  $v = 2$  м/с, сопротивление контура  $R = 4$  Ом. Какова сила индукционного тока в контуре?

Ответ: \_\_\_\_\_ мА.

36. По параллельным проводникам  $bc$  и  $ad$ , находящимся в магнитном поле с индукцией  $B$ , со скоростью  $v = 1$  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 подключен резистор сопротивлением  $R = 2$  Ом. Сопротивление стержня и проводников пренебрежимо мало. При движении стержня по резистору  $R$  течет ток  $I = 60$  мА. Какова индукция магнитного поля?



Ответ: \_\_\_\_\_ Тл.

### Электромагнитные колебания и волны

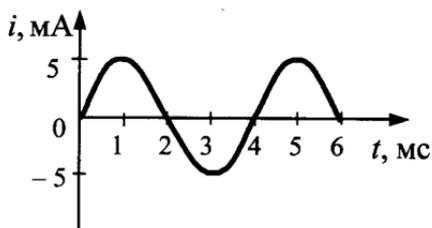
37. Емкость конденсатора в идеальном колебательном контуре равна  $50$  мкФ. Зависимость напряжения на конденсаторе от времени имеет вид:  $U = 60 \sin(500t)$ , где все величины выражены в СИ. Найдите амплитуду колебаний силы тока в контуре.

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

38. Емкость 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.

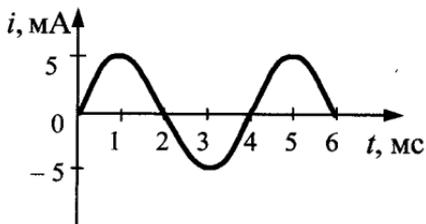
Ответ: \_\_\_\_\_ А.

39. На рисунке приведен 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 приведен 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, подключенном 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 емкость 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.

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q, 10^{-9} \text{ Кл}$	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.

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

Какова энергия магнитного поля катушки в момент времени  $3 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ , если емкость конденсатора равна  $50 \text{ пФ}$ ? 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  $4 \text{ мГн}$ ?

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I, 10^{-3} \text{ А}$	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.

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I, 10^{-3} \text{ А}$	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 емкость конденсатора, если индуктивность катушки равна 4 мГн. Ответ в нанофарадах округлите до десятых.

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I, 10^{-3} \text{ А}$	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  $5 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ , если индуктивность катушки 4 мГн. Ответ в наноджоулях округлите до десятых.

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I, 10^{-3} \text{ А}$	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 нем в 2 раза больше, а максимальное значение заряда конденсатора в 4 раза больше, чем в первом?

Ответ: \_\_\_\_\_ мА.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

51. Амплитуда напряжения на концах первичной обмотки трансформатора 120 В, сила тока в ней 1 А. Напряжение на концах вторичной обмотки 12 В, сила 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 расстояние до экрана.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

53. Тень на экране от предмета, освещенного 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<sup>2</sup>.

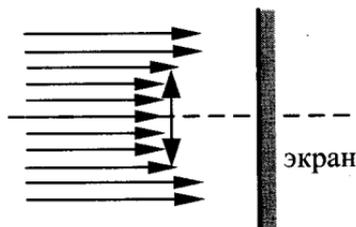
55. К потолку комнаты высотой 3 м прикреплена люминесцентная лампа длиной 2 м. На высоте 1,5 м от пола параллельно ему расположен круглый непрозрачный диск диаметром 2 м. Центр лампы и центр диска лежат на одной вертикали. Найдите максимальное расстояние между крайними точками тени на полу.

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.

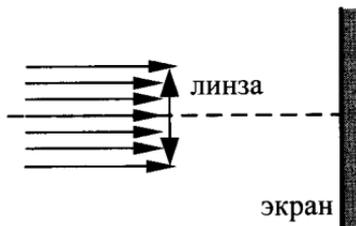
Ответ: \_\_\_\_\_ м.

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 нее. Чему равен диаметр светлого пятна, созданного линзой на экране?



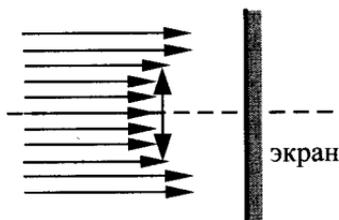
Ответ: \_\_\_\_\_ см.

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



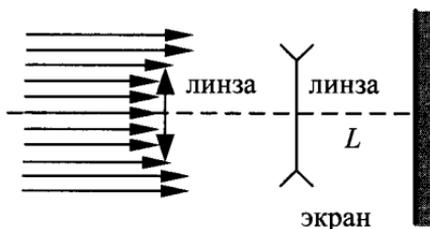
Ответ: \_\_\_\_\_ см.

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 нее 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 освещен 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 ее 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 четкое 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  $\frac{8}{13}$ . Чему равен абсолютный показатель преломления стекла? Ответ округлите до сотых.

Ответ: \_\_\_\_\_.

68. Синус предельного угла полного внутреннего отражения на границе стекло — воздух равен  $\frac{8}{13}$ . Чему равна скорость света в стекле?

Ответ: \_\_\_\_\_ 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. Два полупрозрачных зеркала расположены параллельно друг другу. На них перпендикулярно плоскости зеркал падает световая волна длиной 600 нм. Чему должно быть равно минимальное расстояние между зеркалами, чтобы наблюдался первый минимум при интерференции отраженных световых волн?

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

71. Два полупрозрачных зеркала расположены параллельно друг другу. На них перпендикулярно плоскости зеркал падает световая волна длиной 600 нм. Каким должно быть минимальное расстояние между зеркалами, чтобы наблюдался первый минимум интерференции проходящих световых волн?

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

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

Ответ: \_\_\_\_\_.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ .

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

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

76. На поверхность стекла нанесена пленка толщиной 120 нм с показателем, меньшим показателя преломления стекла. На пленку по нормали к ней падает свет с длиной волны 744 нм. При каком минимальном значении показателя преломления  $n_{пл}$  пленка будет «просветляющей» (т.е. отраженные лучи практически полностью гасятся)?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

77. На дифракционную решетку с периодом  $0,004$  мм падает по нормали плоская монохроматическая волна. Количество дифракционных максимумов, наблюдаемых с помощью этой решетки, равно 19. Какова длина падающей волны света? Ответ округлите до десятков.

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

78. На дифракционную решетку, 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.

79. Дифракционная решетка 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 решетки нормально падающим пучком света длиной волны  $580$  нм? Считать  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$ .

Ответ: \_\_\_\_\_ .

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

Ответ: \_\_\_\_\_ .

81. На дифракционную решетку, имеющую период  $3 \cdot 10^{-5}$  м, падает нормально параллельный пучок белого света. Спектр наблюдается на экране на расстоянии 3 м от решетки. 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  $\sin \varphi = \operatorname{tg} \varphi$ .

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

82. Дифракционная решетка, имеющая 750 штрихов на 1 см, расположена параллельно экрану на расстоянии 1,5 м от него. На решетку перпендикулярно ее 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  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$ .

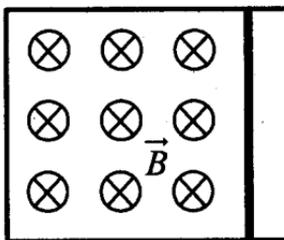
Ответ: \_\_\_\_\_ мкм.

83. Плоская монохроматическая световая волна падает по нормали на дифракционную решетку с периодом 5 мкм. Параллельно решетке позади нее размещена собирающая линза с фокусным расстоянием 20 см. Дифракционная картина наблюдается на экране в задней фокальной плоскости линзы. Расстояние между ее 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 ( $\varphi \ll 1$  в радианах).

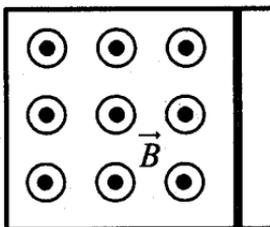
Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

## 4.2. Задания с развернутым ответом

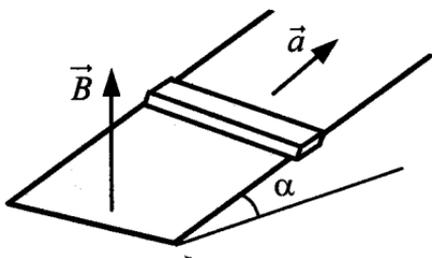
1. Металлический стержень, согнутый в виде буквы П, закреплен в горизонтальной плоскости. На параллельные стороны стержня опирается концами перпендикулярная перемычка массой 92 г и длиной 1 м. Сопротивление перемычки равно 0,1 Ом. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией 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.



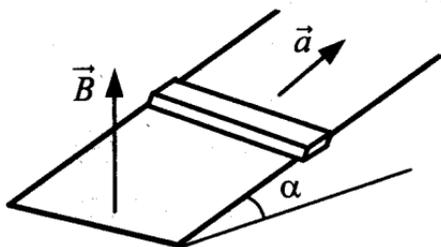
2. Металлический стержень, согнутый в виде буквы П, закреплен в горизонтальной плоскости. На параллельные стороны стержня опирается концами перпендикулярная перемычка массой 92 г и длиной 1,5 м. Сопротивление перемычки равно 0,1 Ом. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией 0,1 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.



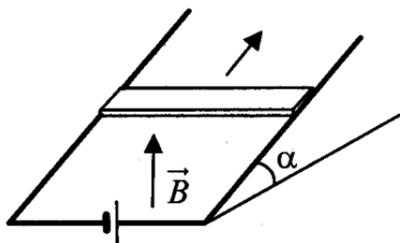
3. Горизонтальный проводящий стержень прямоугольного сечения поступательно движется с ускорением вверх по гладкой наклонной плоскости в вертикальном однородном магнитном поле (см. рис.). По стержню протекает ток  $I$ . Угол наклона плоскости  $\alpha = 30^\circ$ . Отношение массы стержня к его длине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



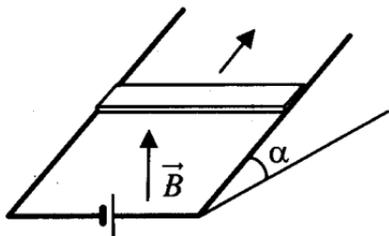
4. Горизонтальный проводящий стержень прямоугольного сечения поступательно движется с ускорением вверх по гладкой наклонной плоскости в вертикальном однородном магнитном поле (см. рис.). По стержню протекает ток  $I = 4$  А. Угол наклона плоскости  $\alpha = 30^\circ$ . Отношение массы стержня к его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



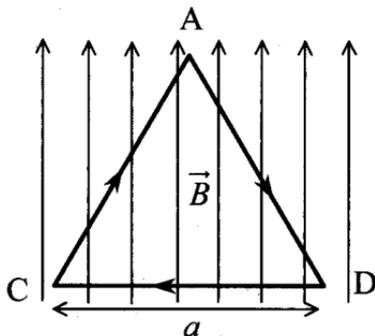
5. На проводящих рельсах, проложенных по наклонной плоскости, в однородном вертикальном магнитном поле  $\vec{B}$  находится горизонтальный прямой проводник прямоугольного сечения массой  $m = 20$  г. Плоскость наклонена к горизонту под углом  $\alpha = 30^\circ$ . Расстояние между рельсами  $L = 40$  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  $\mu = 0,2$ . Чему равен модуль индукции магнитного поля  $B$ ?



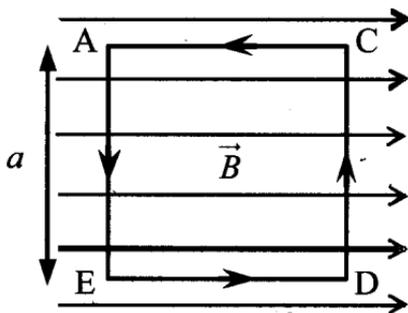
6. На проводящих рельсах, проложенных по наклонной плоскости, в однородном вертикальном магнитном поле  $\vec{B}$  находится горизонтальный прямой проводник прямоугольного сечения массой  $m = 20$  г. Модуль индукции магнитного поля равен  $0,04$  Тл. Плоскость наклонена к горизонту под углом  $\alpha = 30^\circ$ . 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  $\mu = 0,2$ . Определите величину силы тока.



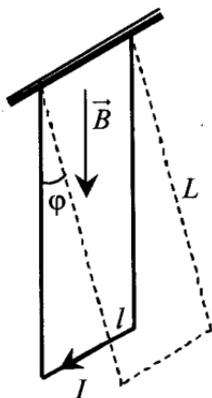
7. На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит проводящая жесткая рамка из однородной тонкой проволоки, согнутой в виде равностороннего треугольника ADC со стороной, равной  $a$  (см. рис.). Рамка, по которой течет ток  $I$ , находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции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



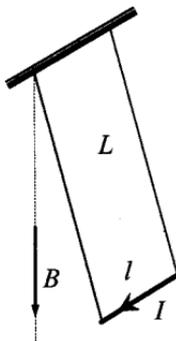
8. На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит жесткая рамка массой  $m$  из однородной тонкой проволоки, согнутая в виде квадрата ACDE со стороной  $a$  (см. рис.). Рамка находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции  $\vec{B}$  которого перпендикулярен сторонам AE и CD и равен по модулю  $B$ . По рамке течет ток в направлении, указанном стрелками (см. рис.). При какой минимальной силе тока рамка начнет поворачиваться вокруг стороны CD?



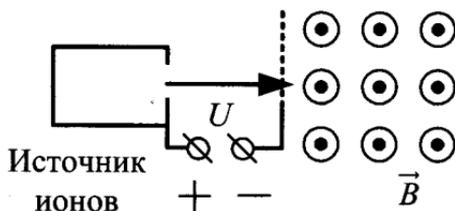
9. Металлический стержень длиной  $l = 0,1$  м и массой  $m = 10$  г, подвешенный на двух параллельных проводящих нитях длиной  $L = 1$  м, располагается горизонтально в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл, как показано на рисунке. Вектор магнитной индукции направлен вертикально. Какую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



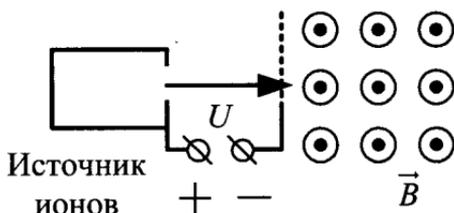
10. Металлический стержень длиной  $l = 0,1$  м и массой  $m = 10$  г, подвешенный на двух параллельных проводящих нитях длиной  $L = 1$  м, располагается горизонтально в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл. Вектор магнитной индукции направлен вертикально. По стержню пропускают ток в 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.).



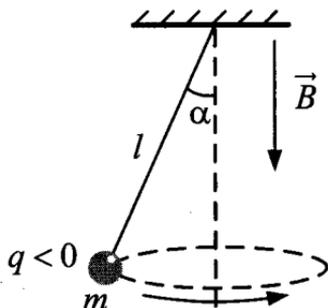
11. Протон ускоряется постоянным электрическим полем конденсатора, напряжение на обкладках которого 2160 В. Затем он влетает в однородное магнитное поле и движется по дуге окружности радиуса 20 см в плоскости, перпендикулярной линиям магнитной индукции. Каков модуль вектора индукции магнитного поля? Начальной скоростью протона в электрическом поле пренебречь.
12. Электрон влетает в область однородного магнитного поля индукцией  $B = 0,01$  Тл со скоростью  $v = 1000$  км/с перпендикулярно линиям магнитной индукции. Какой путь он пройдет к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на  $1^\circ$ ?
13. Заряженный шарик влетает в область магнитного поля  $B = 0,2$  Тл, имея скорость  $v = 1000$  м/с, перпендикулярную вектору магнитной индукции. Какой путь он пройдет к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на  $1^\circ$ ? Масса шарика  $m = 0,01$  г, заряд  $q = 500$  мкКл.
14. 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.



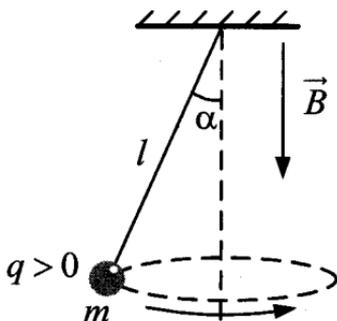
15. Ион ускоряется в электрическом поле с разностью потенциалов  $U = 10$  кВ и попадает в однородное магнитное поле перпендикулярно к вектору его индукции  $\vec{B}$  (см. рис.). Радиус траектории движения иона в магнитном поле  $R = 0,2$  м, отношение массы иона к его электрическому заряду  $\frac{m}{q}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



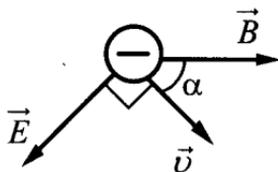
16. В однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ , направленной вертикально вниз, равномерно вращается по окружности в горизонтальной плоскости против часовой стрелки отрицательно заряженный шарик массой  $m$ , подвешенный на нити длиной  $l$  (конический маятник). Угол отклонения нити от вертикали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



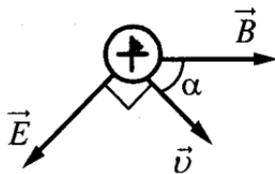
17. В однородном магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ , направленной вертикально вниз, равномерно вращается по окружности в горизонтальной плоскости против часовой стрелки положительно заряженный шарик, подвешенный на нити длиной  $l$  (конический маятник). Заряд шарика  $q$ , скорость его вращения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



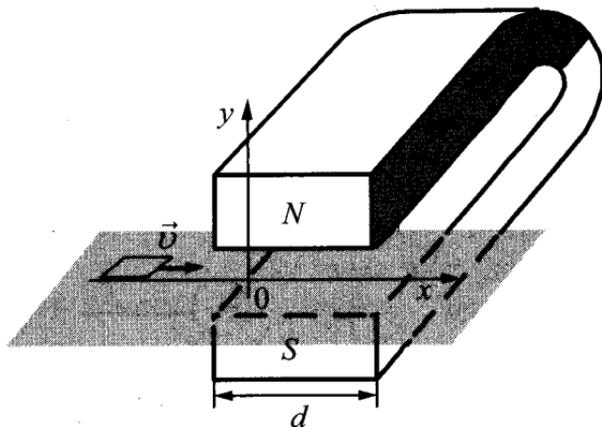
18. Точечный отрицательный заряд  $q = -1,5 \cdot 10^{-12}$  Кл движется в однородных электрическом и магнитном полях. Напряженность электрического поля  $E = 1200$  В/м; индукция магнитного поля  $B = 0,03$  Тл. В некоторый момент времени скорость заряда равна по величине  $v = 10^5$  м/с и лежит в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



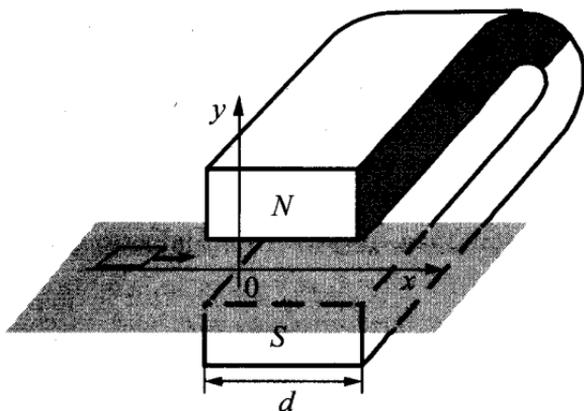
19. Точечный положительный заряд  $q = 2,5 \cdot 10^{-12}$  Кл движется в однородных электрическом и магнитном полях. Напряженность электрического поля  $E = 1200$  В/м; индукция магнитного поля  $B = 0,03$  Тл. В некоторый момент времени скорость заряда равна по величине  $v = 10^5$  м/с и лежит в плоскости векторов  $\vec{B}$  и  $\vec{E}$ , при этом вектор  $\vec{v}$  перпендикулярен вектору  $\vec{E}$  и составляет с вектором  $\vec{B}$  угол  $\alpha = 45^\circ$ . Найдите величину результирующей силы, действующей на заряд со стороны электромагнитного поля в этот момент времени.



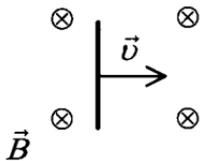
20. Квадратную рамку из медной проволоки со стороной  $b = 5$  см перемещают вдоль оси  $Ox$  по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью  $v = 1$  м/с. Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка успевает полностью пройти между полюсами магнита. Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу  $F$ , направленную вдоль оси  $Ox$ . 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.



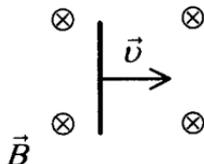
21. Квадратную рамку из медной проволоки со стороной  $b = 5$  см и сопротивлением  $R = 0,1$  Ом перемещают вдоль оси  $Ox$  по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью  $v = 1$  м/с. Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка успевает пройти между полюсами 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  $F$ , направленную вдоль оси  $Ox$ . 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?



22. Горизонтальный проводник длиной 1 м движется равноускоренно в вертикальном однородном магнитном поле, индукция которого направлена перпендикулярно проводнику и скорости его движения (см. рис.). При начальной скорости проводника, равной нулю, и ускорении  $8$  м/с<sup>2</sup>, 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?

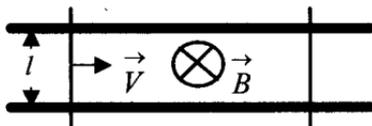


23. Горизонтальный проводник движется равноускоренно в вертикальном однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,5 Тл и направлена перпендикулярно проводнику и скорости его движения (см. рис.). При начальной скорости проводника, равной нулю, и ускорении  $8 \text{ м/с}^2$ , проводник переместился на 1 м. ЭДС индукции на концах проводника в конце движения равна 2 В. Какова длина проводника?

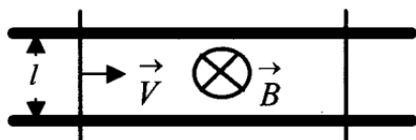


24. Плоская горизонтальная фигура площадью  $0,1 \text{ м}^2$ , ограниченная проводящим контуром, имеющим сопротивление 5 Ом, находится в однородном магнитном поле. Проекция вектора магнитной индукции на вертикальную ось  $Oz$  медленно и равномерно возрастает от некоторого начального значения  $B_{1z}$  до конечного значения  $B_{2z} = 4,7 \text{ Тл}$ . За это время по контуру протекает заряд  $\Delta q = 0,08 \text{ Кл}$ . Найдите  $B_{1z}$ .
25. Плоская горизонтальная фигура площадью  $S = 0,1 \text{ м}^2$ , ограниченная проводящим контуром сопротивлением 5 Ом, находится в однородном магнитном поле. Проекция вектора магнитной индукции на вертикальную ось  $Oz$  медленно и равномерно возрастает от начального значения  $B_{1z} = 0,7 \text{ Тл}$  до конечного значения  $B_{2z} = 4,7 \text{ Тл}$ . Какой заряд за это время протекает по контуру?
26. Медное кольцо из провода диаметром 2 мм расположено в однородном магнитном поле, магнитная индукция которого меняется по модулю со скоростью  $1,09 \text{ Тл/с}$ . Плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции. Каков диаметр кольца, если возникающий в нем индукционный ток равен 10 А? Удельное сопротивление меди  $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

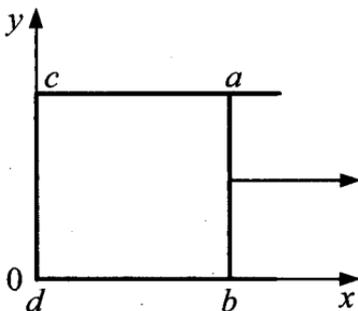
27. Медное кольцо, диаметр которого 20 см, а диаметр провода кольца 2 мм, расположено в однородном магнитном поле. Плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции. Определите модуль скорости изменения магнитной индукции поля со временем, если при этом в кольце возникает индукционный ток 10 А. Удельное сопротивление меди  $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8}$  Ом · м.
28. Замкнутый контур площадью  $S$  из тонкой проволоки помещен в магнитное поле. Плоскость контура перпендикулярна вектору магнитной индукции поля. В контуре возникают колебания тока с амплитудой  $i_m = 35$  мА, если магнитная индукция поля меняется с течением времени в соответствии с формулой  $B = a \cos(bt)$ , где  $a = 6 \cdot 10^{-3}$  Тл,  $b = 3500$  с<sup>-1</sup>. Электрическое сопротивление контура  $R = 1,2$  Ом. Чему равна площадь контура?
29. Замкнутый контур из тонкой проволоки помещен в магнитное поле. Плоскость контура перпендикулярна вектору магнитной индукции поля. Площадь контура  $S = 2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>. В контуре возникают колебания тока с амплитудой  $i_m = 35$  мА, если магнитная индукция поля меняется с течением времени в соответствии с формулой  $B = a \cos(bt)$ , где  $a = 6 \cdot 10^{-3}$  Тл,  $b = 3500$  с<sup>-1</sup>. Чему равно электрическое сопротивление контура  $R$ ?
30. 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  $\vec{v}$  надо перемещать правый проводник (такой же), чтобы в три раза уменьшить силу Ампера, действующую на левый проводник? (Сопротивлением рельсов пренебречь.)



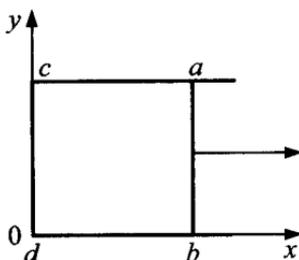
31. Два параллельных друг другу рельса, лежащих в горизонтальной плоскости, находятся в однородном магнитном поле, индукция  $\vec{B}$  которого направлена вертикально вниз (см. рис.). Левый проводник движется вправо со скоростью  $\vec{V}$ , а правый — покоится. С какой скоростью  $\vec{v}$  надо перемещать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



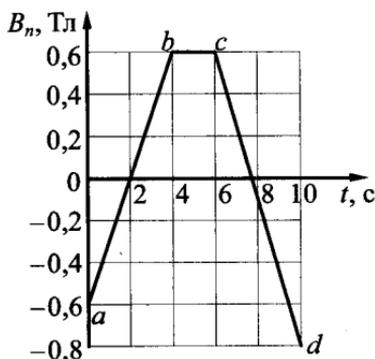
32. По П-образному проводнику  $acdb$  постоянного сечения скользит со скоростью  $\vec{v}$  медная перемычка  $ab$  длиной  $l$  из того же материала и такого же сечения. Проводники, образующие контур, помещены в постоянное однородное магнитное поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно 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.



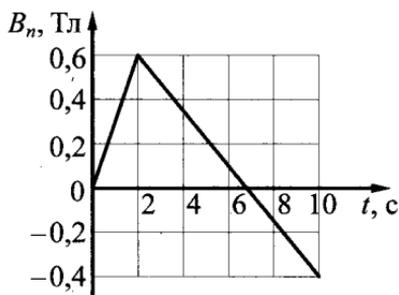
33. По П-образному проводнику  $acdb$  постоянного сечения скользит с постоянной скоростью медная перемычка  $ab$  длиной  $l$  из того же материала и такого же сечения. Проводники, образующие контур, помещены в постоянное однородное магнитное поле, вектор индукции которого направлен перпендикулярно плоскости проводников (см. рис.). Модуль индукция 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.



34. 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?



35. 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?



36. 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.
37. 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.
38. 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

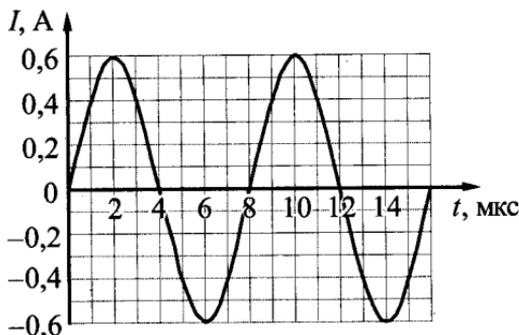
Найдите значение емкости конденсатора.

39. 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.

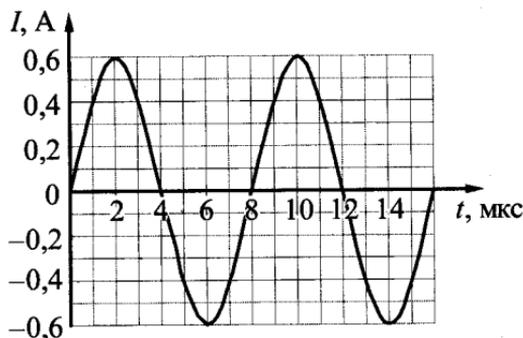
$t$ , мкс	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$U$ , В	0,0	2,8	4,0	2,8	0,0	-2,8	-4,0	-2,8	0,0

Найдите значение индуктивности катушки.

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



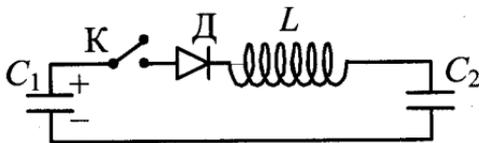
41. Сила тока в идеальном колебательном контуре меняется со временем так, как показано на рисунке. Определите заряд конденсатора в момент времени 7 мкс.



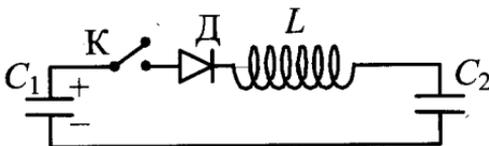
42. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 1$  мкФ и катушки индуктивности  $L = 0,01$  Гн. Какой должна быть емкость конденсатора, чтобы циклическая частота колебаний электрической энергии в контуре увеличилась на  $\Delta\omega = 2 \cdot 10^4$  с<sup>-1</sup>?
43. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 1$  мкФ и катушки индуктивности  $L = 0,01$  Гн. Емкость конденсатора уменьшили в 4 раза. На сколько изменилась циклическая частота колебаний электрической энергии в контуре?
44. В колебательном контуре, состоящем из катушки с индуктивностью  $L$  и воздушного конденсатора емкостью  $C$ , 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  $\varepsilon = 1,5$ . Насколько изменится полная энергия контура?
45. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью  $L$  и плоского конденсатора емкостью  $C$ , между пластинами которого помещен 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 контура?
46. Колебательный контур радиоприемника 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 напряженность электрического поля конденсатора в ходе колебаний  $E_{\max} = 3$  В/м. Каков максимальный ток в катушке индуктивности?

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

48. К конденсатору  $C_1$  через диод и катушку индуктивности  $L$  подключен конденсатор емкостью  $C_2 = 2$  мкФ. До замыкания ключа  $K$  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 емкость конденсатора  $C_1$ ? (Активное сопротивление цепи пренебрежимо мало.)



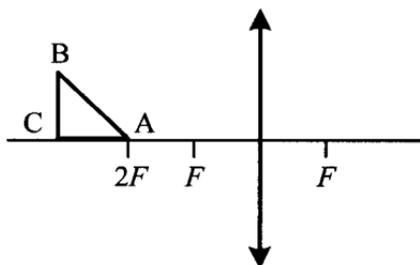
49. К конденсатору  $C_1 = 0,5$  мкФ через диод и катушку индуктивности  $L$  подключен конденсатор емкостью  $C_2$ . До замыкания ключа  $K$  конденсатор  $C_1$  был заряжен до напряжения  $U = 50$  В, а конденсатор  $C_2$  не заряжен. После замыкания ключа система перешла в новое состояние равновесия,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



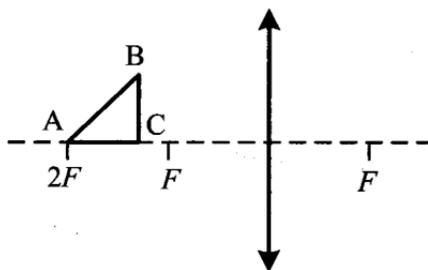
50. В дно водоема глубиной 3 м вертикально вбита свая, скрытая под водой. Высота сваи 2 м. Угол падения солнечных лучей на поверхность воды равен  $30^\circ$ . Определите длину тени сваи на дне водоема. Коэффициент преломления воды  $n = \frac{4}{3}$ .
51. В дно водоема глубиной 3 м вертикально вбита свая, скрытая под водой. Высота сваи 2 м. Свая отбрасывает на дне водоема тень длиной 0,75 м. Определите угол падения солнечных лучей на поверхность воды. Показатель преломления воды  $n = \frac{4}{3}$ .
52. 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 трехкратным увеличением. Определите фокусное расстояние линзы.
53. Линза, фокусное расстояние которой 15 см, дает на экране изображение предмета с пятикратным увеличением. Экран пододвинули к линзе вдоль ее 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?
54. 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  $F_2$ .

55. 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 остается параллельным. Найдите фокусное расстояние  $F_2$  рассеивающей линзы.
56. Объективы современных фотоаппаратов имеют переменное фокусное расстояние. При изменении фокусного расстояния «наводка на резкость» не сбивается. Условимся считать изображение на пленке фотоаппарата резким, если вместо идеального изображения в виде точки на пленке получается изображение пятна диаметром не более 0,05 мм. Поэтому если объектив находится на фокусном расстоянии от пленки, то резкими считаются не только бесконечно удаленные 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 расчетах считать объектив тонкой линзой. Сделайте рисунок, поясняющий образование пятна.
57. Условимся считать изображение на пленке фотоаппарата резким, если вместо идеального изображения в виде точки на пленке получается изображение пятна диаметром не более 0,05 мм. Поэтому если объектив находится на фокусном расстоянии от пленки, то резкими считаются не только бесконечно удаленные 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.

58. 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.



59. 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.



60. Груз массой  $0,1$  кг, прикрепленный к пружине жесткостью  $0,4$  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.
61. 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.

## 5. Квантовая физика

### 5.1. 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: \_\_\_\_\_  $\cdot 10^{14}$  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 образовавшихся 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 нее 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  $\lambda_{\text{кр}} = 540$  нм. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетающих из натриевого фотокатода, освещенного 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  $A_{\text{вых}} = 3 \cdot 10^{-19}$  Дж. Найдите максимальную длину волны  $\lambda$  света, которым могут выбиваться электроны с поверхности этого металла.

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

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

Ответ: \_\_\_\_\_ км/ч.

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

Ответ: \_\_\_\_\_.

22. Красная граница фотоэффекта исследуемого металла  $\lambda_{\text{кр}} = 600$  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  $\lambda_{\text{кр}} = 600$  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  $\lambda_{\text{кр}} = 0,62$  мкм. Какова длина волны света, падающего на калиевый фотокатод, если максимальная скорость фотоэлектронов  $\nu = 580$  км/с? Ответ округлите до сотых.

Ответ: \_\_\_\_\_ мкм.

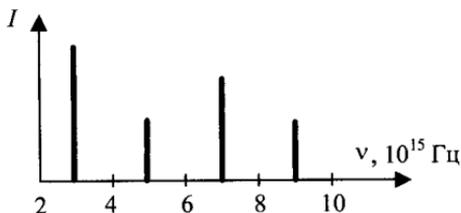
25. Металлический фотокатод освещен светом длиной волны  $\lambda = 0,42$  мкм. Максимальная скорость фотоэлектронов, вылетающих с поверхности фотокатода,  $v = 580$  км/с. Какова длина волны красной границы фотоэффекта для этого металла? Ответ округлите до сотых.

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.

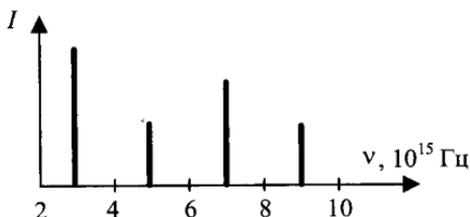
Ответ: \_\_\_\_\_ км/с.

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 освещенной 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. Насколько 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. Насколько 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 $\nu$ , $10^{14}$ 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  $\lambda$  падающего света.

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

Чему равна постоянная Планка по результатам этого эксперимента?

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

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

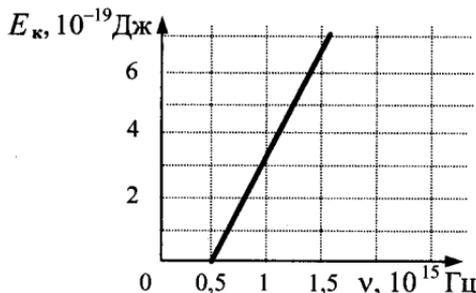
В таблице представлены результаты одного из первых таких опытов при освещении одной и той же пластины, в ходе которого было получено значение постоянной Планка  $h = 5,3 \cdot 10^{-34}$  Дж  $\cdot$  с.

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

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

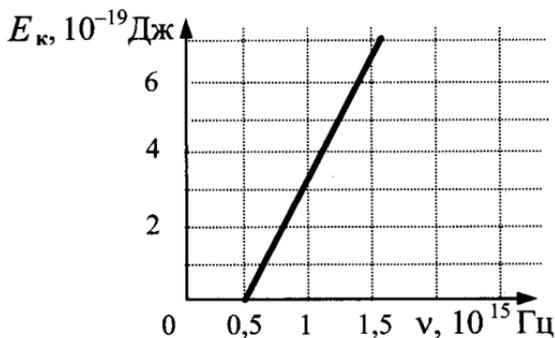
Ответ: \_\_\_\_\_ В.

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?



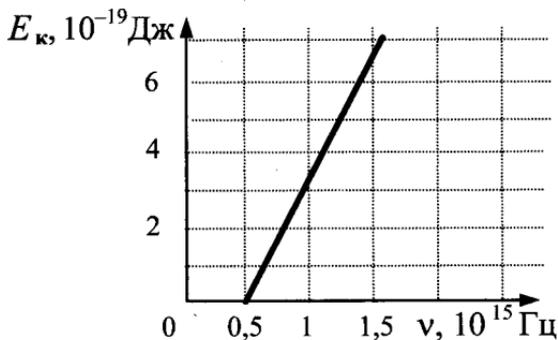
Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

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.



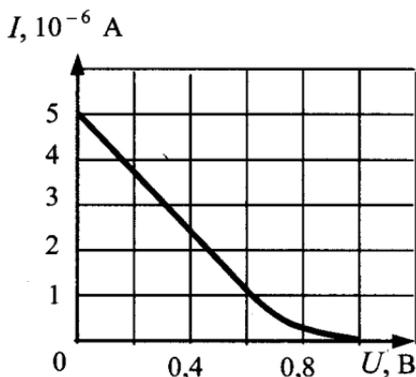
Ответ: \_\_\_\_\_ · 10<sup>-19</sup> Дж.

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.



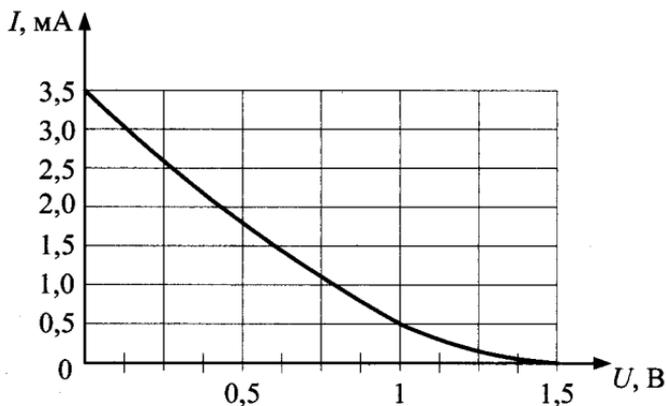
Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

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



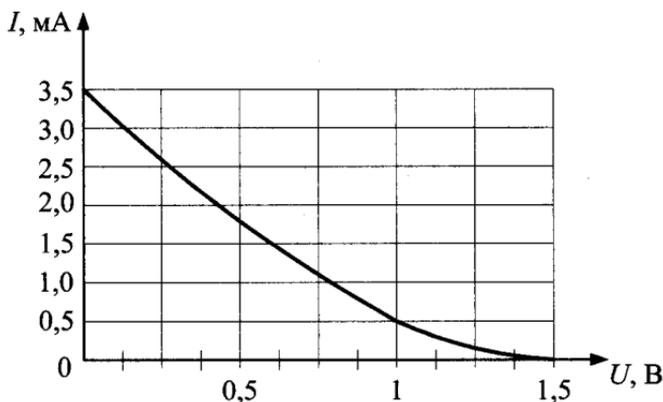
Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

44. На графике приведена зависимость фототока от приложенного обратного напряжения при освещении металлической пластины (фотокатода) излучением с энергией 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.

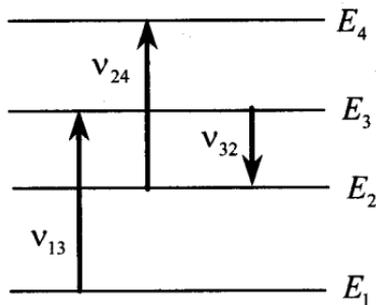


Ответ: \_\_\_\_\_  $\cdot 10^{15}$  Гц.

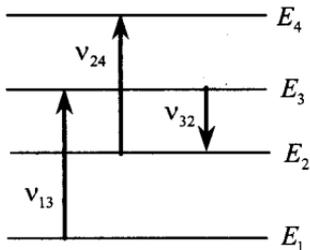
## 5.2. Задания с развернутым ответом

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.

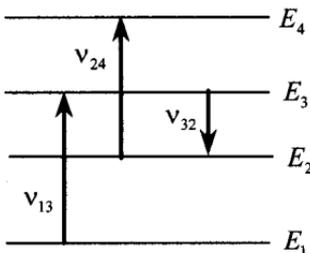
4. Излучением лазера с длиной волны  $3,3 \cdot 10^{-7}$  м за время  $1,25 \cdot 10^4$  с был расплавлен лед массой 1 кг, взятый при температуре  $0^\circ\text{C}$ , и полученная вода была нагрета на  $100^\circ\text{C}$ . Сколько фотонов излучает лазер за 1 с? Считать, что 50% излучения поглощается 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  $0^\circ\text{C}$ , и полученная вода была нагрета на  $100^\circ\text{C}$ . 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  $E_4$ ?



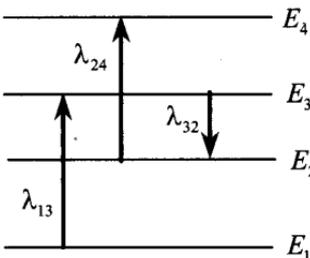
7. На рисунке представлены энергетические уровни атома и указаны частоты фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах между ними. Какова длина волны фотонов, поглощаемых при переходе с уровня  $E_1$  на уровень  $E_4$ , если  $\nu_{13} = 6 \cdot 10^{14}$  Гц,  $\nu_{24} = 4 \cdot 10^{14}$  Гц,  $\nu_{32}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



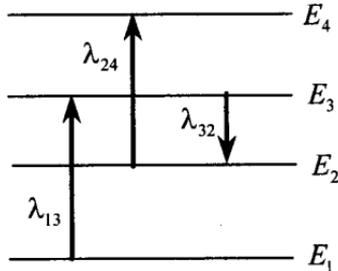
8. На рисунке представлены энергетические уровни атома и указаны частоты фотонов, излучаемых и поглощаемых при некоторых переходах между ними. Какова максимальная длина волны фотонов, излучаемых атомом при любых возможных переходах между уровнями  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  и  $E_4$ , если  $\nu_{13} =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



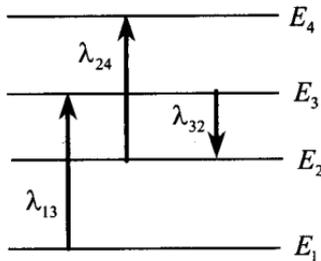
9. На рисунке представлены энергетические уровни атома и указаны длины волн фотонов, испускаемых и поглощаемых при переходах между ними:  $\lambda_{13} = 300$  нм;  $\lambda_{32} = 550$  нм. Минимальная длина волны излучаемого фотона при всех возможных переходах между этими уровнями энергии  $\lambda_0 = 250$  нм. Какова длина волны  $\lambda_{24}$  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  $\lambda_{13}$ , 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  $E_n = -\frac{13,6 \text{ эВ}}{n^2}$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ . 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  $\beta$  максимальной частоты фотона в серии Лаймана к максимальной частоте фотона в серии Бальмера.

13. Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой  $E_n = -\frac{13,6 \text{ эВ}}{n^2}$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ . 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  $\beta$  минимальной частоты фотона в серии Бальмера к максимальной частоте фотона в серии Пашена.
14. Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой:  $E_n = -\frac{13,6 \text{ эВ}}{n^2}$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ . 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  $\gamma$  максимальной длины волны фотона в серии Бальмера к максимальной длине волны фотона в серии Лаймана.
15. 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  $\Delta U = 15\,000 \text{ В}$  и бомбардируют флуоресцирующий экран, рождающий вспышку света при попадании каждого электрона. Длина волны света от источника  $\lambda_1 = 820 \text{ нм}$ , а света, излучаемого экраном,  $\lambda_2 = 410 \text{ нм}$ . 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  $1 \text{ эВ}$ . Считать, что энергия падающих на экран электронов переходит в энергию света без потерь.

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 падающего на катод света  $\lambda_1 = 820$  нм, а света, излучаемого экраном,  $\lambda_2 = 410$  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  $A_{\text{вых}}$  принять равной 1 эВ. Считать, что энергия падающих на экран электронов переходит в энергию света без потерь.
17. Металлическую пластину освещают монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 531$  нм. Каков максимальный импульс фотоэлектронов, если работа выхода электронов из данного металла  $A_{\text{вых}} = 1,73 \cdot 10^{-19}$  Дж?
18. 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?
19. 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?
20. 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?

21. В двух опытах по фотоэффекту металлическая пластинка облучалась светом с длинами волн соответственно  $\lambda_1 = 350$  нм и  $\lambda_2 = 540$  нм. В этих опытах максимальные скорости фотоэлектронов отличались в  $\frac{v_1}{v_2} = 2$  раза. Какова работа выхода с поверхности металла?
22. 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  $\lambda_0$  для вещества фотокатода.
23. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода  $\lambda_0 = 450$  нм. При облучении катода светом с длиной волны  $\lambda$  фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом  $U = 1,4$  В. Определите длину волны  $\lambda$ .
24. 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?
25. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой  $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$  эВ, где  $n = 1, 2, 3, \dots$ . 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?

26. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой  $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$  эВ, где  $n = 1, 2, 3, \dots$ . 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,  $U_{\text{зап}} = 6,1$  В. Какова частота света  $\nu_{\text{кр}}$ , соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода?
27. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой  $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$  эВ, где  $n = 1, 2, 3, \dots$ . При переходе атома из состояния  $E_2$  в состояние  $E_1$  атом испускает фотон. Попад на поверхность фотокатода, этот фотон выбивает фотоэлектрон. Частота света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода,  $\nu_{\text{кр}} = 6 \cdot 10^{14}$  Гц. Чему равен максимально возможный импульс фотоэлектрона?
28. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой  $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$  эВ, где  $n = 1, 2, 3, \dots$ . При переходе атома из состояния  $E_2$  в состояние  $E_1$  атом испускает фотон. Попад на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода,  $\lambda_{\text{кр}} = 300$  нм. Чему равна максимально возможная кинетическая энергия фотоэлектрона?
29. В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии ( $E_1 = -13,6$  эВ) поглощает фотон и ионизируется. Электрон, вылетевший из атома в результате ионизации, движется вдали от ядра со скоростью  $v = 1000$  км/с. Какова частота поглощенного фотона? Энергией теплового движения атомов водорода пренебречь.

30. Фотон с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта, выбивает электрон из металлической пластинки (катода) сосуда, из которого откачан воздух. Электрон разгоняется однородным электрическим полем напряженностью  $E = 5 \cdot 10^4$  В/м. До какой скорости электрон разгонится в этом поле, пролетев путь  $s = 5 \cdot 10^{-4}$  м? Релятивистские эффекты не учитывать.
31. 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 напряженности поля?
32. При облучении металлической пластинки квантами света с энергией 3 эВ из нее 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?
33. Металлическая пластина облучается светом частотой  $\nu = 1,6 \cdot 10^{15}$  Гц. Вылетающие из пластины фотоэлектроны попадают в однородное электрическое поле напряженностью 130 В/м, причем вектор напряженности  $\vec{E}$  поля направлен к пластине перпендикулярно ее 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.
34. 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 напряженностью 130 В/м, причем вектор напряженности  $\vec{E}$  направлен к пластине перпендикулярно ее поверхности. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов на расстоянии 10 см от пластины?

35. 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  $\nu$  падающего света?
36. 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.
37. 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?
38. 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  $B$ ?
39. Фотокатод, покрытый кальцием, освещается светом с длиной волны  $\lambda = 225$  нм. Работа выхода электронов из кальция равна  $A_{\text{вых}} = 4,42 \cdot 10^{-19}$  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  $B$ ?

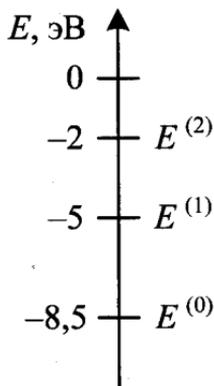
40. В вакууме находятся два кальциевых электрода, к которым подключен конденсатор емкостью 4000 пФ. При длительном освещении катода светом фототок между электродами, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд  $5,5 \cdot 10^{-9}$  Кл. «Красная граница» фотоэффекта для кальция  $\lambda_0 = 450$  нм. Определите частоту световой волны, освещающей катод. Емкостью системы электродов пренебречь.
41. В вакууме находятся два кальциевых электрода, к которым подключен 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 емкость конденсатора. Емкостью системы электродов пренебречь.
42. Для разгона космических аппаратов и коррекции их орбит предложено использовать солнечный парус — скрепленный с аппаратом легкий экран большой площади из тонкой пленки, которая зеркально отражает солнечный свет. 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  $1 \text{ м}^2$  поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, составляет  $1370 \text{ Вт/м}^2$ .
43. Для разгона космических аппаратов и коррекции их орбит предложено использовать солнечный парус — скрепленный с аппаратом легкий экран большой площади из тонкой пленки, которая зеркально отражает солнечный свет. Найдите массу космического аппарата, снабженного парусом в форме квадрата размерами  $100 \text{ м} \times 100 \text{ м}$ , которому давление солнечных лучей сообщает ускорение  $10^{-4} g$ . Мощность  $W$  солнечного излучения, падающего на  $1 \text{ м}^2$  поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, составляет  $1370 \text{ Вт/м}^2$ .

44. Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле, испытывает  $\alpha$ -распад. При этом рождаются  $\alpha$ -частица и тяжелый ион нового элемента. Выделившаяся при  $\alpha$ -распаде энергия  $\Delta E$  целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек  $\alpha$ -частицы находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом  $r$ . Масса  $\alpha$ -частицы равна  $m_\alpha$ , ее заряд равен  $2e$ , масса тяжелого иона равна  $M$ . Найдите индукцию  $B$  магнитного поля.
45. Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле индукцией  $B$ , испытывает  $\alpha$ -распад. При этом рождаются  $\alpha$ -частица и тяжелый ион нового элемента. Трек тяжелого иона находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом  $R$ . Выделившаяся при  $\alpha$ -распаде энергия  $\Delta E$  целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Масса  $\alpha$ -частицы равна  $m_\alpha$ , ее заряд равен  $2e$ . Найдите модуль отношения заряда к массе  $\left| \frac{q}{M} \right|$  для тяжелого иона.
46. Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле, испытывает  $\alpha$ -распад. При этом рождаются  $\alpha$ -частица и тяжелый ион нового элемента. Выделившаяся при  $\alpha$ -распаде энергия  $\Delta E$  целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек тяжелого иона находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом  $R$ . Масса  $\alpha$ -частицы равна  $m_\alpha$ , ее заряд равен  $2e$ , масса тяжелого иона равна  $M$ . Найдите индукцию  $B$  магнитного поля.
47. Препарат активностью  $1,7 \cdot 10^{11}$  частиц в секунду помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. За какое время температура контейнера повышается на 1 К, если известно, что данное

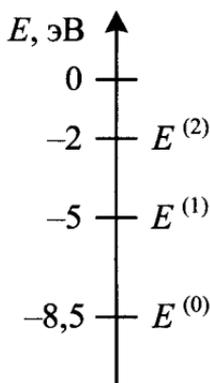
радиоактивное вещество испускает  $\alpha$ -частицы энергией 5,3 МэВ? Считать, что энергия всех  $\alpha$ -частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

48. Радиоактивный препарат помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. За 2 ч температура контейнера повысилась на 5,2 К. Известно, что данный препарат испускает  $\alpha$ -частицы энергией 5,3 МэВ, причем энергия всех  $\alpha$ -частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Найдите активность препарата  $A$ , т.е. количество  $\alpha$ -частиц, рождающихся в нем за 1 с. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

49. 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 приобрел некоторую дополнительную энергию. Импульс электрона после столкновения с покоящимся атомом оказался равным  $1,2 \cdot 10^{-24}$  кг  $\cdot$  м/с. Определите кинетическую энергию электрона до столкновения. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь.



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

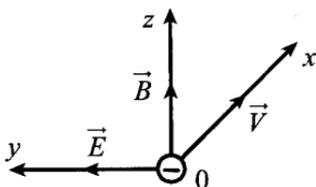


51. Электромагнитное излучение с длиной волны  $3,3 \cdot 10^{-7}$  м используется для нагревания воды. Какую массу воды можно нагреть за 700 с на  $10^\circ\text{C}$ , если источник излучает  $10^{20}$  фотонов за 1 с? Считать, что излучение полностью поглощается водой.
52. Электромагнитное излучение используется для нагревания воды массой 1 кг. За время 700 с температура воды увеличивается на  $10^\circ\text{C}$ . Какова длина волны излучения, если источник испускает  $10^{20}$  фотонов за 1 с? Считать, что излучение полностью поглощается водой.
53.  $\pi^0$ -Мезон массой  $2,4 \cdot 10^{-28}$  кг распадается на два  $\gamma$ -кванта. Найдите модуль импульса одного из образовавшихся  $\gamma$ -квантов в системе отсчета, где первичный  $\pi^0$ -мезон покоится.

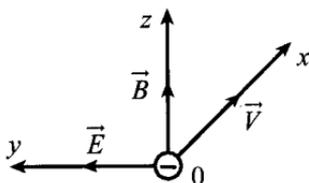
54. Свободный пион ( $\pi^0$ -мезон) с энергией покоя 135 МэВ движется со скоростью  $V$ , которая значительно меньше скорости света. В результате его распада образовались два  $\gamma$ -кванта, причем один из них распространяется в направлении движения пиона, а второй — в противоположном направлении. Энергия первого кванта на 10% больше, чем второго. Чему равна скорость пиона до распада?
55. Образец, содержащий радий, за 1 с испускает  $3,7 \cdot 10^{10}$   $\alpha$ -частиц. За 1 ч выделяется энергия 100 Дж. Каков средний импульс  $\alpha$ -частиц? Масса  $\alpha$ -частиц равна  $6,7 \cdot 10^{-27}$  кг. Энергией отдачи ядер,  $\gamma$ -излучением и релятивистским эффектами пренебречь.
56. В массивном образце, содержащем радий, за 1 с испускается  $3,7 \cdot 10^{10}$   $\alpha$ -частиц, движущихся со скоростью  $1,5 \cdot 10^7$  м/с. Найдите энергию, выделяющуюся за 1 ч. Масса  $\alpha$ -частицы равна  $6,7 \cdot 10^{-27}$  кг. Энергией отдачи ядер,  $\gamma$ -излучением и релятивистскими эффектами пренебречь.
57. В массивном образце, содержащем радий, за 1 с испускается  $3,7 \cdot 10^{10}$   $\alpha$ -частиц, движущихся с некоторой скоростью. Энергия, выделяющаяся за 1 ч, равна 100 Дж. Определите скорость  $\alpha$ -частиц. Масса  $\alpha$ -частицы равна  $6,7 \cdot 10^{-27}$  кг. Энергией отдачи ядер,  $\gamma$ -излучением и релятивистскими эффектами пренебречь.
58. Препарат активностью  $1,7 \cdot 10^{11}$  частиц в секунду помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. На сколько повысилась температура контейнера за 1 ч, если известно, что данное радиоактивное вещество испускает  $\alpha$ -частицы энергией 5,3 МэВ? Считать, что энергия всех  $\alpha$ -частиц полностью переходит во внутреннюю энергию контейнера. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

59. Препарат с активностью  $1,7 \cdot 10^{11}$  частиц в секунду помещен в металлический контейнер массой 0,5 кг. За 2 ч температура контейнера повысилась на 5,2 К. Известно, что данный препарат испускает  $\alpha$ -частицы с энергией 5,3 МэВ, причем практически вся энергия  $\alpha$ -частиц переходит во внутреннюю энергию контейнера. Найдите удельную теплоемкость металла контейнера. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.
60. 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  $S = 0,7 \text{ см}^2$  и создают давление  $P = 1,5 \cdot 10^{-5}$  Па. При этом 40% фотонов отражается, а 60% поглощается. Определите длину волны излучения.
61. 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  $S = 0,7 \text{ см}^2$  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.
62. Пациенту ввели внутривенно дозу раствора, содержащего изотоп  ${}_{11}^{24}\text{Na}$ . Активность 1 см<sup>3</sup> этого раствора  $a_0 = 2000$  распадов в секунду. Период полураспада изотопа  ${}_{11}^{24}\text{Na}$  равен  $T = 15,3$  ч. Через  $t = 3$  ч 50 мин активность 1 см<sup>3</sup> крови пациента стала  $a = 0,28$  распадов в секунду. Каков объем введенного раствора, если общий объем крови пациента  $V = 6$  л? Переходом ядер изотопа  ${}_{11}^{24}\text{Na}$  из крови в другие ткани организма пренебречь.
63. Пациенту ввели внутривенно дозу раствора, содержащего изотоп  ${}_{11}^{24}\text{Na}$ . Активность 1 см<sup>3</sup> этого раствора  $a_0 = 2000$  распадов в секунду. Период полураспада изотопа  ${}_{11}^{24}\text{Na}$  равен  $T = 15,3$  ч. Через  $t = 3$  ч 50 мин активность 1 см<sup>3</sup> крови пациента стала  $a = 0,28$  распадов в секунду. Каков общий объем крови пациента, если объем введенного раствора равен 1 см<sup>3</sup>? Переходом ядер изотопа  ${}_{11}^{24}\text{Na}$  из крови в другие ткани организма пренебречь.

64. Электроны, вылетевшие в положительном направлении оси  $Ox$  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  $Oy$ ? Работа выхода для вещества катода  $2,39$  эВ, частота света  $6,4 \cdot 10^{14}$  Гц, индукция магнитного поля  $10^{-3}$  Тл.



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

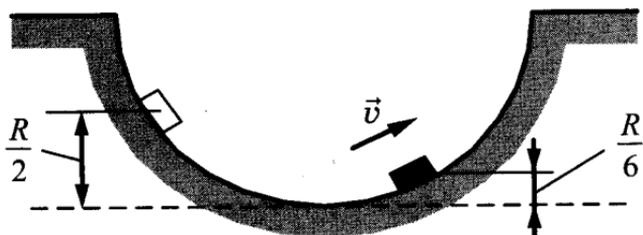


66. Определите коэффициент полезного действия атомной электростанции, расходующей за неделю  $1,4$  кг  ${}_{92}^{235}\text{U}$ , если ее мощность равна  $38$  МВт. При делении одного ядра урана-235 выделяется энергия  $200$  МэВ.
67. Определите, какая масса  ${}_{92}^{235}\text{U}$  расходуется за неделю на атомной электростанции, если ее мощность равна  $38$  МВт. Коэффициент полезного действия электростанции  $20\%$ . При делении одного ядра урана-235 выделяется энергия  $200$  МэВ.

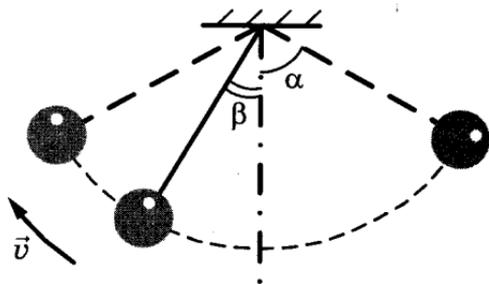
68. В открытый контейнер поместили 1,5 г изотопа полония-210  ${}_{84}^{210}\text{Po}$ . Затем контейнер герметично закрыли. Изотоп полония радиоактивен и претерпевает альфа-распад с периодом полураспада примерно 140 дней, превращаясь в стабильный изотоп свинца. Через 5 недель давление внутри контейнера составило  $1,4 \cdot 10^5$  Па. Определите объем контейнера. Температура внутри контейнера поддерживается постоянной и равна  $45^\circ\text{C}$ . Атмосферное давление равно  $10^5$  Па.
69. В открытый контейнер объемом 80 мл поместили изотоп полония-210  ${}_{84}^{210}\text{Po}$ . 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  $45^\circ\text{C}$ . Атмосферное давление равно  $10^5$  Па.

## 6. Качественные задачи с развернутым ответом

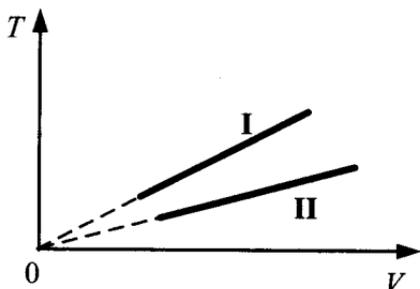
1. Маленькая шайба движется из состояния покоя по неподвижной гладкой сферической поверхности радиусом  $R$ . Начальное положение шайбы находится на высоте  $\frac{R}{2}$  относительно нижней точки поверхности. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шайбу в момент, когда она движется вправо-вверх, 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.



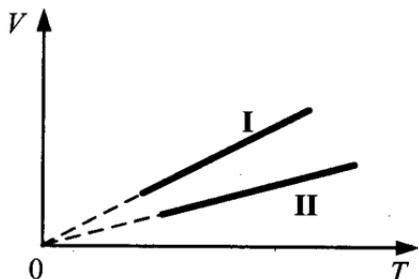
2. Маленький шарик, подвешенный к потолку на легкой нерастяжимой нити, совершает колебания в вертикальной плоскости. Максимальное отклонение нити от вертикали составляет угол  $\alpha = 60^\circ$ . Сделайте рисунок с указанием сил, приложенных к шарику в тот момент, когда шарик движется влево-вверх, а нить образует угол  $\beta = 30^\circ$  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.



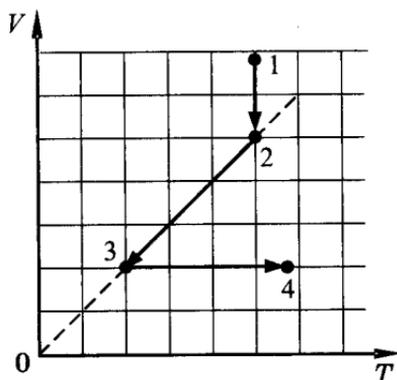
3. На рисунке изображены графики двух процессов, проведенных с идеальным газом при одном и том же давлении. Графики процессов представлены на рисунке. Почему изобара I лежит выше изобары II? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



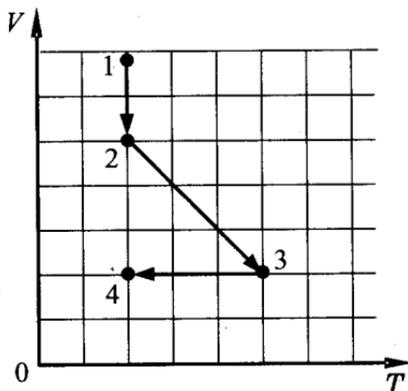
4. На рисунке изображены графики двух процессов, проведенных с идеальным газом при одном и том же количестве вещества. Графики процессов представлены на рисунке. Почему изобара I лежит выше изобары II? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



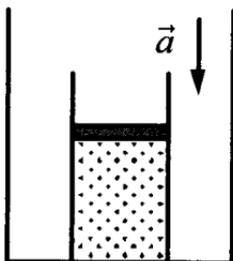
5. На  $VT$ -диаграмме показано, как изменялись объем и температура некоторого постоянного количества разреженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа  $p$  на каждом из трех участков 1–2, 2–3, 3–4: увеличивалось, уменьшалось или же оставалось неизменным?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



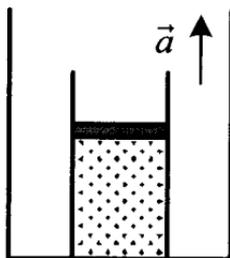
6. На  $VT$ -диаграмме показано, как изменялись объем и температура некоторого постоянного количества разреженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа  $p$  на каждом из трех участков 1–2, 2–3, 3–4: увеличивалось, уменьшалось или же оставалось неизменным?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



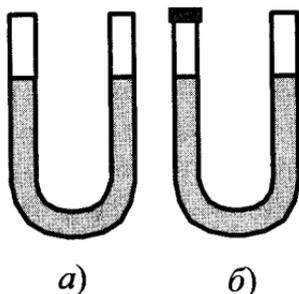
7. На полу неподвижного лифта стоит теплоизолированный сосуд, открытый сверху. В сосуде под тяжелым подвижным поршнем находится одноатомный идеальный газ. Поршень находится в равновесии. Лифт начинает равноускоренно опускаться вниз. Опираясь на законы механики и молекулярной физики, объясните, куда сдвинется 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.



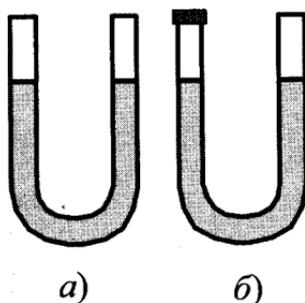
8. На полу неподвижного лифта стоит теплоизолированный сосуд, открытый сверху. В сосуде под тяжелым подвижным поршнем находится одноатомный идеальный газ. Поршень находится в равновесии. Лифт начинает равноускоренно подниматься вверх. Опираясь на законы механики и молекулярной физики, объясните, куда 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.



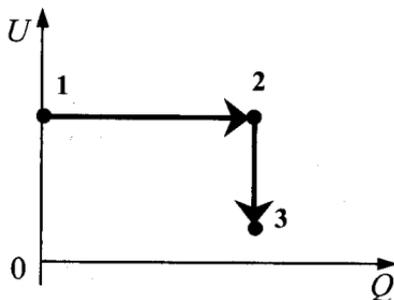
9. В комнате находится открытая сверху U-образная трубка, в которую налита ртуть (рис. а). Левое колено трубки плотно закрывают пробкой (рис. б), после чего температура в комнате увеличивается. Что произойдет с уровнями ртути в коленах трубки? Атмосферное давление считать неизменным. Ответ поясните,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



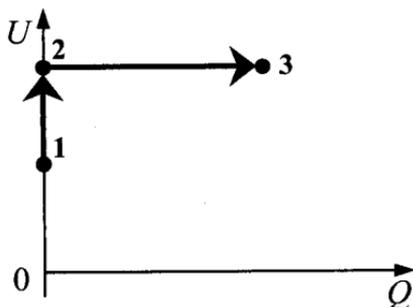
10. В комнате находится открытая сверху U-образная трубка, в которую налита ртуть (рис. а). Левое колено трубки плотно закрывают пробкой (рис. б), после чего температура в комнате уменьшается. Что произойдет с уровнями ртути в коленах трубки? Атмосферное давление считать неизменным. Ответ поясните, указав,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



11. 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.)
12. 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  $2p$ . 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.)
13. 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 объема 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.

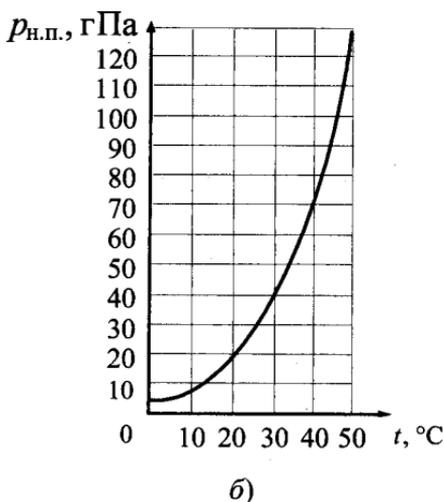
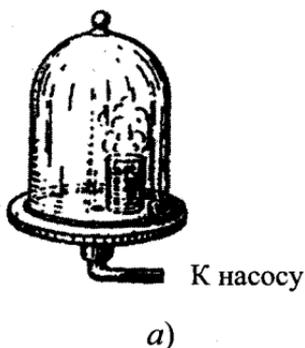


14. В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ. На рисунке показана диаграмма, иллюстрирующая изменение внутренней энергии  $U$  газа и передаваемое ему количество теплоты  $Q$ . Опишите изменение давления газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3.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



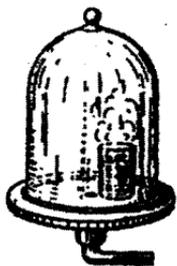
15. Стекланный сосуд, содержащий влажный воздух при  $t_1 = 30^\circ\text{C}$ , плотно закрыли крышкой и нагрели до  $t_2 = 50^\circ\text{C}$ . Опираясь на законы молекулярной физики, объясните, как изменятся при этом парциальное давление водяного пара и относительная влажность воздуха в сосуде.
16. Стекланный сосуд, содержащий влажный воздух при  $50^\circ\text{C}$ , плотно закрыли крышкой и охладили до  $20^\circ\text{C}$ . 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.
17. В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и ее 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.

18. В цилиндрическом сосуде под поршнем длительное время находятся вода и ее пар. Сосуд охлаждают. Объем под поршнем остается неизменным. Как будет меняться при этом масса жидкости в сосуде? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.
19. 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  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.



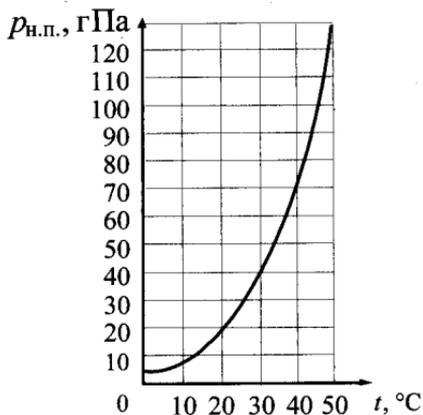
20. В опыте, иллюстрирующем зависимость температуры кипения от давления воздуха (рис. а), кипение воды под колоколом воздушного насоса происходит уже при комнатной температуре, если давление достаточно мало. Используя график зави-

симости 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.



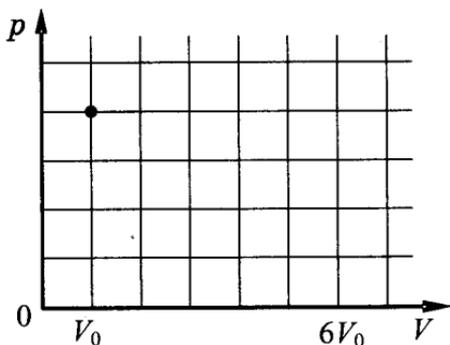
К насосу

а)

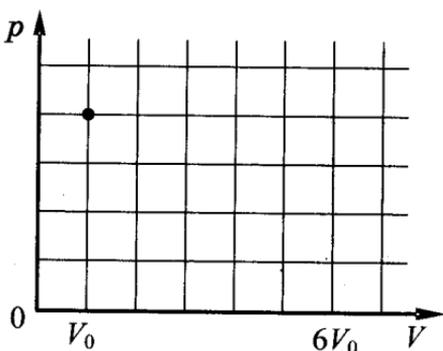


б)

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



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



23. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным металлическим поршнем находится идеальный газ. В первоначальном состоянии 1 поршень опирается на жесткие выступы на внутренней стороне стенок цилиндра (рис. 1), а газ занимает объем  $V_0$  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 объем равен  $2V_0$  (рис. 2). Количество вещества газа при этом не меняется. Постройте график зависимости объема газа от

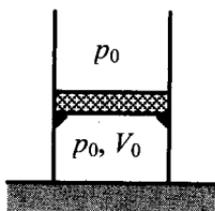


Рис. 1

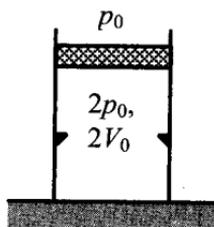
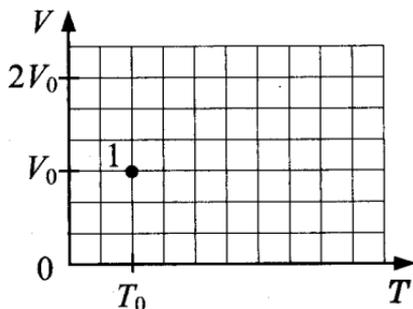


Рис. 2

его температуры при переходе из состояния 1 в состояние 2. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.



24. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным металлическим поршнем находится идеальный газ. В первоначальном состоянии 1 поршень опирается на жесткие выступы на внутренней стороне стенок цилиндра (рис. 1), а газ занимает объем  $V_0$  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 объем равен  $2V_0$  (рис. 2). Количество вещества газа при этом не меняется. Постройте график зависимости давления газа от его объема при переходе из состояния 1 в состояние 2. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности вы использовали для объяснения.

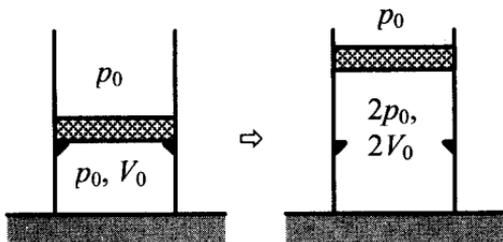
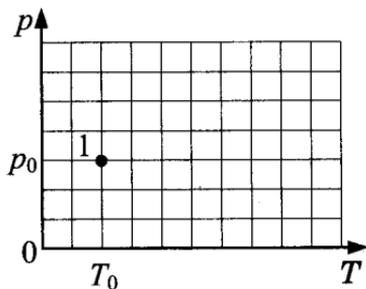
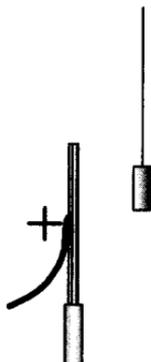


Рис. 1

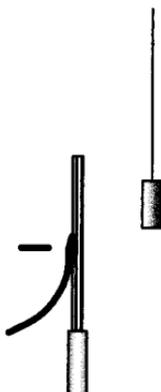
Рис. 2



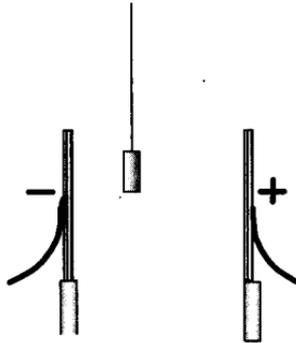
25. Около небольшой металлической пластины, укрепленной на изолирующей подставке, подвесили на шелковой нити легкую металлическую незаряженную гильзу. Когда пластину подсоединили к клемме высоковольтного выпрямителя, подав на нее положительный заряд, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его.



26. Около небольшой металлической пластины, укрепленной на изолирующей подставке, подвесили на шелковой нити легкую металлическую незаряженную гильзу. Когда пластину подсоединили к клемме высоковольтного выпрямителя, подав на нее отрицательный заряд, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его.

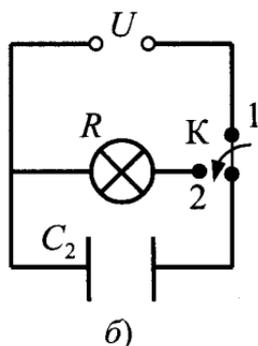
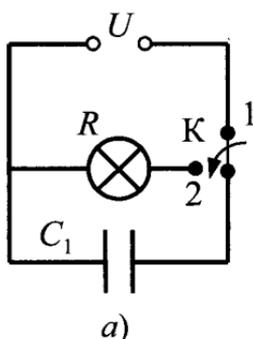


27. Между двумя небольшими металлическими пластинами, укрепленными на изолирующих подставках, подвесили на шелковой нити легкую металлическую незаряженную гильзу (см. рис.). Когда пластины подсоединили к клеммам высоковольтного выпрямителя, подав на них разноименные заряды, гильза пришла в движение. Опишите движение гильзы и объясните его.

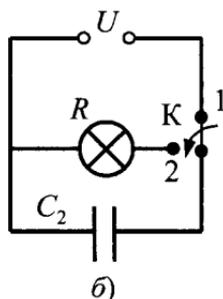
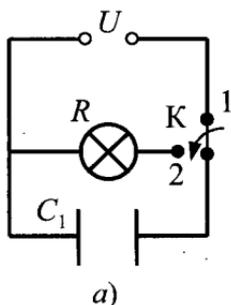


28. Маленький незаряженный шарик, подвешенный на непроводящей нити, помещен над горизонтальной пластиной, равномерно заряженной положительным зарядом. Размеры пластины во много раз превышают длину нити. Опираясь на законы механики и электродинамики, объясните, как изменится частота малых свободных колебаний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

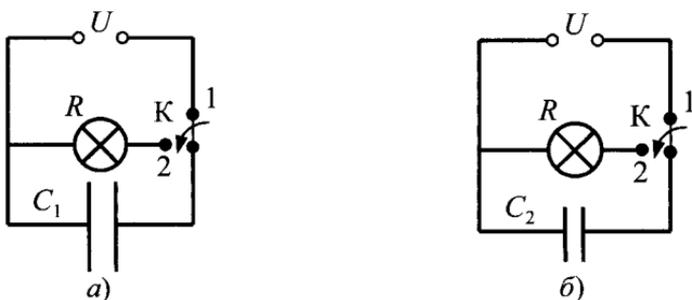
30. Два плоских воздушных конденсатора подключены к одинаковым источникам постоянного напряжения и одинаковым лампам, как показано на рисунках *a* и *б*. Конденсаторы имеют одинаковую площадь пластин, но различаются расстоянием между пластинами. В некоторый момент времени ключи *K* в обеих схемах переводят из положения 1 в положение 2. Опираясь на законы электродинамики, объясните, в каком из приведенных опытов при переключении ключа лампа вспыхнет ярче. Сопротивлением соединяющих проводов пренебречь.



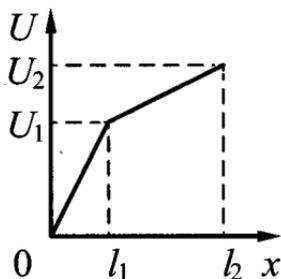
31. Два плоских воздушных конденсатора подключены к одинаковым источникам постоянного напряжения и одинаковым лампам, как показано на рисунках *a* и *б*. Конденсаторы имеют одинаковую площадь пластин, но различаются расстоянием между пластинами. В некоторый момент времени ключи *K* в обеих схемах переводят из положения 1 в положение 2. Опираясь на законы электродинамики, объясните, в каком из приведенных опытов при переключении ключа лампа вспыхнет ярче. Сопротивлением соединяющих проводов пренебречь.



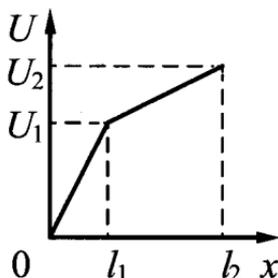
32. Два плоских воздушных конденсатора подключены к одинаковым источникам постоянного напряжения и одинаковым лампам, как показано на рисунках *а* и *б*. Пластины конденсаторов имеют разную площадь, но расстояние между пластинами в конденсаторах одинаковое (см. рис.). В некоторый момент времени ключи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



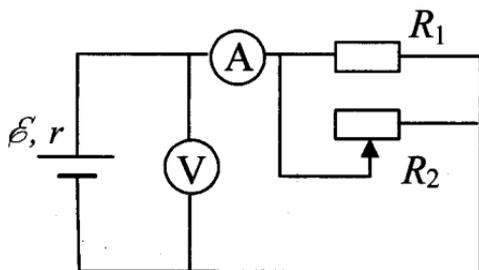
33. Нихромовый проводник длиной  $l = l_2$  включен в цепь постоянного тока. К нему подключают вольтметр таким образом, что одна из клемм вольтметра все время подключена к началу проводника, а вторая может перемещаться вдоль проводника. На рисунке приведена зависимость показаний вольтметра  $U$  от расстояния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



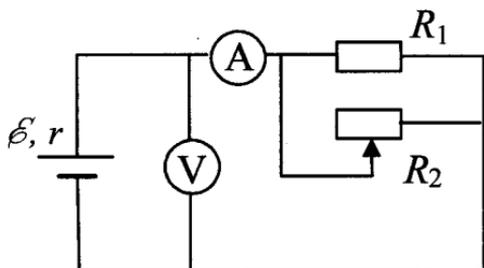
34. Цилиндрический проводник длиной  $l = l_2$  включен в цепь постоянного тока. К нему подключают вольтметр таким образом, что одна из клемм вольтметра все время подключена к началу проводника, а вторая может перемещаться вдоль проводника. На рисунке приведена зависимость показаний вольтметра  $U$ 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



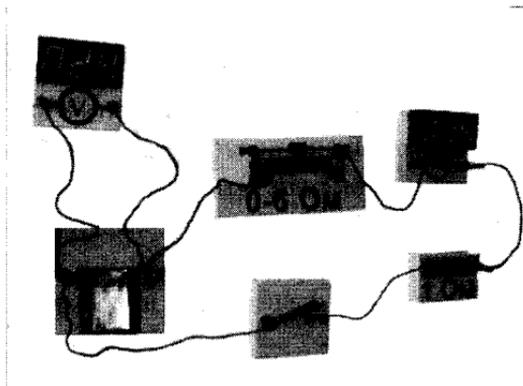
35. На рисунке показана принципиальная схема электрической цепи, состоящей из источника тока с отличным от нуля внутренним сопротивлением, резистора, реостата и измерительных приборов — идеального амперметра и идеального вольтметра. Используя законы постоянного тока, проанализируйте эту схему и выясните,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



36. 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*.

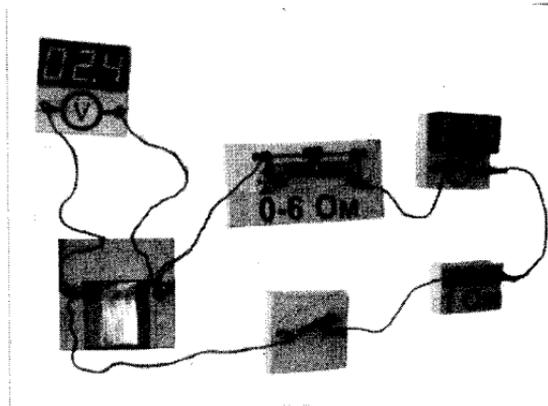


37. На фотографии изображена электрическая цепь, состоящая из резистора, реостата, ключа, цифровых вольтметра, подключенного к батарее, и амперметра.



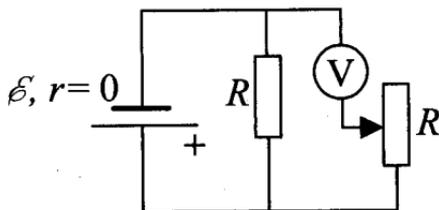
Составьте принципиальную электрическую схему этой цепи. Используя законы постоянного тока, объясните, как изменится (увеличится, уменьшится) сила тока в цепи и напряжение на батарее при перемещении движка реостата в крайнее правое положение.

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

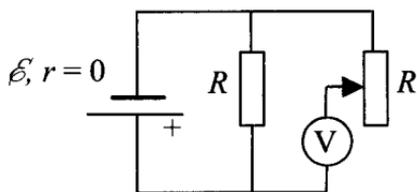


Составьте принципиальную электрическую схему этой цепи и, используя законы постоянного тока, объясните, как изменится (увеличится, уменьшится) сила тока в цепи и напряжение на батарее при перемещении движка реостата в крайнее левое положение.

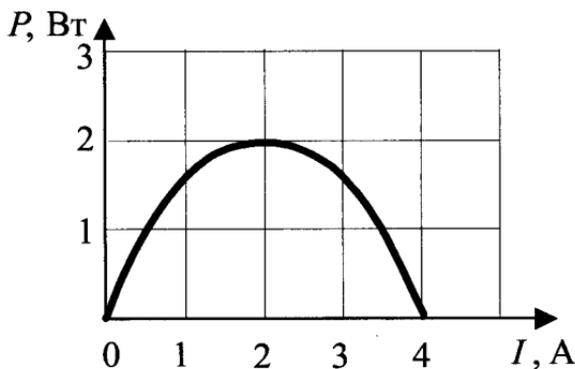
39. В схеме на рисунке сопротивление резистора и полное сопротивление реостата равны  $R$ , ЭДС батарейки равна  $\mathcal{E}$ , ее внутреннее сопротивление ничтожно ( $r = 0$ ). Как ведут себя (увеличиваются, уменьшаются, остаются постоянными) показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата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



40. В схеме на рисунке сопротивление резистора и полное сопротивление реостата равны  $R$ , ЭДС батарейки равна  $\mathcal{E}$ , ее 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.



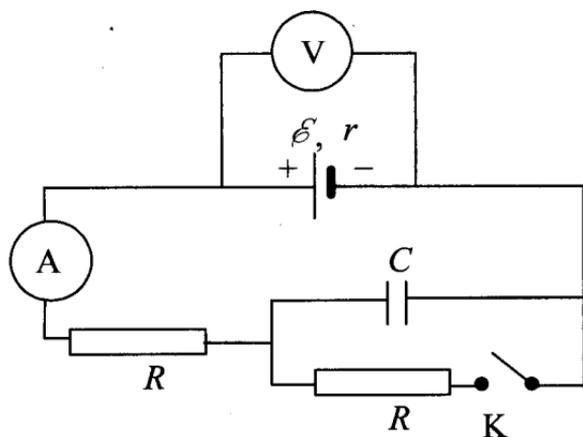
41. Электрическая цепь состоит из батареи с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,5$  Ом и подключенного к ней резистора нагрузки с сопротивлением  $R$ . При изменении сопротивления нагрузки изменяется сила тока в цепи и мощность тока в нагрузке. На рисунке представлен график зависимости 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?

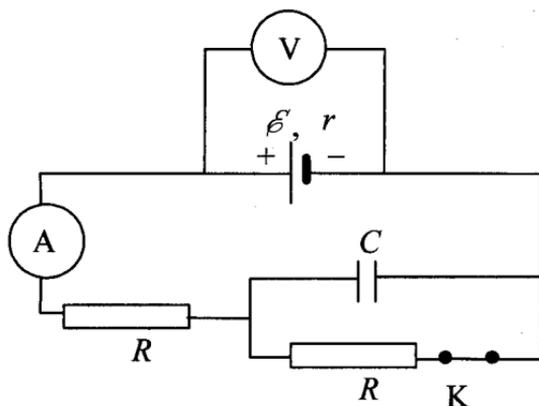
42. Электрическая цепь состоит из батареи с ЭДС  $\mathcal{E} = 2$  В и внутренним сопротивлением  $r = 0,5$  Ом и подключенного к ней резистора нагрузки с сопротивлением  $R$ . При изменении сопротивления нагрузки изменяется сила тока в цепи и мощность тока в нагрузке. Используя известные физические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

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

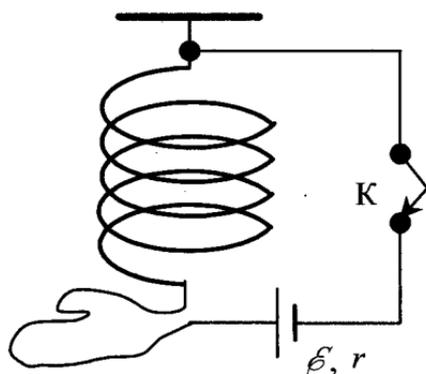


44. На рисунке показана электрическая цепь, содержащая источник тока (с внутренним сопротивлением), два резистора, конденсатор, ключ  $K$ , а также амперметр и идеальный вольтметр. В начальный момент ключ замкнут. Как изменятся показания

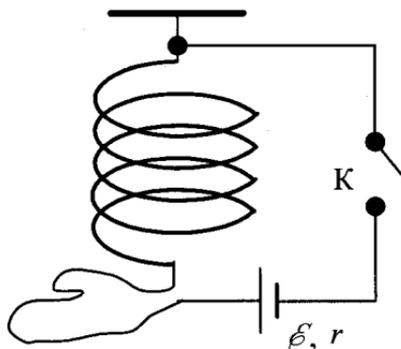
амперметра и вольтметра в результате размыкания ключа К? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.



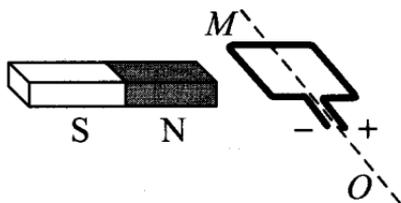
45. Мягкая пружина из нескольких крупных витков провода подвешена к потолку. Верхний конец пружины подключается к источнику тока через ключ К, а нижний — с помощью достаточно длинного мягкого провода (см. рис.). Как изменится длина пружины через достаточно большое время после замыкания ключа К? Ответ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



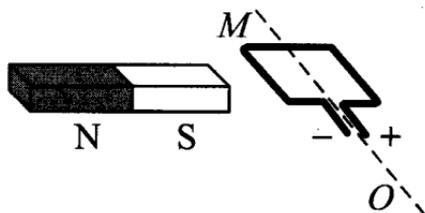
46. Мягкая пружина из нескольких крупных витков провода подвешена к потолку. Верхний конец пружины подключается к источнику тока через ключ  $K$ , а нижний — с помощью достаточно длинного мягкого провода (см. рис.). В начальный момент ключ замкнут. Как изменится длина пружины через достаточно большое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



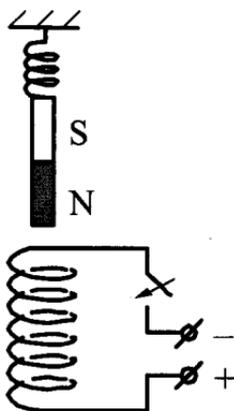
47. Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита (см. рис.). Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Как будет двигаться рамка на неподвижной оси  $MO$ , если рамку не удерживать? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы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



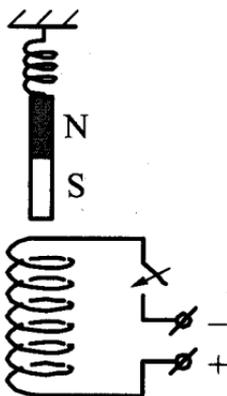
48. Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита (см. рис.). Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Как будет двигаться рамка на неподвижной оси  $MO$ , если рамку не удерживать? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы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



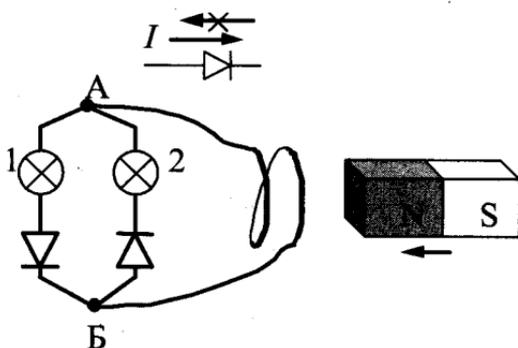
49. Непосредственно над неподвижно закрепленной проволочной катушкой вдоль ее оси на пружине подвешен полосовой магнит (см. рис.). Куда начнет двигаться магнит сразу после замыкания ключа? Ответ поясните, указав, какие физические явления и законы вы использовали для объяснения.



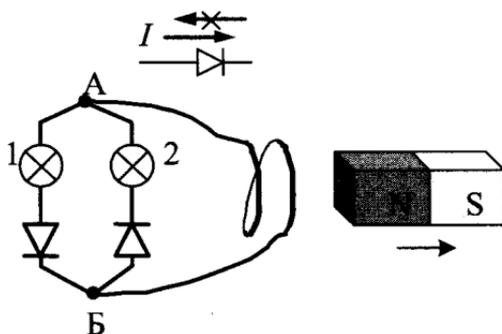
50. Непосредственно над неподвижно закрепленной проволочной катушкой вдоль ее оси на пружине подвешен полосовой магнит (см. рис.). Куда начнет двигаться магнит сразу после замыкания ключа? Ответ поясните, указав, какие физические явления и законы вы использовали для объяснения.



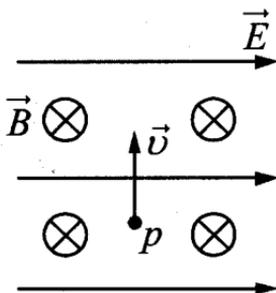
51. Электрическая цепь состоит из двух лампочек, двух диодов и витка провода, соединенных, как показано на рисунке. (Диод пропускает ток только в одном направлении, как показано в верхней части рисунка.) Какая из лампочек загорится, если к витку приближать северный полюс магнита? Ответ объясните, указав,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



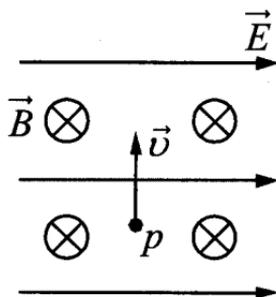
52. Электрическая цепь состоит из двух лампочек, двух диодов и витка провода, соединенных, как показано на рисунке. (Диод пропускает ток только в одном направлении, как показано в верхней части рисунка.) Какая из лампочек загорится, если отодвигать от витка северный полюс магнита? Ответ объясните, указав,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



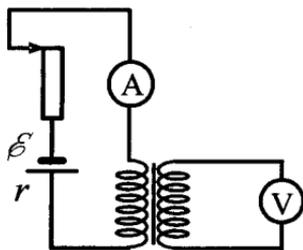
53. В камере, из которой откачан воздух, создали электрическое поле напряженностью  $\vec{E}$  и магнитное поле индукцией  $\vec{B}$ . Поля однородные,  $\vec{E} \perp \vec{B}$ . В камеру влетает протон  $p$ , вектор скорости которого перпендикулярен  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ , как показано на рисунке. Модули напряженности 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.



54. В камере, из которой откачан воздух, создали электрическое поле напряженностью  $\vec{E}$  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 напряженности 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.

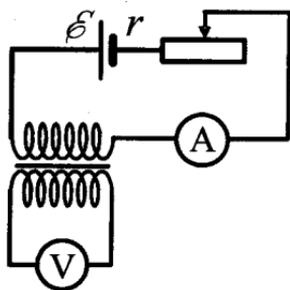


55. На рисунке приведена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра. В начальный момент времени ползунок реостата установлен в крайнее верхнее положение и неподвижен. Опираясь на законы электродинамики, объясните, как будут изменяться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

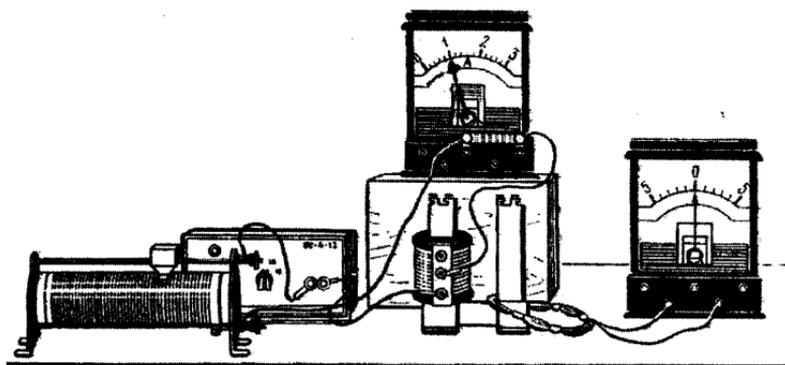


56. На рисунке приведена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра. В начальный момент времени ползунок реостата

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  $\mathcal{E}$ .

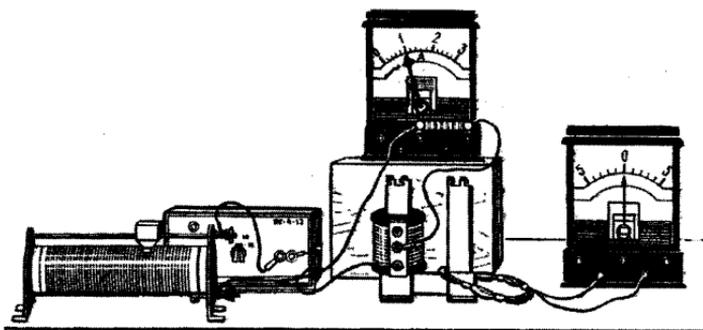


57. На рисунке изображены две изолированные друг от друга электрические цепи. Первая содержит последовательно соединенные источник тока, реостат, катушку индуктивности и амперметр, а вторая — проволочный моток, к концам которого присоединен гальванометр, изображенный на рисунке справа. Катушка и моток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



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

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



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

59. Намагниченный стальной стержень начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью из положения, изображенного на рис. 1. Пролетая сквозь закрепленное проволочное кольцо, стержень создает в нем электрический ток, сила которого изменяется со временем так, как показано на рис. 2.

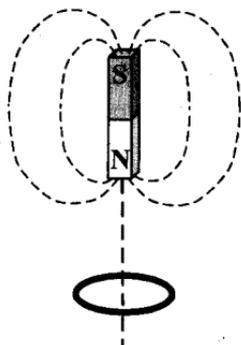


Рис. 1

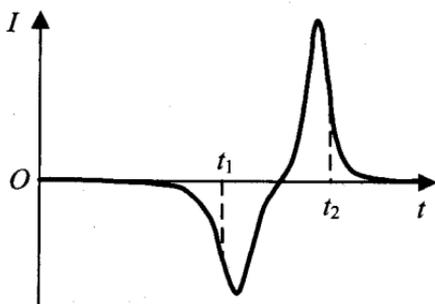


Рис. 2

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.

60. Намагниченный стальной стержень начинает свободное падение с нулевой начальной скоростью из положения, изображенного на рис. 1. Пролетая сквозь закрепленное проволочное кольцо, стержень создает в нем электрический ток, сила которого изменяется со временем так, как показано на рис. 2.

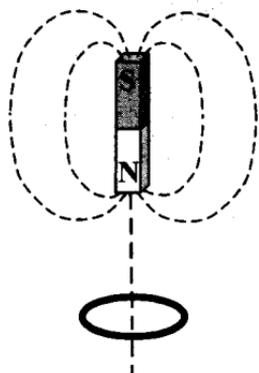


Рис. 1

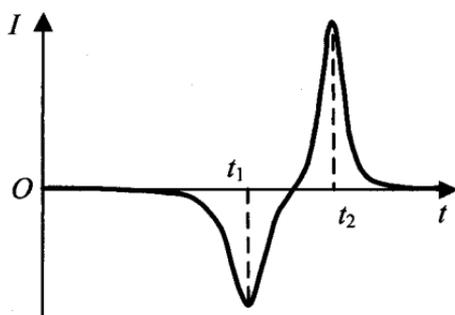


Рис. 2

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.

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

62. К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение гармонически меняется с частотой  $\nu$ . Индуктивность  $L$  катушки колебательного контура можно плавно менять от максимального значения  $L_{\max}$  до минимального  $L_{\min}$ , а емкость его конденсатора постоянна. Ученик постепенно уменьшал индуктивность катушки от максимального значения до минимального и обнаружил, что амплитуда силы тока в контуре все время возрастала. Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.
63. Тонкая линза  $L$  дает четкое действительное изображение предмета  $AB$  на экране  $\mathcal{E}$  (рис. 1). Что произойдет с изображением предмета на экране, если верхнюю половину линзы закрыть куском черного картона  $K$  (рис. 2)? Постройте изображение предмета в обоих случаях. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

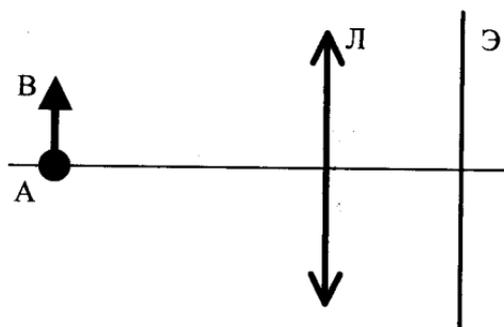


Рис. 1

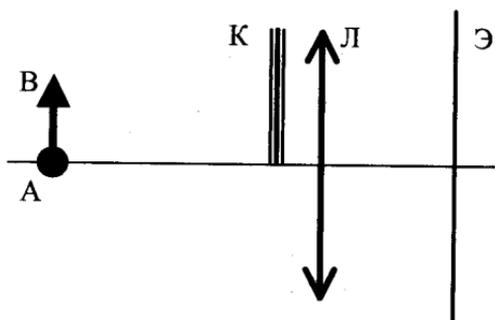


Рис. 2

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

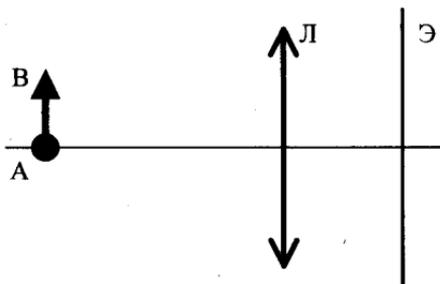


Рис. 1

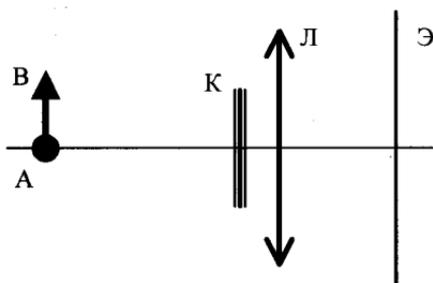


Рис. 2

65. При изучении давления света проведены два опыта с одним и тем же лазером. В первом опыте свет лазера направляется на пластинку, покрытую сажой, 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.

66. На площадку падает зеленый 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.

# ОТВЕТЫ

## 1. Механика

### 1.1. Задачи с кратким ответом

- |                           |                             |                            |                          |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1. 5 м/с.                 | 2. 5 м/с <sup>2</sup> .     | 3. 15 м/с.                 | 4. 3 с.                  |
| 5. 10 м/с.                | 6. 150 м.                   | 7. 30 м/с.                 | 8. 20 м/с.               |
| 9. 4 км.                  | 10. 100 м.                  | 11. 10 с.                  | 12. 20 м/с.              |
| 13. 2 м/с <sup>2</sup> .  | 14. 2,5 м/с <sup>2</sup> .  | 15. 150 м.                 | 16. 11 м/с.              |
| 17. 2 м/с <sup>2</sup> .  | 18. 25 м/с.                 | 19. 4 с.                   | 20. 15 м/с.              |
| 21. 0 м/с.                | 22. 10 м.                   | 23. 15 м.                  | 24. 4 с.                 |
| 25. 3 с.                  | 26. 20 м/с.                 | 27. 5 м.                   | 28. 10 м/с.              |
| 29. 10 м/с.               | 30. 1 с.                    | 31. 10 м/с.                | 32. 500 м.               |
| 33. 10 с.                 | 34. 0 кг·м/с.               | 35. 0 Дж.                  | 36. 4 м/с <sup>2</sup> . |
| 37. 1 м/с <sup>2</sup> .  | 38. 4,5 м/с <sup>2</sup> .  | 39. 1000 Н.                | 40. 1000 Н.              |
| 41. 3,4 км/с.             | 42. 4 м/с <sup>2</sup> .    | 43. 3400 км.               | 44. 2 м/с <sup>2</sup> . |
| 45. 1 м/с <sup>2</sup> .  | 46. 4.                      | 47. 4 см.                  | 48. 18 см.               |
| 49. 6 м/с.                | 50. 81 м.                   | 51. 9 Н.                   | 52. 0,4.                 |
| 53. 2 кг.                 | 54. 2 Н.                    | 55. 0,2.                   | 56. 6 Н.                 |
| 57. 10 Н.                 | 58. 16 Н.                   | 59. 0 м/с <sup>2</sup> .   | 60. 0,4.                 |
| 61. 25 м/с <sup>2</sup> . | 62. 2 м/с <sup>2</sup> .    | 63. 300 г.                 | 64. 3 кг.                |
| 65. 0,25 кг.              | 66. 0,1.                    | 67. 1,6 м/с <sup>2</sup> . | 68. 0,8 кг.              |
| 69. 2,7 Н.                | 70. 1 м/с <sup>2</sup> .    | 71. 4 м/с <sup>2</sup> .   | 72. 6 Н.                 |
| 73. 4 Н.                  | 74. 2 кг.                   | 75. 12 Н.                  | 76. 0,6 кг.              |
| 77. 0,3 кг.               | 78. 0,6 Н.                  | 79. 0,3 Н.                 | 80. 1 Н.                 |
| 81. 15 Н.                 | 82. 5 Н.                    | 83. 2 Н.                   | 84. 200 г.               |
| 85. 30 кг.                | 86. 1 м.                    | 87. 4 м.                   | 88. 120 кг.              |
| 89. 26 см.                | 90. 700 кг/м <sup>3</sup> . | 91. 0,7.                   | 92. 28 см.               |

- |                  |                  |               |                            |
|------------------|------------------|---------------|----------------------------|
| 93. 4 м/с.       | 94. 50 кг.       | 95. 0,4 м/с.  | 96. 200 кг.                |
| 97. 1 м/с.       | 98. 20 кг·м/с.   | 99. 1,5.      | 100. 0,75.                 |
| 101. 1.          | 102. 100 м/с.    | 103. 4 м/с.   | 104. 50 кг.                |
| 105. 60°.        | 106. 1 кг.       | 107. 2000.    | 108. 2000.                 |
| 109. 10 г.       | 110. 100 г.      | 111. 1150 Дж. | 112. 25 Дж.                |
| 113. 1200 Вт.    | 114. 50 Вт.      | 115. 20 с.    | 116. 80 %.                 |
| 117. 0,5 Дж.     | 118. 0,1 кг.     | 119. 0,5 Дж.  | 120. 4 Дж.                 |
| 121. 0,5 кг·м/с. | 122. 0,5 Дж.     | 123. 40 мДж.  | 124. 2 см.                 |
| 125. 10 м.       | 126. 10 м.       | 127. 30 Н.    | 128. 6,8 Дж.               |
| 129. 4 Дж.       | 130. 0,2 Дж.     | 131. 0 Дж.    | 132. 20 Дж.                |
| 133. 15 Дж.      | 134. 60 Н.       | 135. 6 м.     | 136. 10 м/с <sup>2</sup> . |
| 137. 60°.        | 138. 32 Дж.      | 139. 200 г.   | 140. 4 м.                  |
| 141. 40 кг.      | 142. 1600 Н/м.   | 143. 5 см.    | 144. 208 Н.                |
| 145. 5 см.       | 146. 50 м.       | 147. 20 м/с.  | 148. 15 м/с.               |
| 149. 10 м.       | 150. 1 Дж.       | 151. 1 м.     | 152. 0,1 м.                |
| 153. 0,5 кг.     | 154. 40 м.       | 155. 20 м/с.  | 156. 1000 Н/м.             |
| 157. 1 см.       | 158. 40 см.      | 159. 20 м/с.  | 160. 81 г.                 |
| 161. 81 г.       | 162. 0,3 Дж.     | 163. 0,1 кг.  | 164. 750 Н.                |
| 165. 75 %.       | 166. 0,4 кг.     | 167. 2 м/с.   | 168. 1 м/с.                |
| 169. 0,4 м/с.    | 170. 0,5 кг·м/с. | 171. 5 см.    |                            |

## 1.2. Задания с развернутым ответом

### 1. *Возможное решение.*

Ускорение на прямолинейном участке определяется по формуле  $a_1 = \frac{v}{t_1}$ , где  $v$  — скорость в точке В, а  $t_1$  — время движе-

ния по прямолинейному участку. Ускорение при движении по дуге окружности есть центростремительное ускорение и определяется по формуле  $a_2 = \frac{v^2}{R}$ , где  $R$  — радиус полуокружно-

сти. С учетом того, что  $v = \frac{\pi R}{t_2}$ , получим  $a_2 = \frac{v \pi}{t_2}$ . Прирав-

нивая выражения для ускорений, получим  $\frac{v}{t_1} = \frac{v \pi}{t_2}$ , откуда для

искомое отношения имеем  $\frac{t_2}{t_1} = \pi$ .

*Ответ:*  $\frac{t_2}{t_1} = \pi$ .

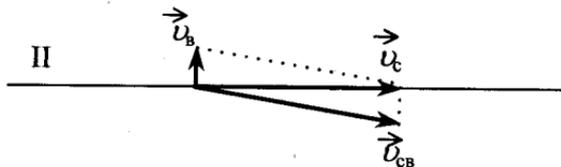
### 2. *Ответ:* $\frac{t_2}{t_1} = \frac{\pi}{2}$ .

### 3. *Возможное решение.*

Уравнение движения для перелета в первом случае:  $s = v_{\text{св}} t_1$ , где  $v_{\text{св}}$  — скорость самолета относительно воздуха.



Закон сложения скоростей в векторном виде для перелета во время ветра:  $\vec{v}_c = \vec{v}_{\text{св}} + \vec{v}_в$ , где  $\vec{v}_c$  — скорость самолета относительно Земли,  $\vec{v}_в$  — скорость ветра.



Выражение для скорости самолета относительно Земли во втором случае имеет вид:  $v_c = \sqrt{v_{CB}^2 - v_B^2}$ .

Тогда уравнение движения для перелета во втором случае:

$$s = v_c t_2 = \sqrt{v_{CB}^2 - v_B^2} \cdot t_2.$$

Следовательно,  $v_{CB} t_1 = \sqrt{v_{CB}^2 - v_B^2} \cdot t_2$ , Отсюда:  $v_B = \frac{v_{CB} \sqrt{t_2^2 - t_1^2}}{t_2}$ .

Ответ:  $v_B = 72 \text{ км/ч} = 20 \text{ м/с}$ .

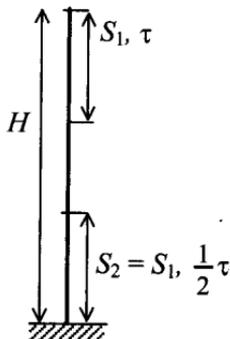
4. Ответ:  $v_{CB} = \frac{v_B t_2}{\sqrt{t_2^2 - t_1^2}} = 328 \text{ км/ч}$ .

5. *Возможное решение.*

Если  $t$  — полное время падения с высоты  $H$ , то

$$\begin{cases} H = \frac{gt^2}{2}; \\ S_1 = \frac{g\tau^2}{2}. \end{cases} \Rightarrow H - S_2 = H - S_1 = \frac{g\left(t - \frac{1}{2}\tau\right)^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{gt^2}{2} - \frac{g\tau^2}{2} = \frac{g\left(t - \frac{1}{2}\tau\right)^2}{2} \Rightarrow t^2 - \tau^2 = \left(t - \frac{1}{2}\tau\right)^2 \Rightarrow t = \frac{5\tau}{4}.$$



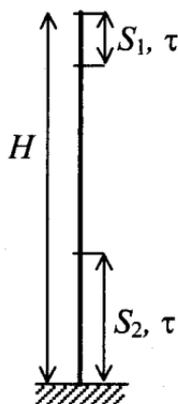
Ответ:  $t = 1,25 \text{ с}$ .

6. *Возможное решение.*

Если  $t$  — полное время падения с высоты  $H$ , то

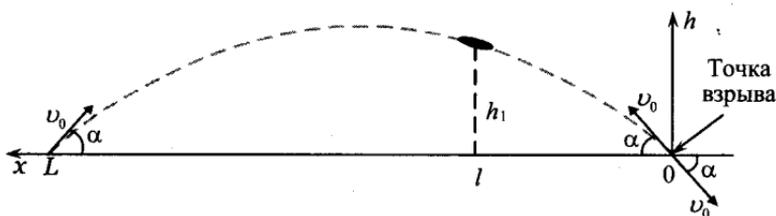
$$\begin{cases} H = \frac{gt^2}{2}; \\ S_1 = \frac{g\tau^2}{2}. \end{cases} \Rightarrow H - S_2 = H - nS_1 = \frac{g(t-\tau)^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{gt^2}{2} - n\frac{g\tau^2}{2} = \frac{g(t-\tau)^2}{2} \Rightarrow t = \frac{(n+1)\tau}{2}.$$



Ответ:  $t = 3$  с.

7. *Возможное решение.*



При отсутствии сопротивления воздуха траектория снаряда — парабола, и в точке падения на Землю снаряд должен иметь ту же по модулю скорость  $v_0$ , составляющую с горизонталью тот же угол  $\alpha$ , что и в точке вылета. Поэтому если из точки взрыва выпустить воображаемый снаряд обратно со скоростью  $\vec{v}_0$ , направленной под углом  $\alpha$  к горизонту, то он полетит по той же траектории и упадет на пушку (см. рис.).

Проведем горизонтальную ось  $Ox$  с началом в точке взрыва, направленную к пушке. На этой оси координата точки, где снаряд был обнаружен,  $l = 1700$  м, а по вертикальной оси ее координата  $h = h_1$ . Время полета до этой точки  $t_1 = 3$  с. Согласно формулам кинематики имеем:

$$l = v_0 t_1 \cos \alpha; \quad (1)$$

$$h_1 = v_0 t_1 \sin \alpha - \frac{1}{2} g t_1^2. \quad (2)$$

Из уравнения (1) находим:  $v_0 = \frac{l}{t_1 \cos \alpha}$ . Подставив это выра-

жение в уравнение (2), получаем:

$$h_1 = \frac{l \sin \alpha}{t_1 \cos \alpha} \cdot t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 = l \operatorname{tg} \alpha - \frac{1}{2} g t_1^2.$$

$$\text{Отсюда: } \operatorname{tg} \alpha = \frac{h_1 + \frac{1}{2} g t_1^2}{l} = \frac{1655 + 5 \cdot 9}{1700} = 1; \alpha = 45^\circ.$$

Время  $\tau$  полета снаряда находим из уравнения

$$h = v_0 t \sin \alpha - \frac{1}{2} g t^2.$$

При  $t = \tau$   $h = 0$ .

$$\text{Следовательно, } 0 = v_0 \sin \alpha - \frac{1}{2} g \tau, \quad \tau = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2 \cdot l}{g t_1} \approx 113 \text{ с.}$$

Ответ:  $\tau \approx 113$  с.

8. Ответ:  $\tau = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2 \cdot 800}{10\sqrt{2}} \approx 114$  с;  $L = v_0 \tau \cos \alpha \approx 64000$  м.

9. *Возможное решение* (рисунок не обязателен).

Уравнения движения шарика имеют вид:

$$x = v_0 \sin \alpha \cdot t + \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2}, \quad y = v_0 \cos \alpha \cdot t + \frac{g \cos \alpha \cdot t^2}{2}.$$

В момент второго соударения шарика с плоскостью  $x = S$ ,

$$y = 0, \Rightarrow \begin{cases} S = v_0 \sin \alpha \cdot t + \frac{g \sin \alpha \cdot t^2}{2} & (1) \\ 0 = v_0 \cos \alpha \cdot t + \frac{g \cos \alpha \cdot t^2}{2} & (2) \end{cases}$$

Совместное решение (1) и (2) приводит к  $t = \frac{2v_0}{g}$  и

$$S = \frac{4v_0^2 \sin \alpha}{g}.$$

$$L = S \cos \alpha = \frac{2v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \approx 0,173 \text{ м.}$$

Ответ:  $L \approx 0,173 \text{ м.}$

10. Ответ:  $v = \sqrt{\frac{Lg}{2 \sin 2\alpha}} \approx 1 \text{ м/с.}$

11. *Возможное решение.*

Выбор системы координат: ось  $x$  направлена по прямой АВ, ось  $y$  — вверх по наклонной плоскости перпендикулярно линии АВ (см. рис.).

Проекция вектора ускорения свободного падения  $\vec{g}$ :

$$g_x = 0, g_y = -g \sin \alpha$$

Кинематика движения по наклонной плоскости эквивалентна кинематике движения тела, брошенного под углом  $\beta$  к горизонту, в поле тяжести с ускорением  $g \sin \alpha$ .

Запишем зависимости от времени  $t$  для проекций скорости тела и его радиуса-вектора на оси  $x$  и  $y$  (в известных уравнениях для тела, брошенного под углом  $\beta$  к горизонту, делается замена  $g \rightarrow g \sin \alpha$ ):

$$v_x(t) = v_0 \cos \beta; \quad x(t) = v_0 \cos \beta \cdot t;$$

$$v_y(t) = v_0 \sin \beta - g \sin \alpha \cdot t; \quad y(t) = v_0 \sin \beta \cdot t - \frac{g \sin \alpha}{2} t^2.$$

Условие  $v_y = 0$  позволяет найти время подъема, а затем максимальное удаление  $l$  от прямой АВ на наклонной плоскости:

$$l = \frac{v_0^2 \sin^2 \beta}{2g \sin \alpha} = 0,3 \text{ м.}$$

12. Ответ:  $AB = \frac{2v_0^2 \sin \beta \cos \beta}{g \sin \alpha} = \frac{2\sqrt{3}}{5} \text{ м.}$

13. *Возможное решение.*

$$T = \frac{2\pi R}{v}, \text{ значит, } \frac{T_{\Pi}}{T_3} = \frac{\frac{2\pi R_{\Pi}}{v_{\Pi}}}{\frac{2\pi R_3}{v_3}} = \frac{R_{\Pi} \cdot v_3}{R_3 \cdot v_{\Pi}} = \frac{R_{\Pi}}{2R_3}$$

Спутники движутся по окружностям под действием силы тяготения

$$G \frac{M_{\Pi} \cdot m}{R_{\Pi}^2} = m \frac{v_{\Pi}^2}{R_{\Pi}} \text{ и } G \frac{M_3 \cdot m}{R_3^2} = m \frac{v_3^2}{R_3},$$

где  $M_{\Pi}$ ,  $M_3$  и  $m$  — соответственно, массы Плюка, Земли и спутника.

Отсюда  $R_{\Pi} = \frac{GM_{\Pi}}{v_{\Pi}^2}$  и  $R_3 = \frac{GM_3}{v_3^2}$ . Массы планет  $M_{\Pi} = \rho_{\Pi} \cdot V_{\Pi}$ ,

$$M_3 = \rho_3 \cdot V_3. \text{ При этом } V \sim R^3. \text{ Следовательно, } \frac{v_{\Pi}}{v_3} = \sqrt{\frac{\rho_{\Pi} R_{\Pi}^2}{\rho_3 R_3^2}},$$

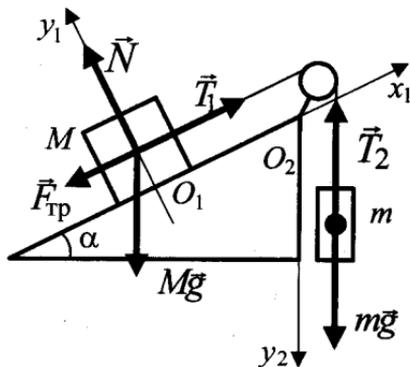
так как плотности равны,  $\frac{v_{\Pi}}{v_3} = \frac{R_{\Pi}}{R_3} = 2 \Rightarrow \frac{T_{\Pi}}{T_3} = 1$ .

Ответ:  $\frac{T_{\Pi}}{T_3} = 1$ .

14. Ответ:  $\frac{v_{\Pi}}{v_3} = \frac{R_{\Pi}}{R_3} = 2$ .

15. *Возможное решение.*

1. Если масса  $m$  достаточно велика, но грузы еще покоятся, то сила трения покоя, действующая на груз массой  $M$ , направлена вниз вдоль наклонной плоскости (см. рис.).



2. Будем считать систему отсчета, связанную с наклонной плоскостью, инерциальной. Запишем второй закон Ньютона для каждого из покоящихся тел в проекциях на оси введенной системы координат:

$$\left. \begin{aligned} O_1x_1: T_1 - Mgs\sin\alpha - F_{\text{тр}} &= 0 \\ O_1y_1: N - Mgc\cos\alpha &= 0 \\ O_2y_2: mg - T_2 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Учтем, что

$T_1 = T_2 = T$  (нить легкая, между блоком и нитью трения нет),

$F_{\text{тр}} \leq \mu N$  (сила трения покоя).

Тогда

$$T = mg,$$

$$F_{\text{тр}} = mg - Mgs\sin\alpha,$$

$$N = Mgc\cos\alpha,$$

и мы приходим к неравенству

$$mg - Mgs\sin\alpha \leq \mu Mgc\cos\alpha$$

с решением

$$m \leq M(\sin\alpha + \mu\cos\alpha).$$

Таким образом,

$$m_{\text{max}} = M(\sin\alpha + \mu\cos\alpha) \approx 0,76 \text{ кг.}$$

Ответ:  $m_{\text{max}} \approx 0,76 \text{ кг.}$

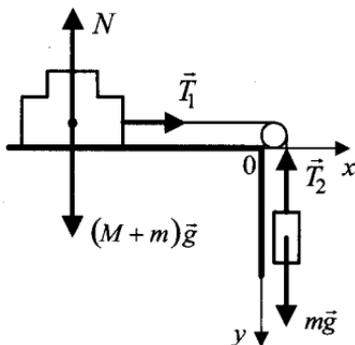
16. Ответ:  $M_{\text{min}} = \frac{m}{\sin\alpha + \mu\cos\alpha} \approx 1,49 \text{ кг.}$

17. *Возможное решение.*

1. Пока грузы  $M$  и  $m_1$  движутся как одно целое, будем считать их одним телом  $M + m$  сложной формы. На рисунке показаны внешние силы, действующие на это тело и на груз  $m_2$ .

2. Будем считать систему отсчета, связанную со столом, инерциальной. Запишем второй закон Ньютона для каждого из

тел в проекциях на оси  $Ox$  и  $Oy$  введенной системы координат:



$$\left. \begin{aligned} O_x: (M+m)a_1 &= T_1 \\ O_y: ma_2 &= mg - T_2 \end{aligned} \right\}$$

Учтем, что

$T_1 = T_2 = T$  (нить легкая, скользит по блоку без трения),

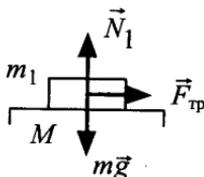
$a_1 = a_2 = a$  (нить нерастяжима), и сложим уравнения.

Получим:

$$(M+2m)a = mg, \text{ откуда } a = g \frac{m}{M+2m}.$$

3. Рассмотрим груз  $m_1$  отдельно. Запишем для него второй закон Ньютона в проекциях на оси  $Ox$  и  $Oy$  и учтем, что груз  $m_1$  покоится относительно груза  $M$ :

$$\left. \begin{aligned} O_x: ma &= F_{\text{тр}} \\ O_y: mg - N_1 &= 0 \\ F_{\text{тр}} &\leq \mu N_1 \end{aligned} \right\}$$



Получим:

$$ma \leq \mu N_1 = \mu mg, \text{ откуда } a = g \frac{m}{M+2m} \leq \mu g.$$

Решая неравенство  $\frac{m}{M+2m} \leq \mu$  относительно  $m$ , получим:

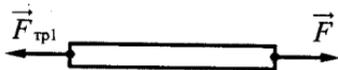
$$m \leq \frac{\mu M}{1-2\mu} = 0,4 \text{ кг.}$$

Ответ: при  $m \leq 0,4$  кг.

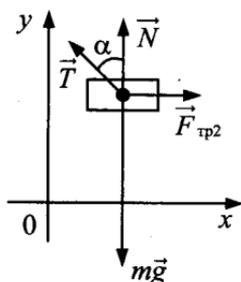
18. Ответ:  $M \geq \frac{m(1-2\mu)}{\mu} = 1,5$  кг.

19. *Возможное решение.*

1. Систему отсчета, связанную с Землей, будем считать инерциальной. Относительно нее доска по условию движется поступательно с постоянной скоростью. Поэтому, в частности, сумма горизонтальных сил  $\vec{F}$  и  $\vec{F}_{\text{тр}1}$ , приложенных к доске, равна нулю. Отсюда получаем:  $F = F_{\text{тр}1}$ .



2. На рисунке справа показаны силы, приложенные к бруску. По третьему закону Ньютона  $\vec{F}_{\text{тр}2} = -\vec{F}_{\text{тр}1}$ , поэтому

$$F_{\text{тр}2} = F_{\text{тр}1} = F. \quad (1)$$


3. По условию задачи брусок покоится, поэтому выполнено условие его равновесия относительно поступательного движения. Запишем это условие в проекциях на оси системы координат:

$$\begin{cases} F_{\text{тр}2} - T \sin \alpha = 0, \\ N + T \cos \alpha - mg = 0. \end{cases} \quad (2)$$

4. Доска движется относительно стержня, поэтому

$$F_{\text{тр}2} = \mu N. \quad (3)$$

5. Подставив (3) в (2), преобразуем систему уравнений (2) к виду:

$$\begin{cases} \mu N = T \sin \alpha, \\ mg - N = T \cos \alpha. \end{cases} \quad (4)$$

Поделив уравнения системы (4) одно на другое, получаем:

$$\frac{\mu N}{mg - N} = \text{tg} \alpha.$$

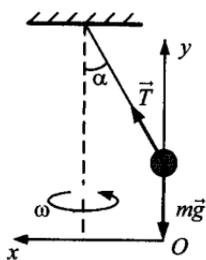
Отсюда: 
$$N = \frac{mg \text{ tg } \alpha}{\mu + \text{tg } \alpha},$$

$$F = F_{\text{тр}2} = \mu N = \frac{\mu mg \text{ tg } \alpha}{\mu + \text{tg } \alpha} = \frac{0,2 \cdot 1 \cdot 10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{3}}{0,2 + \frac{\sqrt{3}}{3}} \approx 1,5 \text{ Н.}$$

Ответ:  $F \approx 1,5 \text{ Н.}$

20. Ответ:  $m \approx 1 \text{ кг.}$

21. *Возможное решение.*



На груз действуют сила натяжения нити  $\vec{T}$  и сила тяжести  $m\vec{g}$ , как указано на рисунке. В инерциальной системе отсчета, связанной с Землей, ускорение тела определяется вторым законом Ньютона, что приводит к уравнениям для проекций сил и ускорений на оси  $OX$  и  $OY$ :

$$ma_x = T \sin \alpha, \quad 0 = T \cos \alpha - mg.$$

Здесь  $a_x = \frac{v^2}{l \sin \alpha}$  — центростремительное ускорение.

Поскольку  $\alpha = 60^\circ$ , то  $\cos \alpha = \frac{1}{2}$ , и из второго уравнения

$T = 2mg$ . Тогда из первого уравнения получим:

$$\frac{v^2}{l \sin \alpha} = 2g \sin \alpha, \quad \text{следовательно, } v = \sqrt{2gl \sin^2 \alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}gl}.$$

Подставляя значения физических величин, получим  $v = 1,5$  м/с.

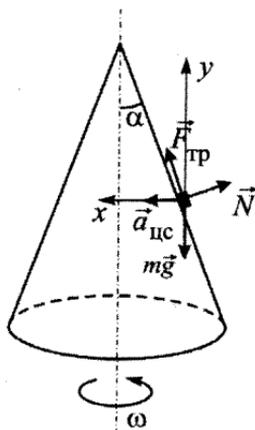
*Ответ:*  $v = 1,5$  м/с.

22. *Ответ:*  $l = \frac{g}{\omega^2 \cos \alpha} = 0,8$  м.

23. *Возможное решение.*

В инерциальной системе отсчета, связанной с Землей, запишем уравнение движения шайбы в векторном виде:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}_{\text{цс}}.$$



В проекциях на оси  $OX$  и  $OY$  получим:

$$\begin{cases} F_{\text{тр}} \sin \alpha - N \cos \alpha = ma_{\text{ис}}, \\ F_{\text{тр}} \cos \alpha + N \sin \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Поскольку  $F_{\text{тр}} = F_{\text{тр.покоя}}$ ;  $F_{\text{тр.макс}} = \mu N$ , система уравнений при-

нимает вид  $\begin{cases} N(\mu \sin \alpha - \cos \alpha) = ma_{\text{ис}}, \\ N(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - mg = 0, \end{cases}$  откуда

$$a_{\text{ис}} = \frac{g(\mu \sin \alpha - \cos \alpha)}{\mu \cos \alpha + \sin \alpha}. \text{ Но } a_{\text{ис}} = \omega^2 r = \omega^2 L \sin \alpha.$$

Следовательно,

$$L = \frac{a_{\text{ис}}}{\omega^2 \sin \alpha} = \frac{g(\mu \sin \alpha - \cos \alpha)}{\omega^2 (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \sin \alpha} = \frac{g(\mu - \text{ctg} \alpha)}{\omega^2 (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}.$$

24. *Ответ:*  $\omega = \sqrt{\frac{g(\mu - \text{ctg} \alpha)}{L(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}}.$

25. *Возможное решение.*

Шарик и жидкости неподвижны в ИСО, связанной с Землей. В этом случае, как следует из второго закона Ньютона, сила Архимеда, действующая на шарик, уравнивает действующую на него силу тяжести:  $\rho_1 V_1 g + \rho_2 V_2 g = \rho (V_1 + V_2) g$  (здесь  $V_1$  и  $V_2$  — соответственно объемы шарика, находящиеся выше и ниже границы раздела). Отсюда:

$$\rho_1 \frac{V_1}{V_1 + V_2} + \rho_2 \frac{V_2}{V_1 + V_2} = \rho. \quad (1)$$

Доли объема шарика, находящиеся выше и ниже границы раздела жидкостей, связаны соотношением

$$\frac{V_1}{V_1 + V_2} + \frac{V_2}{V_1 + V_2} = 1. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1)–(2), получаем:

$$\frac{V_1}{V_1 + V_2} = \frac{\rho_2 - \rho}{\rho_2 - \rho_1}.$$

По условию задачи  $\frac{V_1}{V_1 + V_2} = \frac{1}{4}$ , так что  $\frac{\rho_2 - \rho}{\rho_2 - \rho_1} = \frac{1}{4}$ , откуда

$$\rho = \frac{1}{4}(\rho_1 + 3\rho_2) = \frac{7}{4}\rho_1 = 700 \text{ кг/м}^3.$$

*Ответ:*  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3.$

26. Ответ:  $\rho = \frac{1}{3}(\rho_1 + 2\rho_2) = \frac{7}{3}\rho_1 = 2100 \text{ кг/м}^3$ .

27. *Возможное решение.*

С помощью второго закона Ньютона выразим силу натяжения нити  $T_1$  до погружения системы в жидкость:

$$mg - T_1 = 0. \quad (1)$$

То же — для случая, когда система погружена в жидкость, с учетом силы Архимеда:

$$mg - T_2 - \rho Vg = 0. \quad (2)$$

Теперь с помощью уравнений (1)–(2) можно найти изменение силы натяжения нити:  $\Delta T = T_2 - T_1 = -\rho Vg$ .

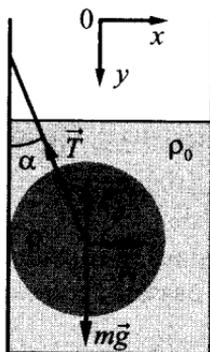
Ответ:  $\Delta T = -\rho Vg$ .

28. Ответ:  $\rho = \Delta T/Vg$ .

29. *Возможное решение.*

Систему отсчета, связанную с Землей, считаем инерциальной.

Запишем второй закон Ньютона:  $\vec{T} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_A = 0$ .



Поскольку трение шара о стенку отсутствует, линия действия силы натяжения нити будет проходить через центр шара.

В проекциях на оси  $Ox$  и  $Oy$  второй закон Ньютона запишем в виде:

$$Ox: N - T \sin \alpha = 0; \quad (1)$$

$$Oy: mg - T \cos \alpha - F_A = 0. \quad (2)$$

Объем шара  $V = \frac{m}{\rho}$ .

Величина выталкивающей силы  $F_A$  определяется по закону Архимеда:

$$F_A = \rho_0 g V = mg \frac{\rho_0}{\rho}, \quad (3)$$

где  $\rho_0$  — плотность воды.

Выполняя математические преобразования с формулами (2) и (3), получим:

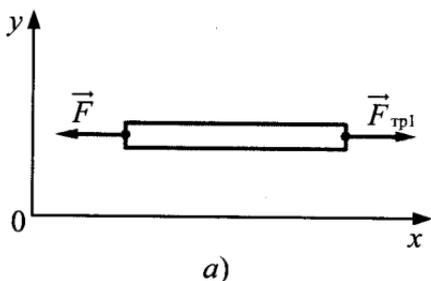
$$T = \frac{mg(\rho - \rho_0)}{\rho \cos \alpha} = \frac{4 \cdot 10 \cdot (11\,300 - 1000)}{11\,300 \cdot 0,866} \approx 42 \text{ Н.}$$

Ответ:  $T \approx 42 \text{ Н.}$

30. Ответ:  $m = \frac{T \rho \cos \alpha}{g(\rho - \rho_0)} \approx 4 \text{ кг.}$

31. *Возможное решение.*

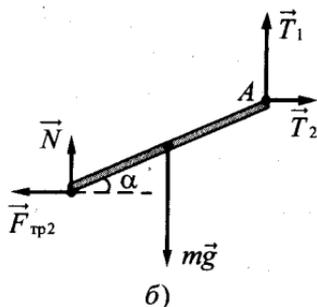
1. В инерциальной системе отсчета  $Oxy$ , связанной с Землей, доска движется поступательно с постоянной скоростью. Поэтому сумма проекций на ось  $Ox$  всех сил, приложенных к доске, равна нулю (рис. а)



$$F_{\text{тр1}} - F = 0.$$

2. На рис. б показаны все силы, приложенные к стержню. Силы реакции шарнира и доски представлены горизонтальными и вертикальными составляющими:  $\vec{T} = \vec{T}_1 + \vec{T}_2$  и  $\vec{R} = \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр2}}$  соответственно. По третьему закону Ньютона  $\vec{F}_{\text{тр2}} = -\vec{F}_{\text{тр1}}$ , поэтому

$$F_{\text{тр2}} = F_{\text{тр1}} = F. \quad (1)$$



3. По условию задачи стержень покоится, поэтому сумма моментов сил, действующих на шар, относительно оси шарнира  $A$  равна нулю. Обозначив длину стержня через  $L$ , запишем это условие:

$$mg \frac{L}{2} \cos \alpha - F_{\text{тр}2} L \sin \alpha - NL \cos \alpha = 0. \quad (2)$$

4. Доска движется относительно стержня, поэтому сила трения является силой трения скольжения

$$F_{\text{тр}2} = \mu N. \quad (3)$$

5. Подставив (3) в (2), получим уравнение

$$mg \cos \alpha - 2\mu N \sin \alpha - 2N \cos \alpha = 0,$$

позволяющее найти нормальную составляющую силы реакции

$$\text{доски } N = \frac{mg}{2(1 + \mu \operatorname{tg} \alpha)}.$$

$$\text{Отсюда: } F = F_{\text{тр}2} = \mu N = \frac{\mu mg}{2(1 + \mu \operatorname{tg} \alpha)} = \frac{0,2 \cdot 1 \cdot 10}{2 \left( 1 + 0,2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} \right)} \approx 0,9 \text{ Н.}$$

*Ответ:*  $F \approx 0,9 \text{ Н.}$

32. *Ответ:*  $m = \frac{2F(1 + \mu \operatorname{tg} \alpha)}{\mu g} \approx 1 \text{ кг.}$

33. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения механической энергии, имеем два равенства:

$$\frac{kx^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2},$$

$$\frac{mv_0^2}{2} + mgh = \frac{mv_1^2}{2},$$

где  $v_0$  и  $v_1$  — скорости летящей пули соответственно на высоте  $h$  и непосредственно перед мишенью.

Вся энергия подлетевшей к мишени пули потрачена на механическую работу, так что  $\frac{mv_1^2}{2} = A$ .

Решая полученную систему уравнений, находим массу пули:

$$m = \frac{2A - kx^2}{2gh} = 5 \text{ г.}$$

Ответ: 5 г.

34. Ответ:  $k = \frac{2(A - mgh)}{x^2} \approx 100 \text{ Н/м.}$

35. *Возможное решение.*

Изменение механической энергии шайбы равно работе силы трения:

$$\frac{mv_B^2}{2} + mgL \sin \alpha - \frac{mv_0^2}{2} = -\mu mgL \cos \alpha. \quad (1)$$

В точке В условием отрыва будет равенство центростремительного ускорения величине нормальной составляющей ускорения силы тяжести:

$$\frac{v_B^2}{R} = g \cos \alpha, \Rightarrow v_B^2 = gR \cos \alpha \quad (2)$$

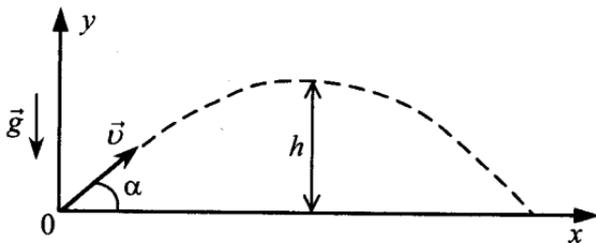
Из (1) и (2) находим внешний радиус трубы  $R$ :

$$R = \frac{v_0^2}{g \cos \alpha} - 2L(\mu + \operatorname{tg} \alpha) \approx 0,3 \text{ м.}$$

Ответ:  $R \approx 0,3 \text{ м.}$

36. Ответ:  $L \approx 1 \text{ м.}$

37. *Возможное решение.*



Модель гонщика — материальная точка. Считаем полет свободным падением с начальной скоростью  $v$ , направленной под углом  $\alpha$  к горизонту. Дальность полета при этом  $S = vt \cos \alpha$ , время полета  $t = \frac{2v \sin \alpha}{g}$ . Следовательно,  $S = 2 \frac{v^2}{g} \sin \alpha \cos \alpha$ .

Модуль начальной скорости определяется из закона сохранения энергии:  $\frac{mv^2}{2} = mgH$ , так что  $\frac{v^2}{g} = 2H$ . Отсюда:

$$S = 2H \sin 2\alpha. \text{ Отсюда: дальность полета } S_{\max} = H\sqrt{3}.$$

$$\text{Ответ: } S_{\max} = H\sqrt{3}.$$

38.  $\text{Ответ: } h = H \sin^2 \alpha = \frac{3}{4}H.$

39. *Возможное решение.*

1. Скорость шайбы  $v$  в точке В найдем из баланса энергии шайбы в точках А и В с учетом потерь на трение:

$$\frac{mv^2}{2} = mgH - \Delta E.$$

$$\text{Отсюда: } v^2 = 2gH - \frac{2\Delta E}{m}.$$

2. Определим время полета  $t$  шайбы из точки В в точку D из соотношения

$$y = v \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 0, \text{ где } y \text{ — вертикальная координата шайбы}$$

в системе отсчета с началом координат в точке В. Отсюда:

$$t = \frac{2v \sin \alpha}{g}.$$

3. Дальность полета BD определим, подставляя это значение  $t$  в выражение для горизонтальной координаты  $x$  шайбы в той же системе отсчета:  $BD = v \cos \alpha \cdot t = \frac{v^2}{g} \sin 2\alpha.$

4. Подставляя в выражение для BD значение  $v^2$ , получаем:

$$BD = 2 \left( H - \frac{\Delta E}{mg} \right) \sin 2\alpha. \text{ Отсюда: } \Delta E = mg \left( H - \frac{BD}{2 \sin 2\alpha} \right).$$

$$\text{Ответ: } \Delta E = 2 \text{ Дж.}$$

Допускается ответ  $\Delta E = -2$  Дж, если из текста решения следует, что речь идет об изменении механической энергии.

40. Ответ:  $m = \frac{2\Delta E \sin 2\alpha}{g(2H \sin 2\alpha - BD)} = 0,05$  кг.

41. *Возможное решение.*

Полная механическая энергия системы, равная сумме кинетической и потенциальной энергии, сохраняется, так как выемка гладкая и работа сил реакции стенок, в любой момент времени перпендикулярных скоростям шариков, равна нулю:

$$E = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}} = \text{const.}$$

В начальный момент и момент подъема на максимальную высоту  $H$  кинетическая энергия системы равна нулю, поэтому ее потенциальная энергия в эти моменты времени одинакова:

$$E_{\text{пот}}^{\text{нач}} = E_{\text{пот}}^{\text{конечн}}$$

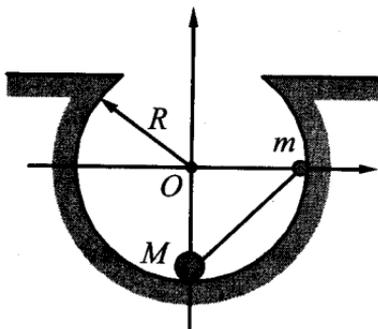


Рис. 1

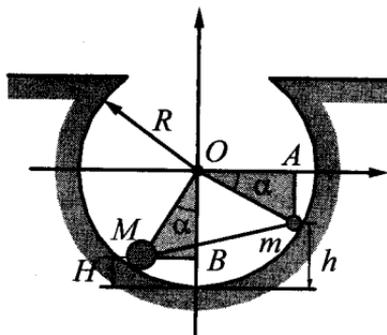


Рис. 2

Начальное положение системы изображено на рис. 1, а конечное — на рис. 2.

Если отсчитывать потенциальную энергию от нижней точки выемки, то начальная потенциальная энергия системы

$E_{\text{пот}}^{\text{нач}} = mgR$ , а ее конечная потенциальная энергия

$E_{\text{пот}}^{\text{конечн}} = mgh + MgH$ . Закон сохранения энергии приводит к уравнению

$$mgR = mgh + MgH, \text{ из которого следует, что } (R - h) = \frac{M}{m}H.$$

При движении гантели по поверхности выемки высота подъема большого и малого грузов связаны. Заметим, что в прямоугольных треугольниках  $OmA$  и  $OMB$   $MB = mA = R - h$ ,

$OA = OB = R - H$ ,  $OM = Om = R$ , и воспользуемся теоремой Пифагора:

$$(R - h)^2 = R^2 - (OA)^2 = R^2 - (R - H)^2.$$

Отсюда следует:  $(R - h)^2 = H(2R - H)$ .

Подставим сюда выражение  $(R - h) = \frac{M}{m}H$ , полученное из за-

кона сохранения энергии, и получим:  $R = \frac{H}{2} \left( 1 + \frac{M^2}{m^2} \right)$ .

Подставляя сюда значения физических величин, получим:

$$R = 6(1 + 4) = 30 \text{ см.}$$

Ответ:  $R = 30$  см.

42. Ответ:  $\frac{M}{m} = 2$ .

43. *Возможное решение.*

По закону сохранения энергии  $E_0 = \frac{m\nu_0^2}{2} + mgb \sin \alpha$ , (1)

где  $E_0$  — энергия сжатой пружины, а  $\nu_0$  — скорость шарика в момент вылета из дула ружья.

Согласно формулам кинематики тела, брошенного под углом к горизонту,  $L = \nu_0 t \cos \alpha$ ;  $t = \frac{2\nu_0 \sin \alpha}{g}$ , где  $t$  — время полета.

Следовательно, расстояние  $L = \frac{\nu_0^2}{g} \sin 2\alpha$ . (2)

Из формулы (2) находим, что  $\nu_0^2 = \frac{gL}{\sin 2\alpha}$ , и, подставляя в (1),

получаем:

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{mg \sin \alpha} \left( E_0 - \frac{mgL}{2 \sin 2\alpha} \right) = \\ &= \frac{1}{5 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \sin 30^\circ} \left( 0,41 - \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 1}{2 \cdot \sin 60^\circ} \right) \approx 0,5 \text{ м.} \end{aligned}$$

Ответ:  $b \approx 0,5$  м.

44. Ответ:  $E_0 = mg \left( \frac{L}{2 \sin 2\alpha} + b \sin \alpha \right) \approx 0,5$  Дж.

45. *Возможное решение.*

1. Внешние силы, действующие на систему тел «доска — шайба», направлены по вертикали и в сумме равны нулю. Импульс системы тел «доска — шайба» относительно Земли сохраняется:  $mv_0 = (M + m)v$ ,

где  $v$  — скорость шайбы и доски после того, как шайба перестала скользить по доске.

2. Сила трения, действующая на доску со стороны шайбы, постоянна:

$$F_{\text{тр}} = \mu mg.$$

Под действием этой силы доска движется с ускорением

$a = \mu \frac{m}{M} g$  и достигает скорости  $v$  за время

$$\tau = \frac{v}{a} = \frac{Mv}{\mu mg} = \frac{Mv_0}{\mu g(M + m)}.$$

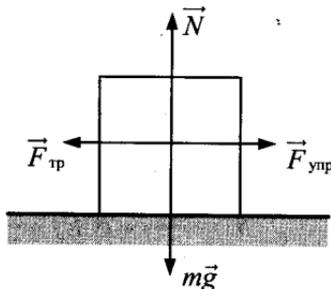
$$\text{Отсюда: } m = M \left( \frac{v_0}{\mu g \tau} - 1 \right) = 2 \left( \frac{2}{0,2 \cdot 10 \cdot 0,8} - 1 \right) = 0,5 \text{ кг.}$$

*Ответ:*  $m = 0,5$  кг.

46. *Ответ:*  $M = \frac{m}{\frac{v}{\mu g} - 1} = 2,5$  кг.

47. *Возможное решение.*

1. Найдем максимальное сжатие пружины  $b$ , при котором груз еще покоится на столе. В случае сжатой пружины на груз действуют силы, показанные на рисунке (сама пружина не показана). Видно, что силу упругости уравновешивает сила трения покоя. При максимальном сжатии пружины имеем:



$$kb = \max F_{\text{тр. покоя}} = \mu N = \mu mg. \text{ Отсюда } b = \frac{\mu mg}{k}.$$

2. Изменение механической энергии системы тел «груз + пружина» при переходе из начального состояния в конечное равно работе силы трения скольжения:

$$\frac{kb^2}{2} - \frac{kd^2}{2} = -\mu mg(d+b).$$

По условию задачи пройденный грузом путь  $d + b > 0$ .

Поэтому, сократив на  $(d + b)$ , приходим к уравнению:

$$\frac{k}{2}(b-d) = -\mu mg.$$

Учтя, что  $\frac{\mu mg}{k} = b$ , получим уравнение относительно  $d$ :

$$b - d = -2b \text{ с решением } d = 3b. \text{ Таким образом, } d = \frac{3\mu mg}{k}.$$

Отсюда:  $m = \frac{kd}{3\mu g} = 2,5 \text{ кг.}$

Ответ:  $m = 2,5 \text{ кг.}$

48. Ответ:  $k = \frac{3\mu mg}{d} = 90 \text{ Н/м.}$

49. *Возможное решение.*

Брусок сдвигается с места при условии, что сила, действующая на него со стороны нити, станет больше максимальной силы трения покоя:

$$T > F_{\text{тр. макс.}}, \quad T > \mu Mg.$$

Второй закон Ньютона для грузика в нижнем положении:

$$\frac{mv^2}{L} = T - mg. \quad (1)$$

Закон сохранения механической энергии:

$$mgh = \frac{mv^2}{2}, \quad \frac{2mgh}{L} = \frac{mv^2}{L}. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получим:

$$T = \frac{mv^2}{L} + mg = \frac{2mgh}{L} + mg = mg \left( \frac{2h}{L} + 1 \right) > \mu Mg,$$

откуда  $m > \frac{\mu M}{\frac{2h}{L} + 1}.$

Ответ:  $m > \frac{\mu M}{\frac{2h}{L} + 1}.$

Допускается ответ в виде равенства.

50. Ответ:  $h > \frac{L}{2} \left( \frac{\mu M}{m} - 1 \right)$ .

51. *Возможное решение.*

Закон сохранения механической энергии при ударе:

$$\frac{m v^2}{2} = \frac{M V^2}{2} + \frac{m (v')^2}{2}. \quad (1)$$

Закон сохранения импульса при ударе:

$$m \vec{v} = m \vec{v}' + M \vec{V}. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1)–(2) с учетом условия  $M = 3m$ , получаем:

$$\frac{W_M}{W_m} = 3.$$

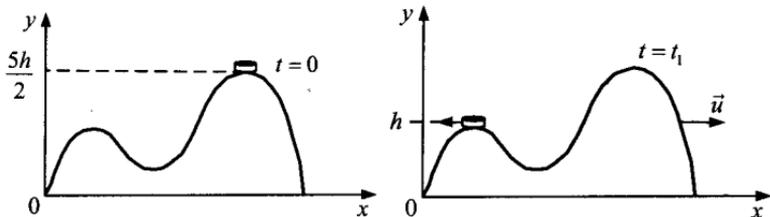
Ответ:  $\frac{W_M}{W_m} = 3$ .

52. Ответ:  $Q = \frac{mMgl}{m+M} = 1$  (Дж).

53. *Возможное решение.*

На систему тел «шайба + горка» действуют внешние силы (тяжести и реакции стола), направленные по вертикали, поэтому проекция импульса системы на горизонтальную ось  $Ox$  системы отсчета, связанной со столом, сохраняется. В начальный момент  $p_x(0) = 0$ , а в момент  $t_1$   $p_x(t_1) = Mu - mv$ . Из закона сохранения импульса  $p_x(0) = p_x(t_1)$  получим:  $Mu - mv = 0$ , где  $m$  — масса шайбы,  $M$  — масса горки.

Работа сил тяжести определяется изменением потенциальной энергии, а суммарная работа сил реакции равна нулю, так как поверхности гладкие.



Следовательно, полная механическая энергия системы тел, равная сумме кинетической и потенциальной, сохраняется. Так как потенциальная энергия горки не изменилась, получаем уравнение

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} + mgh = \frac{5}{2}mgh.$$

Решение системы дает отношение масс  $\frac{m}{M} = \frac{3gh}{v^2} - 1$ .

Ответ:  $\frac{m}{M} = \frac{3gh}{v^2} - 1$ .

54. Ответ:  $u = \sqrt{\frac{gh}{39}}$ .

55. *Возможное решение.*

Введем обозначение:

$v_2$  — модуль скорости летящего назад осколка снаряда.

Система уравнений для решения задачи:

$$\begin{cases} 2mv_0 = mv_1 - mv_2; \\ mv_0^2 + \Delta E = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}. \end{cases}$$

Выразим  $v_2$  из первого уравнения:  $v_2 = v_1 - 2v_0$  — и подставим во второе уравнение. Получим:

$$v_1^2 - 2v_0v_1 + v_0^2 - \frac{\Delta E}{m} = 0.$$

Отсюда следует:  $m = \frac{\Delta E}{(v_1 - v_0)^2}$ .

Ответ:  $m = \frac{\Delta E}{(v_1 - v_0)^2}$ .

56. Ответ:  $\Delta E = \frac{m(v_1 + v_2)^2}{4}$ .

57. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения энергии, высоту подъема снаряда

можно рассчитать по формуле:  $mgh = \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow h = \frac{v_0^2}{2g}$ . Из за-

кона сохранения энергии определяем начальную скорость первого осколка:  $\frac{m_1(2v_0)^2}{2} = m_1gh + \frac{m_1v_1^2}{2} \Rightarrow v_1 = \sqrt{4v_0^2 - 2gh} = \sqrt{4v_0^2 - v_0^2} = \sqrt{3}v_0$ .

Начальная скорость второго осколка после разрыва снаряда может быть определена по формуле:

$$y = h + v_2t - \frac{gt^2}{2} \Rightarrow 0 = \frac{v_0^2}{2g} + v_2t - \frac{gt^2}{2} \Rightarrow v_2 = \frac{g^2t^2 - v_0^2}{2gt},$$

где  $t$  — время полета второго осколка.

Согласно закону сохранения импульса,  $m_1v_1 = m_2v_2$ ;  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}$ ;

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{g^2t^2 - v_0^2}{2gtv_0\sqrt{3}}; \frac{m_1}{m_2} \approx 0,43.$$

Ответ:  $\frac{m_1}{m_2} \approx 0,43$ .

**58.** *Возможное решение.*

При движении мяча вниз его полная механическая энергия сохраняется:

$$mgh_0 + \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2}, \quad (1)$$

где  $V_1$  — скорость мяча в момент удара о землю.

При ударе о землю скорость мяча уменьшается на  $n = 25\% = 0,25$ , и он отскакивает со скоростью  $V_2 = V_1(1 - n)$ .  $(2)$

При движении мяча вверх после удара о землю его полная механическая энергия сохраняется:  $\frac{mV_2^2}{2} = mgh$ .  $(3)$

Выполняя математические преобразования с формулами (1)–(3), получим:

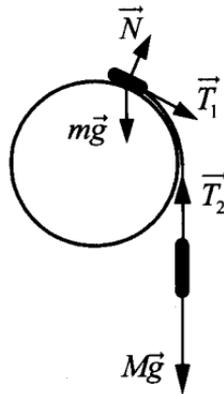
$$V_0 = \sqrt{2g\left(\frac{h}{(1-n)^2} - h_0\right)} = \sqrt{2 \cdot 10\left(\frac{2,7}{(1-0,25)^2} - 3,55\right)} = 5 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $V_0 = 5$  м/с.

**59.** *Ответ: с высоты 3,55 м.*

60. *Возможное решение.*

1. Будем считать систему отсчета, связанную с Землей, инерциальной.
2. На рисунке показан момент, когда груз  $m$  еще скользит по сфере. Из числа сил, действующих на грузы, силы тяжести  $m\vec{g}$  и  $M\vec{g}$  потенциальны, а силы натяжения нити  $\vec{T}_1$  и  $\vec{T}_2$ , а также сила реакции опоры  $\vec{N}$  — непотенциальны. Поскольку нить легкая и трения нет,  $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$ . Сила  $\vec{T}_1$  направлена по скорости  $\vec{v}_1$  груза  $m$ , а сила  $\vec{T}_2$  — противоположно скорости  $\vec{v}_2$  груза  $M$ . Модули скоростей грузов в один и тот же момент времени одинаковы, поскольку нить нерастяжима. По этим причинам суммарная работа сил  $\vec{T}_1$  и  $\vec{T}_2$  при переходе в данное состояние из начального равна нулю. Работа силы  $\vec{N}$  также равна нулю, так как из-за отсутствия трения  $\vec{N} \perp \vec{v}_1$ .



3. Таким образом, сумма работ всех непотенциальных сил, действующих на грузы  $m$  и  $M$ , равна нулю. Поэтому в инерциальной системе отсчета, связанной с Землей, механическая энергия системы этих грузов сохраняется.
4. Найдем модуль скорости груза  $m$  в точке его отрыва от поверхности сферы. Для этого приравняем друг другу значения механической энергии системы грузов в начальном состоянии и в состоянии, когда груз  $m$  находится в точке отрыва (потенциальную энергию грузов в поле тяжести отсчитываем от

уровня центра сферы, в начальном состоянии груз  $M$  находится ниже центра сферы на величину  $h_0$ ):

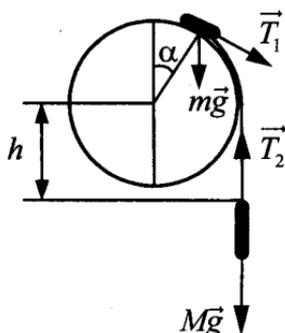
$$mgR - Mgh_0 = \frac{mv^2}{2} + mgR \cos \alpha + \frac{Mv^2}{2} + Mg(-h),$$

где  $R$  — радиус трубы,  $h - h_0 = R\alpha$ .

Отсюда  $v = \sqrt{\frac{2gR[m(1 - \cos \alpha) + M\alpha]}{m + M}}$ .

5. Груз  $m$  в точке отрыва еще движется по окружности радиусом  $R$ , но уже не давит на сферу. Поэтому его центростремительное ускорение вызвано только силой тяжести, так как сила  $\vec{T}_1$  направлена по касательной к сфере (см. рис.):

$$m \frac{v^2}{R} = mg \cos \alpha.$$



Подставляя сюда значение  $v$ , получим

$$\frac{2}{m + M} [m(1 - \cos \alpha) + M\alpha] = \cos \alpha.$$

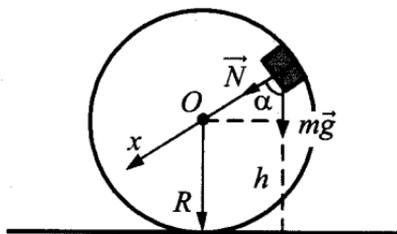
$$\text{Отсюда } M = \frac{m(3 \cos \alpha - 2)}{2\alpha - \cos \alpha} = 100 \text{ г} \cdot \frac{3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 2}{2\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}} \approx 330 \text{ г}.$$

Ответ:  $M \approx 330$  г.

61. Ответ:  $m = \frac{M \left( \frac{\pi}{3} - \cos \alpha \right)}{3 \cos \alpha - 2} \approx 0,3 \text{ кг}.$

62. *Возможное решение.*

1. Пусть скорость кубика на высоте  $h$  равна  $v$ , а в нижней точке петли потенциальная энергия кубика равна нулю. Тогда по закону сохранения механической энергии  $mgH = \frac{mv^2}{2} + mgh$ , откуда  $v^2 = 2g(H - h)$ .



2. Когда кубик находится на высоте  $h$ , на него действуют две силы: сила тяжести  $m\vec{g}$  и сила реакции опоры  $\vec{N}$ . Запишем второй закон Ньютона в проекциях на радиальное направление ( $Ox$  на рисунке):  $mg \cos \alpha + N = \frac{mv^2}{R}$ , где  $\frac{v^2}{R} = a_n$  — центростремительное ускорение кубика в этой точке.

По третьему закону Ньютона  $N = F$ .

Из рисунка видно, что  $\cos \alpha = \frac{h - R}{R}$ .

3. Из выражений п. 2 получим:  $R = \frac{m(gh - v^2)}{mg - F}$ .

4. Подставив полученное значение  $v^2$  из п. 1, найдем:

$$R = \frac{mg(3h - 2H)}{mg - F} = \frac{1 \cdot 10 \cdot (3 \cdot 2,5 - 2 \cdot 3)}{1 \cdot 10 - 4} = 2,5 \text{ м.}$$

Ответ:  $R = 2,5$  м.

63. *Ответ:*  $H = 3$  м.

64. *Возможное решение.*

Кинетическая энергия вылетевшего снаряда:

$$W = \frac{mv^2}{2}, \tag{1}$$

где  $m$  — масса снаряда,  $v$  — его скорость.

Сила давления пороховых газов:

$$F = pS, \quad (2)$$

где  $p$  — среднее давление пороховых газов,  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  — площадь поперечного сечения ствола,  $d$  — диаметр ствола.

Работа силы давления пороховых газов:

$$A = Fl, \quad (3)$$

где  $l$  — длина ствола.

Снаряд приобрел кинетическую энергию за счет работы силы давления пороховых газов:

$$W = A. \quad (4)$$

Объединяя соотношения (1)–(4), получаем

$$p = \frac{2mv^2}{\pi d^2 l}.$$

Ответ:  $p = 4,7 \cdot 10^8$  Па.

65. Ответ:  $v = d \sqrt{\frac{\pi l p}{2m}} \approx 1380$  м/с.

66. *Возможное решение.*

Из закона сохранения механической энергии находится скорость шара в нижней точке до попадания пули:

$$u = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)}.$$

Из закона сохранения импульса определяется скорость шара в нижней точке после попадания и вылета пули:

$$Mu - mv_1 = Mu' - mv_2 \Rightarrow u' = u + \frac{m}{M}(v_2 - v_1).$$

Закон сохранения механической энергии для шара после попадания и вылета пули:  $\frac{Mu'^2}{2} = Mgl(1 - \cos \beta)$ .

Следовательно, угол отклонения определяется равенством:

$$\cos \beta = 1 - \frac{u'^2}{2gl} = 1 - \frac{1}{2gl} \left\{ \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)} + \frac{m}{M}(v_2 - v_1) \right\}^2 = \frac{7}{9}$$

или  $\beta = \arccos(7/9) \approx 39^\circ$ .

Ответ:  $\approx 39^\circ$ .

67. Ответ:  $|\Delta v| = \left| \frac{M}{m} \left\{ \sqrt{2gl(1 - \cos\beta)} - \sqrt{2gl(1 - \cos\alpha)} \right\} \right| = 100 \text{ м/с.}$

68. *Возможное решение.*

Шарик  $m$  перед ударом имеет скорость  $v$ .

Закон сохранения импульса при ударе:

$$mv = (m + M)V, \quad (1)$$

где  $V$  — скорость шаров после удара.

Количество теплоты, выделившееся при ударе,

$$Q = \frac{mv^2}{2} - W'_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2} - \frac{(m + M)V^2}{2}. \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1)–(2), получаем:  $\frac{Q}{W'_{\text{кин}}} = \frac{M}{m} = 2$ .

Ответ:  $\frac{Q}{W'_{\text{кин}}} = 2$ .

69. *Возможное решение.*

Закон сохранения импульса при ударе:

$$mv = (m + M)V, \quad (1)$$

где  $v$  — скорость левого шарика перед ударом,  $V$  — скорость шаров после неупругого удара.

Количество теплоты, выделившееся при ударе:

$$Q = \frac{mv^2}{2} - \frac{(m + M)V^2}{2}. \quad (2)$$

По условию задачи

$$Q = \frac{mv^2}{4}. \quad (3)$$

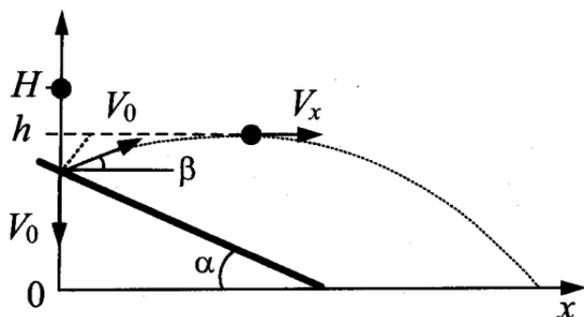
Решая систему уравнений (1)–(3), получаем:  $v = 2V$ ;  $m = M$ .

Следовательно,  $\frac{M}{m} = 1$ .

Ответ:  $\frac{M}{m} = 1$ .

70. *Возможное решение.*

1. Перед столкновением с плитой скорость шарика направлена вертикально вниз и равна  $V_0 = gt$ , а после упругого соударения с плитой ее модуль не изменяется, а направление составляет угол  $\beta = 90^\circ - 2\alpha$  с горизонтом. (Угол падения шарика при упругом ударе о неподвижную массивную плиту равен углу отражения.)



2. При движении после соударения горизонтальная составляющая скорости не изменяется, так как шарик находится в свободном падении, а сила тяжести направлена вертикально, т. е.  $v_x = V_0 \cos \beta = \text{const}$ .

3. Так как при упругом ударе энергия шарика сохраняется, его механическая энергия в течение всего времени движения остается постоянной. В начальный момент времени  $E_0 = mgH$ , а в момент наибольшего подъема после соударения с плитой  $E_1 = mgh + \frac{mv_x^2}{2}$ . Сохранение энергии  $E_1 = E_0$  приводит к

$$\text{уравнению } mgh + \frac{mv_x^2}{2} = mgH.$$

4. Учитывая условие  $v_x = V_0 \cos \beta = gt \cos \beta = gt \sin 2\alpha$ , получим отсюда высоту падения  $H = h + \frac{gt^2 \sin^2 2\alpha}{2}$ .

5. Подставляя сюда значения величин, получаем ответ:  $H = 2$  м.

*Ответ:* 2 м.

71. *Ответ:*  $h = H - \frac{g(t \sin 2\alpha)^2}{2} = 1,65$  м.

72. *Возможное решение.*

В соответствии с законом сохранения импульса,

$$Mv = (m + M)V. \quad (1)$$

Время полета тела массой  $(m + M)$ , падающего с высоты  $h$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (2)$$

За это время тело массой  $(m + M)$  сместится по горизонтали на расстояние

$$L = Vt. \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1)–(3), будем иметь:

$$M = \frac{m}{\left(\frac{v}{L}\sqrt{\frac{2h}{g}} - 1\right)},$$

откуда получаем искомый результат:

$$M > \frac{m}{\left(\frac{v}{L}\sqrt{\frac{2h}{g}} - 1\right)} \approx 200 \text{ г.}$$

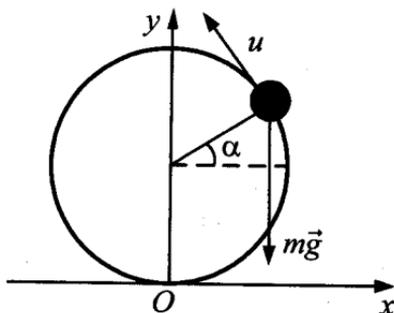
Ответ:  $M > 200 \text{ г.}$

73. Ответ:  $m < M \left(\frac{v}{L}\sqrt{\frac{2h}{g}} - 1\right) = 150 \text{ г.}$

74. *Возможное решение.*

В момент отрыва от кольца на высоте  $h$  шайба имела скорость  $u$ , определяемую из закона сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mu^2}{2} + mgh.$$



При этой скорости ее центростремительное ускорение  $a_{\text{ис}} = \frac{u^2}{R}$  в инерциальной системе отсчета  $Oxy$ , связанной с Землей, в соответствии со вторым законом Ньютона обеспе-

чивалось составляющей силы тяжести, действующей на шайбу и направленной к центру кольца:

$$ma_{\text{цс}} = mg \sin \alpha.$$

Учитывая, что  $\sin \alpha = \frac{h-R}{R}$ , исключим из системы уравнений

$a_{\text{цс}}$  и  $u$ :

$$v^2 = g(h-R) + 2gh.$$

Отсюда  $h = \frac{R}{3} + \frac{v^2}{3g} \approx 0,18 \text{ м}.$

Ответ:  $h = 0,18 \text{ м}.$

75. Ответ:  $v = \sqrt{g(3h-R)} = 4 \text{ м/с}.$

76. *Возможное решение.*

Закон сохранения импульса для системы «аппарат + газ, выброшенный за интервал времени  $\Delta t$ »:

$$0 = M \cdot \Delta v' - \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot v \cdot \Delta t;$$

формула для ускорения  $a = \frac{\Delta v'}{\Delta t};$

Формула для скорости движения аппарата:  $v_1 = at.$

Выполнив математические преобразования, получим ответ в

общем виде:  $v_1 = \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot \frac{vt}{M}.$

Ответ:  $12 \text{ м/с}.$

77. Ответ:  $V = \sqrt{\frac{2Sv \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}}{M}} = 12 \text{ м/с}.$

78. *Возможное решение.*

1. В момент пережигания нити на стержень с грузами вниз действуют силы тяжести  $m_1g, m_2g$  и пружина с силой  $F = k(l_0 - l).$

2. Движение стержня с грузами в инерциальной системе отсчета под действием приложенных сил происходит с ускорением  $a$ , определяемым вторым законом Ньютона:  $(m_1 + m_2) a = (m_1 + m_2)g + F.$

откуда  $a = g + k \frac{l_0 - l}{m_1 + m_2}.$

3. Движение груза  $m_1$  с этим ускорением происходит под действием приложенных к нему сил — силы тяжести  $m_1g$  и реакции стержня  $T$ , и подчиняется второму закону Ньютона:  $m_1a = m_1g + T$ .

Из этого уравнения определяется реакция стержня

$$T = m_1(a - g) = \frac{m_1}{m_1 + m_2} k(l_0 - l).$$

5. Подставляя значения масс, жесткости и удлинения пружины, получим:

$$T = \frac{0,1}{0,1 + 0,2} \cdot 30 \cdot (0,2 - 0,1) = 1 \text{ (Н)}.$$

Ответ: 1 Н.

79. *Возможное решение.*

1. В момент пережигания нити на стержень с грузами вниз действуют силы тяжести  $m_1g$ ,  $m_2g$  и пружина с силой  $F = k(l_0 - l)$ .

2. Движение системы в инерциальной системе отсчета под действием приложенных сил происходит с ускорением  $a$ , определяемым вторым законом Ньютона:  $(m_1 + m_2)a = (m_1 + m_2)g + F$ ,

откуда  $a = g + k \frac{l_0 - l}{m_1 + m_2}$ .

3. Движение груза  $m_2$  с этим ускорением происходит под действием приложенных к нему сил — силы тяжести  $m_2g$ , силы упругости пружины  $F = k(l_0 - l)$  и силы реакции стержня  $T$ , и подчиняется второму закону Ньютона:  $m_2a = m_2g + F - T$ .

Из этого уравнения определяется реакция стержня

$$\begin{aligned} T &= m_2(g - a) + F = -\frac{m_2}{m_1 + m_2} k(l_0 - l) + k(l_0 - l) = \\ &= \frac{m_1}{m_1 + m_2} k(l_0 - l). \end{aligned}$$

4. Подставляя значения масс, жесткости и удлинения пружины, получим:

$$T = \frac{0,1}{0,1 + 0,2} \cdot 30 \cdot (0,2 - 0,1) = 1 \text{ (Н)}.$$

Ответ: 1 Н.

## 2. Молекулярная физика и термодинамика

### 2.1. Задачи с кратким ответом

- |                                |                                 |                                   |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1. 750 К                       | 2. 1000 К                       | 3. 400 К                          | 4. 300 К                              |
| 5. В 2 раз(а)                  | 6. В 1,5 раз(а)                 | 7. $10 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$ | 8. $2,9 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^3$ |
| 9. 59 г/моль                   | 10. $0,3 \text{ м}^3$           | 11. 16 моль                       | 12. $2,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$       |
| 13. 0,5                        | 14. 3                           | 15. 0,4                           | 16. 2                                 |
| 17. 0,5                        | 18. 4,5                         | 19. $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$     | 20. 4 л                               |
| 21. 60 Дж                      | 22. 125 Дж                      | 23. 80 Дж                         | 24. 60 К                              |
| 25. 30 г                       | 26. 4155 Дж                     | 27. 1,0 кДж                       | 28. 1,8 кДж                           |
| 29. 16 К                       | 30. 7,2 кДж                     | 31. 2 кПа                         | 32. 20 кПа                            |
| 33. 5 кг                       | 34. 16 К                        | 35. 4 см                          | 36. 12,5 кДж                          |
| 37. 24 кДж                     | 38. 25 кДж                      | 39. 0,48 моль                     | 40. 25 л                              |
| 41. 0,12 моль                  | 42. 2,4 кДж                     | 43. 3,6 кДж                       | 44. 1 г                               |
| 45. 3 г                        | 46. 2 г                         | 47. 4 г                           | 48. 65 %                              |
| 49. 54 %                       | 50. 73 %                        | 51. 2                             | 52. 3                                 |
| 53. $0 \text{ }^\circ\text{C}$ | 54. $0 \text{ }^\circ\text{C}$  | 55. $0 \text{ }^\circ\text{C}$    | 56. 0,55 кг                           |
| 57. 1,1 кг                     | 58. $60 \text{ }^\circ\text{C}$ | 59. 90 г                          | 60. 28 %                              |
| 61. $0 \text{ }^\circ\text{C}$ | 62. 1,3 кВт                     | 63. 1,2 кг                        |                                       |

## 2.2. Задания с развернутым ответом

### 1. *Возможное решение.*

1. Запишем для шара второй закон Ньютона в проекциях на вертикальную ось в момент его отрыва от земли:  $F_A = m_{\text{He}}g + m_{\text{об}}g$ , где  $F_A$  — сила Архимеда, действующая на шар.

2. Выразим силы через радиус шара  $r$ :

$$\rho_{\text{в}}g \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 = b \cdot 4\pi r^2 \cdot g + \rho_{\text{He}}g \cdot \frac{4}{3}\pi r^3, \text{ где } \rho_{\text{в}} \text{ — плотность атмо-}$$

сферного воздуха,  $\rho_{\text{He}}$  — плотность гелия,  $b = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$  — отношение массы одного квадратного метра оболочки шара к его площади.

$$\text{Отсюда найдем радиус шара } r = \frac{3b}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{He}}}.$$

3. Плотности гелия и воздуха найдем из уравнения

$$\text{Клапейрона–Менделеева } pV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{Mp}{RT},$$

$$\rho_{\text{He}} = \frac{M_{\text{He}}p}{RT}, \quad \rho_{\text{в}} = \frac{M_{\text{в}}p}{RT}.$$

4. Объединяя полученные выражения, найдем радиус:

$$r = \frac{3bRT}{p(M_{\text{в}} - M_{\text{He}})} \approx 2,7 \text{ м,}$$

а искомая масса оболочки равна  $m = 4\pi r^2 \cdot b$ .

*Ответ:*  $m \approx 92 \text{ кг}$ .

2. *Ответ:*  $m_r = 100 \text{ кг}$ .

### 3. *Возможное решение.*

Шар взлетает, когда сила тяжести, действующая на него, равна силе Архимеда

$$(m_{\text{об}} + m_r + m)g = \rho gV, \quad (1)$$

где  $m$  — масса воздуха в шаре.

Из уравнения Клапейрона–Менделеева следует:

$$m = \frac{pV\mu}{RT_1}, \quad p = \frac{\rho RT}{\mu}, \quad (2)$$

где  $T = t + 273$ ;  $T_1 = t_1 + 273$ ,  $\mu$  — молярная масса воздуха.

Объединяя (1) и (2), получим:

$$T_1 = \frac{\rho VT}{\rho V - m_{\text{об}} - m_r} = 350 \text{ К}, t_1 = 77 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Ответ:  $T_1 = \frac{\rho VT}{\rho V - m_{\text{об}} - m_r} = 350 \text{ К}.$

4. Ответ:  $m_r = 200 \text{ кг}.$

5. *Возможное решение.*

Гелий и аргон можно описывать моделью идеального одноатомного газа, для которого применимо уравнение Клапейрона–Менделеева  $pV = \nu RT$ .

Поршень в цилиндре находится в состоянии механического равновесия, так что давление газов в любой момент одинаково. В начальный момент объемы газов одинаковы и равны  $V$ , и уравнение Клапейрона–Менделеева приводит к связи между начальными температурами гелия и аргона  $T_1$  и  $T_2$  и числом молей этих газов  $\nu_1$  и  $\nu_2$ :  $\nu_1 T_1 = \nu_2 T_2$ .

После установления теплового равновесия температура газов равна  $T$ , а объемы гелия и аргона изменились и стали равны  $V_1$  и  $V_2$  соответственно. Уравнение Клапейрона–Менделеева в этот момент приводит к соотношению  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$ . Поскольку

суммарный объем цилиндра остался неизменным:  $V_1 + V_2 = 2V$ , получаем, что  $\frac{V_1}{V} = \frac{2}{1 + \frac{\nu_2}{\nu_1}}$ . Учитывая, что

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{T_1}{T_2}, \text{ получим } \frac{V_1}{V} = 2 \frac{T_2}{T_1 + T_2} = \frac{3}{2} = 1,5.$$

Ответ:  $V_{\text{He}}/V = 1,5.$

6. Ответ:  $V_{\text{Ar}}/V = 2/3.$

7. *Возможное решение.*

1. Запишем уравнение Клапейрона–Менделеева для водорода и гелия в смеси:

$$p_{\text{H}_2} V = \frac{m_{\text{H}_2}}{\mu_{\text{H}_2}} RT; \quad (1)$$

$$p_{\text{He}} V = \frac{m_{\text{He}}}{\mu_{\text{He}}} RT. \quad (2)$$

2. Согласно закону Дальтона давление смеси:

$$p = p_{\text{H}_2} + p_{\text{He}}. \quad (3)$$

Кроме того, масса смеси

$$m = m_{\text{H}_2} + m_{\text{He}}. \quad (4)$$

3. Решая систему уравнений (1)–(4), получаем:

$$\frac{m_{\text{H}_2}}{m_{\text{He}}} = \frac{\frac{pV}{RT} - \frac{m}{\mu_{\text{He}}}}{\frac{m}{\mu_{\text{H}_2}} - \frac{pV}{RT}} = \frac{\frac{200 \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{8,31 \cdot 300} - \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}}}{\frac{2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} - \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{8,31 \cdot 300}} \approx 1,5.$$

Ответ:  $\frac{m_{\text{H}_2}}{m_{\text{He}}} \approx 1,5.$

8. *Ответ:*  $p = 200$  кПа.

9. *Возможное решение.*

1. Пусть  $p_0$  — давление азота в камере;

$p_1$  — давление в сосуде в ситуации на рис. 2;

$p_2$  — давление в сосуде при температуре  $T_0$  в конце опыта;

$S$  — площадь горизонтального сечения сосуда.

2. Параметры азота в сосуде в первоначальном состоянии и при температуре  $T_1$  связаны равенством, следующим из уравнения Клапейрона–Менделеева:

$$\frac{p_1 h S}{T_1} = \frac{p_0 L S}{T_0}, \text{ откуда } p_1 = p_0 \cdot \frac{L}{h} \cdot \frac{T_1}{T_0}.$$

Условие равновесия пробки при температуре  $T_1$ :

$$p_0 S - F_{\text{тр}} - p_1 S = 0, \text{ откуда } F_{\text{тр}} = (p_0 - p_1) S.$$

3. Параметры азота в сосуде в первоначальном и конечном состояниях тоже связаны равенством, следующим из уравнения Клапейрона–Менделеева:

$$\frac{p_2 HS}{T_0} = \frac{p_0 LS}{T_0}, \text{ откуда } p_2 = p_0 \cdot \frac{L}{H}.$$

Условие равновесия пробки в конечном состоянии:

$$p_2 S - p_0 S - F_{\text{пр}} = 0,$$

откуда

$$p_2 = p_0 + \frac{F_{\text{пр}}}{S} = p_0 + p_0 - p_1 = 2p_0 - p_1 = 2p_0 - p_0 \cdot \frac{L}{h} \cdot \frac{T_1}{T_0}.$$

4. Приравнявая друг другу два выражения для  $p_2$ , получаем равенство

$$\frac{L}{H} = 2 - \frac{L}{h} \cdot \frac{T_1}{T_0}.$$

Отсюда:  $T_1 = T_0 \cdot \frac{h}{L} \cdot \left(2 - \frac{L}{H}\right) \approx 219 \text{ К.}$

Ответ:  $T_1 \approx 219 \text{ К.}$

10. Ответ:  $h \approx 43,8 \text{ см.}$

11. *Возможное решение.*

Клапан откроется, когда избыточная сила  $F$  давления воздуха на клапан изнутри цилиндра сравняется с силой давления стержня на этот клапан. Если превышение давления воздуха в цилиндре над атмосферным  $\Delta p$ , а площадь клапана  $s$ , то  $F = s \cdot \Delta p$ . Сила действия стержня на клапан равна  $mg \cdot \frac{L}{l}$ , где  $m$ ,  $L$  и  $l$  соответственно масса груза, длина стержня и длина его участка АВ. Итак, должно выполняться условие  $s \cdot \Delta p \geq mg \cdot \frac{L}{l}$ .

Дополнительное давление воздуха определяется увеличением массы  $\Delta m_{\text{в}}$  воздуха в цилиндре. Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,  $\Delta p = \frac{\Delta m_{\text{в}}}{MV} RT$ , где  $M$  — молярная масса воздуха. Поэтому условие открытия клапана имеет вид:  $\frac{s \Delta m_{\text{в}}}{MV} RT \geq mg \cdot \frac{L}{l}$ , или  $L \leq \frac{lsRT \Delta m_{\text{в}}}{mgMV}$ .

Если насос закачивает каждую секунду  $w$  кг воздуха, то массу  $\Delta m_B$  он закачает в цилиндр за время  $t = \frac{\Delta m_B}{w}$ . Следовательно,

клапан откроется в момент, когда выполнится равенство  $L = \frac{t l s R T w}{m g M V}$ .

Ответ:  $L \approx 0,5$  м.

12. Ответ:  $AB \approx 0,1$  м.

13. *Возможное решение.*

В соответствии с условием равновесия поршня

$$p_a + Mg/S = p_1, \quad (1)$$

$$p_a + (M + m)g/S = p_2, \quad (2)$$

где  $p_a$  — атмосферное давление воздуха,  $p_1$  и  $p_2$  — соответственно давление воздуха в сосуде до и после добавления груза массы  $m$ .

Согласно закону Бойля–Мариотта

$$p_1 H = p_2 h. \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1)–(3), получим:

$$h = \frac{p_a + \frac{Mg}{S}}{p_a + \frac{M+m}{S}g} H = \frac{10^5 + \frac{1 \cdot 10}{5 \cdot 10^{-4}}}{10^5 + \frac{1,5 \cdot 10}{5 \cdot 10^{-4}}} \cdot 0,13 = 12 \text{ см.}$$

Ответ:  $h = 12$  см.

14. Ответ:  $S = 5 \text{ см}^2$ .

15. *Возможное решение.*

1. Первоначально в объеме  $V_1$  находится  $\nu_1$  моль газа при температуре  $T_1$  и давлении  $p_1$ , а в объеме  $V_2$  —  $\nu_2$  моль газа при температуре  $T_2$  и давлении  $p_2$ .

2. При снятии перегородки газ не участвует в теплообмене с внешним миром и не совершает работу. Поэтому в соответствии с первым началом термодинамики внутренняя энергия газа при этом сохраняется:

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T,$$

откуда следует, что конечная температура газа после снятия перегородки

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2}.$$

3. Запишем уравнение Клапейрона–Менделеева для газа в начальном и конечном состояниях:

$$p_1 V_1 = \nu_1 R T_1,$$

$$p_2 V_2 = \nu_2 R T_2,$$

$$p(V_1 + V_2) = (\nu_1 + \nu_2) R T.$$

Подставив эти результаты в выражение для  $T$ , получим:

$$p(V_1 + V_2) = p_1 V_1 + p_2 V_2,$$

откуда: 
$$p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}.$$

4. Учитывая, что  $V_2 = 2V_1$ ,  $p_1 = p_0$ ,  $p_2 = 4p_0$ , получим:

$$p = 3p_0.$$

Ответ:  $p = 3p_0$ .

16. Ответ:  $\frac{V_2}{V_1} = 2.$

17. *Возможное решение.*

1. Так как сосуд теплоизолирован и начальные температуры газов одинаковы, то после установления равновесия температура в сосуде будет равна первоначальной, а гелий равномерно распределится по всему сосуду. После установления равновесия в системе в каждой части сосуда окажется по 1 моль гелия:  $\nu_1 = 1$ . В результате в сосуде с аргоном окажется 3 моль смеси:  $\nu_2 = \nu_1 + \nu = 3$ .

2. Внутренняя энергия одноатомного идеального газа пропорциональна температуре и количеству молей:

$$U = \frac{3}{2} \nu R T \Rightarrow U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1, \quad U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_2.$$

3. Запишем условие термодинамического равновесия:  $T_1 = T_2$ .

$$4. \frac{U_1}{U_2} = \frac{\nu_1}{\nu_2}, \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{3}.$$

Ответ:  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{3}.$

18. *Ответ:* 2 моль.

19. *Возможное решение.*

В состоянии 1  $p_0 V_0 = \nu R T_1$ ,

в состоянии 2  $p_0 \cdot 3V_0 = \nu R T_2$ . Отсюда  $T_2 = 3T_1$ .

Количество теплоты, получаемое системой в изобарном процессе:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + p_0 \Delta V = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) = 5 \nu R T_1 \approx \approx 12,5 \text{ кДж.}$$

*Ответ:*  $Q_{12} \approx 12,5 \text{ кДж.}$

20. *Ответ:*  $Q_{12} \approx 25 \text{ кДж.}$

21. *Возможное решение.*

Процесс 1–2 изобарный. В состоянии 1:  $p V_0 = \nu R T_1$ , в состоянии 2:  $p \cdot 5V_0 = \nu R T_2$ . Отсюда  $T_2 = 5T_1$ .

Количество теплоты, получаемое системой во время изобарного процесса,

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + p \Delta V = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) = 10 \nu R T_1 \approx \approx 22,7 \text{ кДж.}$$

*Ответ:*  $Q_{12} \approx 22,7 \text{ кДж.}$

22. *Ответ:*  $Q_{12} \approx 13,6 \text{ кДж.}$

23. *Возможное решение.*

Согласно первому закону термодинамики,  $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$ ,

где  $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$ ;  $A_{12} = \nu R (T_2 - T_1)$ .

Следовательно,  $Q_{12} = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1)$ . Согласно закону Шарля,

$\frac{p_3}{T_3} = \frac{p_2}{T_2}$ . Следовательно,  $T_2 = 3T_1$  и  $Q_{12} = 5 \nu R T_1$ .

*Ответ:*  $Q_{12} \approx 12,5 \text{ кДж.}$

24. *Ответ:*  $Q_{12} \approx 7,5 \text{ кДж.}$

25. *Возможное решение.*

Согласно первому закону термодинамики,  $Q_{123} = \Delta U_{123} + A_{123}$ , где

$A_{123} = A_{12} + A_{23}$  и  $\Delta U_{123} = \Delta U_{12} + \Delta U_{23}$ . В изохорном процессе  $A_{12} = 0$ , а в изотермическом процессе  $\Delta U_{23} = 0$ . Поэтому  $Q_{123} = \Delta U_{12} + A_{23}$  и  $A_{123} = A_{23}$ . При переходе  $2 \rightarrow 3$ :  $Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = A_{23}$ .

Следовательно,  $Q_{123} = \Delta U_{12} + Q_{23}$ .

Изменение внутренней энергии газа при переходе  $1 \rightarrow 2$ :

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}. \text{ Поскольку } \Delta T_{12} = 2T_0, \text{ то } \Delta U_{12} = 3\nu RT_0.$$

$$\text{Поэтому: } Q_{123} = 3\nu RT_0 + Q_{23}. \quad \frac{A_{123}}{Q_{123}} = \frac{Q_{23}}{3\nu RT_0 + Q_{23}} \approx 0,5.$$

$$\text{Ответ: } \frac{A_{123}}{Q_{123}} \approx 0,5.$$

26. *Ответ:*  $\frac{A_{123}}{Q_{123}} \approx 0,33$ .

27. *Возможное решение.*

Для определения количества теплоты  $Q_{123}$  необходимо сложить количества теплоты, сообщенные газу на участках 1–2 и 2–3:  $Q_{123} = Q_{12} + Q_{23}$ .

Исходя из приведенного графика, можно сделать вывод, что процесс 1–2 является изохорным. Для него, как следует из уравнения Клапейрона–Менделеева,  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ , откуда

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} = 2. \text{ Следовательно, } T_2 = T_1 \frac{p_2}{p_1} = 2T_1 = 300 \cdot 2 = 600 \text{ К.}$$

Работа газа в процессе 1–2 равна нулю, и для него первый закон термодинамики с учетом выражения для внутренней энергии одноатомного идеального газа принимает вид:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu RT_1 \approx 3,74 \text{ кДж.}$$

Процесс 2–3 является изобарным с давлением  $p = p_2 = \text{const}$ , для него первый закон термодинамики принимает вид:

$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}$ , где  $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$  — изменение внутренней энергии газа,  $A_{23} = p_2 (V_3 - V_2)$  — совершенная газом работа. Из уравнения Клапейрона–Менделеева  $pV = \nu RT$  следует, что

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + \nu R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2). \text{ Таким образом,}$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - 2T_1) \approx 6,23 \text{ кДж.}$$

В результате  $Q_{123} = \frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R (T_3 - 2T_1) \approx 10 \text{ кДж.}$

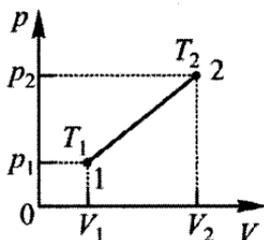
Ответ:  $Q \approx 10 \text{ кДж.}$

28. Ответ:  $Q \approx 10 \text{ кДж.}$

29. Ответ:  $Q \approx 6,6 \text{ кДж.}$

30. *Возможное решение.*

1. Изобразим процесс на  $pV$ -диаграмме и обозначим давления и объемы газа в состояниях 1 и 2 через  $(p_1, V_1)$  и  $(p_2, V_2)$  соответственно.



Температуру газа в состоянии 1 обозначим через  $T_1$ , а в состоянии 2 — через  $T_2$ .

2. Из первого закона термодинамики следует, что полученное газом количество теплоты идет на увеличение внутренней энергии газа и на совершение им работы:  $Q = \Delta U_{12} + A_{12}$ .

3. Используем термодинамическую модель одноатомного идеального газа:

$$\begin{cases} pV = \nu RT, \\ U = \frac{3}{2} \nu RT. \end{cases} \text{ Изменение его внутренней энергии}$$

$$\text{равно } \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

4. Совершенная газом работа численно равна площади трапеции под графиком процесса на  $pV$ -диаграмме, т. е. разности площадей треугольников:  $A_{12} = \frac{1}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$ .

5. С учетом этого получаем  $Q = \Delta U_{12} + A_{12} = 2(p_2V_2 - p_1V_1)$ . Из

графика процесса следует, что  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_2}{V_1}$ . Поэтому  $\frac{p_2V_2}{p_1V_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$

и выражение для количества теплоты приобретает вид

$$Q = 2p_1V_1 \left( \frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right) = 2\nu RT_1 \left( \frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right).$$

6. Заметим, что искомое отношение плотностей газа массой  $m$

в состояниях 1 и 2 равно  $\alpha = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m/V_1}{m/V_2} = \frac{V_2}{V_1}$ .

Поэтому  $Q = 2\nu RT_1 \left( \frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right) = 2\nu RT_1 (\alpha^2 - 1)$ , откуда

$$T_1 = \frac{Q}{2\nu R(\alpha^2 - 1)}.$$

Подставляя в полученную формулу числовые данные, находим  $T_1$ .

Ответ:  $T_1 \approx 400$  К.

31. Ответ:  $T_2 \approx 1600$  К.

32. *Возможное решение.*

Согласно первому началу термодинамики,  $Q_1 = \Delta U$ , (1)

$Q_2 = \Delta U + A$ , (2)

где  $\Delta U$  — приращение внутренней энергии газа (одинаковое в двух опытах),  $A$  — работа газа во втором опыте. Работа  $A$  совершалась газом в ходе изобарного расширения, так что

$A = p\Delta V$ , (3)

где  $\Delta V$  — изменение объема газа.

С помощью уравнения Клапейрона–Менделеева эту работу можно выразить через приращение температуры газа:

$$p\Delta V = \frac{m}{\mu} R\Delta T. \quad (4)$$

Решая систему уравнений (1)–(4), будем иметь:

$$\Delta T = \frac{\mu(Q_2 - Q_1)}{mR}.$$

Ответ:  $\Delta T \approx 1$  К.

33. Ответ:  $m \approx 0,5$  кг.

34. *Возможное решение.*

Пробка выскочит, если сила, с которой газ давит изнутри на пробку, превысит суммарную силу давления атмосферного воздуха снаружи на пробку и трения пробки о края отверстия. А это произойдет, когда давление газа превысит атмосферное давление на величину  $\Delta p = \frac{F}{S}$ , откуда:  $S = \frac{F}{\Delta p}$ .

Поскольку изначально давление газа в сосуде равно атмосферному, именно такое изменение давления газа в сосуде определяет предельное количество теплоты, переданное газу.

Поскольку объем  $V$  газа не меняется, изменение давления газа связано с изменением его температуры  $T$ . Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева  $V \cdot \Delta p = \nu R \cdot \Delta T$ , где  $\nu$  — количество газообразного вещества.

Чтобы найти изменение температуры газа, обратимся к первому закону термодинамики:  $\Delta U = A + Q$ . В нашем случае работа внешних сил  $A = 0$ , поскольку объем газа не меняется, и изменение внутренней энергии газа равно количеству полученной им теплоты:  $\Delta U = Q$ .

Для идеального одноатомного газа имеем:  $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \cdot \Delta T$ . Со-

отнеся это равенство с уравнением Клапейрона–Менделеева и равенством  $\Delta U = Q$ , находим:  $V \cdot \Delta p = \frac{2}{3} \Delta U = \frac{2}{3} Q$ ,

$$\Delta p = \frac{2Q}{3V} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 10^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 5 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Следовательно,  $S = \frac{F}{\Delta p} = \frac{100}{5 \cdot 10^5} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

Ответ:  $S = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

35. Ответ:  $F_{\max} = 50$  Н.

36. *Возможное решение.*

1. Аргон является одноатомным газом, подчиняющимся уравнению Клапейрона–Менделеева:  $pV = \nu RT$ , внутренняя энергия которого пропорциональна температуре:  $U = \frac{3}{2}\nu RT$ , так

$$\text{что } U_1 = \frac{3}{2}\nu RT_1, \quad U_2 = \frac{3}{2}\nu RT_2.$$

2. С помощью уравнения Клапейрона–Менделеева и условия расширения  $p_1V_1^2 = p_2V_2^2$  находим конечную температуру

$$T_2 = T_1 \frac{V_1}{V_2} \text{ и внутреннюю энергию газа в конечном состоянии}$$

$$U_2 = \frac{3}{2}RT_1 \frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{4}RT_1.$$

3. Уменьшение внутренней энергии при расширении

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \frac{3}{4}RT_1 \approx 3740 \text{ Дж.}$$

4. В соответствии с первым началом термодинамики уменьшение внутренней энергии газа равно сумме совершенной им работы и отданного им количества теплоты:  $\Delta U = Q + A$ , поэтому  $Q = \Delta U - A \approx 1247$  Дж.

*Ответ:*  $Q \approx 1247$  Дж.

37. *Ответ:*  $A \approx 2493$  Дж.

38. *Возможное решение.*

1. При медленном охлаждении газа его можно все время считать равновесным, поэтому можно пользоваться выражением для внутренней энергии одноатомного идеального газа  $U = \frac{3}{2}\nu RT$  и уравнением Клапейрона–Менделеева  $pV = \nu RT$ .

$$\text{Отсюда } U = \frac{3}{2}pV.$$

2. Поршень движется медленно, сил трения между поршнем и стенками сосуда нет, поэтому давление газа равно давлению окружающего воздуха (процесс изобарен).

3. Первое начало термодинамики для описания изобарного сжатия газа:

$$A_{\text{внешн}} = \Delta U + |Q|,$$

где  $A_{\text{внешн}} = pSx$  — работа внешних сил,

$$\Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V = -\frac{3}{2} pSx \text{ — изменение внутренней энергии од-}$$

ноатомного идеального газа при его изобарном сжатии,

$|Q|$  — количество теплоты, отведенное от газа при его охлаждении.

$$\text{Отсюда } pSx = -\frac{3}{2} pSx + |Q|, \quad |Q| = \frac{5}{2} pSx, \quad S = \frac{2}{5} \cdot \frac{|Q|}{px}.$$

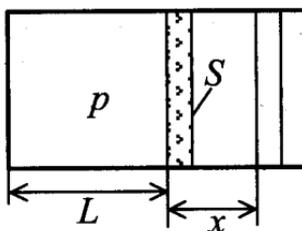
$$\text{Ответ: } S = 30 \text{ см}^2.$$

39. *Ответ:*  $|Q| = 75 \text{ Дж}.$

40. *Возможное решение.*

1. Поршень будет медленно двигаться, если сила давления газа на поршень и сила трения со стороны стенок сосуда уравновесят друг друга:  $p_2 S = F_{\text{тр}}$ ,

$$\text{откуда } p_2 = \frac{F_{\text{тр}}}{S} = 12 \cdot 10^5 \text{ Па} > p_1.$$



2. Поэтому при нагревании газа поршень будет неподвижен, пока давление газа не достигнет значения  $p_2$ . В этом процессе газ получает количество теплоты  $Q_{12}$ .

Затем поршень будет сдвигаться, увеличивая объем газа, при постоянном давлении. В этом процессе газ получает количество теплоты  $Q_{23}$ .

3. В процессе нагревания, в соответствии с первым началом термодинамики, газ получит количество теплоты:

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = (U_3 - U_1) + p_2 Sx = (U_3 - U_1) + F_{\text{тр}} x.$$

4. Внутренняя энергия одноатомного идеального газа:

$$U_1 = \frac{3}{2} \nu RT_1 = \frac{3}{2} p_1 SL \text{ в начальном состоянии,}$$

$$U_3 = \frac{3}{2} \nu RT_3 = \frac{3}{2} p_2 S(L+x) = \frac{3}{2} F_{\text{тр}}(L+x) \text{ в конечном состоянии.}$$

5. Из пп. 3, 4 получаем 
$$L = \frac{Q - \frac{5}{2} F_{\text{тр}} x}{\frac{3}{2} (F_{\text{тр}} - p_1 S)}.$$

Ответ:  $L = 0,3 \text{ м.}$

41. Ответ:  $Q = 1,65 \text{ кДж.}$

42. *Возможное решение.*

1. Коэффициент полезного действия тепловой машины

$$\eta = \frac{A_{\text{ц}}}{Q_{\text{нагр}}} = 1 - \frac{|Q_{\text{хол}}|}{Q_{\text{нагр}}},$$

где  $A_{\text{ц}}$  — работа, совершенная за цикл;  $Q_{\text{нагр}}$  — количество теплоты, полученное за цикл рабочим веществом тепловой машины от нагревателя;  $|Q_{\text{хол}}|$  — количество теплоты, отданное за цикл рабочим веществом холодильнику.

В рассматриваемом цикле газ получает положительное количество теплоты в изотермическом процессе и отдает в изохорном.

2. В изотермическом процессе внутренняя энергия идеального газа не изменяется, следовательно, в соответствии с первым законом термодинамики количество теплоты, полученное газом, равно работе газа:

$$Q_{\text{нагр}} = A.$$

3. Поскольку в изохорном процессе газ работу не совершает, количество теплоты, отданное газом на изохоре (в соответствии с первым законом термодинамики), равно изменению его внутренней энергии:

$$|Q_{\text{хол}}| = \frac{3}{2} \nu R |\Delta T|.$$

Подставляя второе и третье соотношения в первое, получаем значение КПД тепловой машины.

Ответ: 
$$\eta = 1 - \frac{3\nu R |\Delta T|}{2A}.$$

43. Ответ:  $A = \frac{3\nu R |\Delta T|}{2(1-\eta)}$ .

44. *Возможное решение.*

При изобарном расширении на участке 1–2 газ получает от нагревателя количество теплоты  $Q_{12}$ , а на участке 3–4 отдает холодильнику в изохорном процессе количество теплоты  $Q_{34}$ . На других участках теплообмен отсутствует. В соответствии с первым началом термодинамики работа газа за цикл  $A$  равна разности количества теплоты, полученного от нагревателя, и количества теплоты, отданного холодильнику:  $A = Q_{12} - Q_{34}$ .

По определению КПД теплового двигателя  $\eta = \frac{A}{Q_{12}} = 1 - \frac{Q_{34}}{Q_{12}}$ ,

что позволяет найти количество теплоты, полученное от нагревателя:  $Q_{12} = \frac{Q_{34}}{1-\eta}$ , если известно  $Q_{34}$ .

Количество теплоты  $Q_{34}$ , отданное при изохорном охлаждении на участке 3–4, равно уменьшению внутренней энергии газа этом участке:  $Q_{34} = |\Delta U_{34}|$ . Внутренняя энергия идеального газа пропорциональна абсолютной температуре, и для 1 моль одноатомного газа  $U = \frac{3}{2}RT$ , а модуль ее изменения на участ-

ке 3–4:

$$|\Delta U_{34}| = \frac{3}{2}R(T_3 - T_4) = \frac{3}{2}R(t_3 - t_4).$$

В итоге получим:

$$Q_{12} = \frac{Q_{34}}{1-\eta} = \frac{3R(t_{\max} - t_{\min})}{2(1-\eta)}.$$

Подставляя значения физических величин, получим:

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \cdot \frac{8,31 \cdot 265}{0,85} \approx 3886 \text{ Дж.}$$

Ответ:  $Q_{12} \approx 3886 \text{ Дж.}$

45. Ответ:  $\frac{\Delta T_{12}}{|\Delta T_{34}|} = 1,2.$

46. *Возможное решение.*

Из анализа графика цикла работа газа при переходе из состояния 1 в состояние 2:

$$A_{12} = 2p_0 \cdot 2V_0 = 4p_0V_0.$$

Количество теплоты, переданное газом за цикл холодильнику, согласно первому началу термодинамики:

$$\begin{aligned} |Q_x| = |Q_{23}| &= (U_2 - U_3) + A_{32} = \frac{3}{2}(\nu RT_2 - \nu RT_3) + 3p_0V_0 = \\ &= \frac{3}{2}(2p_0 \cdot 3V_0 - p_0V_0) + 3p_0V_0 = \frac{21}{2}p_0V_0 = \frac{21}{8}A_{21}. \end{aligned}$$

Ответ:  $|Q_x| \approx 13$  кДж.

47. *Ответ:*  $Q_H = 57,5$  кДж.

48. *Возможное решение.*

1. В данном цикле рабочее тело на участке 1–2 получает положительное количество теплоты от нагревателя:

$$Q_{\text{нагр}} = Q_{12} = (U_2 - U_1) + A_{12}.$$

На участке 2–3 (изохора) рабочее тело отдает холодильнику количество теплоты  $|Q_{\text{хол}}| = U_2 - U_3$ .

Наконец, на участке 3–1 (адиабата) внешние силы сжимают газ, совершая работу  $|A_{31}| = U_1 - U_3$ .

Поэтому количество теплоты  $|Q_{\text{хол}}|$ , отданное газом за цикл холодильнику, можно представить в виде:

$$|Q_{\text{хол}}| = (U_2 - U_1) + (U_1 - U_3) = (U_2 - U_1) + |A_{31}|.$$

2. Модель одноатомного идеального газа:

$$\begin{cases} pV = \nu RT; \\ U = \frac{3}{2}\nu RT. \end{cases}$$

3. Судя по рисунку в условии,  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_2}{V_1}$ , откуда

$$p_2 = p_1 \frac{V_2}{V_1} = 2p_0.$$

Поэтому

$$U_2 - U_1 = \frac{3}{2}p_2V_2 - \frac{3}{2}p_1V_1 = \frac{3}{2}(2p_0 \cdot 2V_0 - p_0V_0) = \frac{9}{2}p_0V_0,$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{1}{2} p_1 V_1 = \frac{1}{2} (2p_0 \cdot 2V_0 - p_0 V_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0,$$

откуда получаем:  $U_2 - U_1 = 3A_{12}$ .

4. В результате  $|Q_{\text{хол}}| = (U_2 - U_1) + |A_{31}| = 3A_{12} + |A_{31}| = 3370$  Дж.

Ответ:  $|Q_{\text{хол}}| = 3A_{12} + |A_{31}| = 3370$  Дж.

49. Ответ:  $|A_{31}| = |Q_{\text{хол}}| - (U_2 - U_1) = |Q_{\text{хол}}| - 3A_{12} = 370$  Дж.

50. *Возможное решение.*

Пар в воздухе подчиняется уравнению Клапейрона–Менделеева

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

где  $m$  — масса пара,  $p$  — парциальное давление,  $T = t + 273$  — абсолютная температура воздуха, а  $M = 18 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup> — молярная масса пара.

Учитывая, что относительная влажность  $\varphi = \frac{p}{p_n}$ , подставим в

уравнение  $p = \varphi p_n$  и вычислим массу пара:

$$m = \frac{pV}{RT} \cdot M = \frac{p_n V}{RT} M \cdot \varphi.$$

Подставляя сюда значения физических величин, найдем

$$m = \frac{5945 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8}{8,31 \cdot 309} \approx 33,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

Ответ:  $m \approx 33,3$  г.

51. Ответ:  $\varphi \approx 60$  %.

52. *Возможное решение.*

Уравнение Клапейрона–Менделеева для водяных паров в сосудах до и после открывания крана:

$$p_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu} RT, \quad (1)$$

$$p_2 V_2 = \frac{m_2}{\mu} RT, \quad (2)$$

$$p(V_1 + V_2) = \frac{(m_1 + m_2)}{\mu} RT. \quad (3)$$

Относительная влажность в сосудах до и после открывания крана:

$$\varphi_{1,2} = \frac{P_{1,2}}{P_n}, \quad (4)$$

$$\varphi = \frac{P}{P_n}. \quad (5)$$

Здесь  $p_n$  — давление насыщенных паров при комнатной температуре.

Объединяя (1)–(5), получим:

$$\varphi = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{0,3 \cdot 20 + 0,4 \cdot 30}{20 + 30} = 0,36 \text{ (36\%)}.$$

Ответ:  $\varphi = 36\%$ .

53. Ответ: 1,5.

54. Возможное решение.

1. Относительная влажность  $\varphi = \frac{P}{P_{\text{нп}}} 100\%$ . В начальном со-

стоянии парциальное давление пара в сосуде было равно

$$p_1 = \frac{\varphi}{100\%} p_{\text{нп}} = 0,4 p_{\text{нп}}, \text{ где } p_{\text{нп}} \text{ — давление насыщенного пара.}$$

2. Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева  $p_1 = \frac{m_0}{MV} RT$ ,

где  $T$  — температура пара,  $V$  — объем сосуда,  $M$  — молярная масса воды,  $m_0$  — начальная масса водяного пара в сосуде.

3. После сжатия пар стал насыщенным, а его масса уменьши-

лась до  $m_1$ . Поэтому  $p_2 = p_{\text{нп}} = \frac{m_1}{M(V/5)} RT$ .

4. Объединяя 1, 2 и 3, получаем:  $\alpha = \frac{m_0 - m_1}{m_0} = 0,5$ .

Ответ:  $\alpha = 0,5$ .

55. Ответ:  $V_{\text{нач}} / V_{\text{конечн}} = 3$ .

56. Возможное решение.

Согласно первому началу термодинамики, количество теплоты, необходимое для плавления льда, равно  $\Delta Q_1 = \lambda m$ , где  $\lambda$  — удельная теплота плавления льда. С другой стороны, подведенное от нагревателя количество теплоты  $\Delta Q_2 = \eta Pt$ . В соот-

ветствии с заданными условиями  $\Delta Q_1 = 66$  кДж и  $\Delta Q_2 = 84$  кДж, а значит,  $\Delta Q_1 < \Delta Q_2$  и поставленная задача выполнима.

*Ответ:* поставленная задача выполнима.

57. *Ответ:* поставленная задача невыполнима.

58. *Возможное решение.*

Количество теплоты, выделяющееся при сжигании дров:

$$Q = \lambda m. \quad (1)$$

На нагрев воды расходуется количество теплоты

$$Q_{\text{п}} = (1 - \eta)Q, \quad (2)$$

где  $\eta$  относительная доля количества теплоты  $Q$ , рассеянная в окружающую среду.

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды до кипения:

$$Q_{\text{п}} = cM(t_{\text{к}} - t_0). \quad (3)$$

Объединяя соотношения (1)–(3), получим

$$M = \frac{(1 - \eta)\lambda m}{c(t_{\text{к}} - t_0)}.$$

*Ответ:*  $M \approx 2$  кг.

59. *Ответ:*  $m \approx 2,4$  кг.

60. *Возможное решение.*

Количество теплоты, необходимое для нагревания льда, находящегося в калориметре, до температуры  $t$ :  $Q = c_1 m_1 (t - t_1)$ . (1)

Количество теплоты, выделяющееся при охлаждении воды до  $t_0 = 0$  °С:

$$Q_1 = c_2 m_2 (t_2 - t_0). \quad (2)$$

Количество теплоты, выделяющееся при отвердевании воды при 0 °С:

$$Q_2 = \lambda m_2. \quad (3)$$

Количество теплоты, выделяющееся при охлаждении льда, полученного из воды, до температуры  $t$ :  $Q_3 = c_1 m_2 (t_0 - t)$ . (4)

Уравнение теплового баланса:  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ . (5)

Объединяя (1)–(5), получаем:  $m_2 = \frac{c_1 m_1 (t - t_1)}{c_2 (t_2 - t_0) + \lambda + c_1 (t_0 - t)} \approx 15$  г.

*Ответ:*  $m_2 \approx 15$  г.

61. *Ответ:*  $t \approx -8^\circ\text{C}$ .

62. *Возможное решение.*

1. Пусть  $m$  — масса льда,  $\lambda$  — удельная теплота плавления льда,  $c$  — удельная теплоемкость воды. Тогда

$$\begin{cases} Q = \lambda m + cm(t_2 - t_1), \\ \frac{Q}{2} = \lambda(km). \end{cases}$$

2. Выразив  $Q$  из второго уравнения и подставив этот результат в первое уравнение, получим:

$$(2k - 1)\lambda = c(t_2 - t_1),$$

откуда

$$k = \frac{1}{2} \left[ \frac{c}{\lambda} (t_2 - t_1) + 1 \right] \approx 0,63.$$

*Ответ:*  $k \approx 0,63$ .

63. *Ответ:*  $t \approx 16^\circ\text{C}$ .

64. *Возможное решение.*

1. Пусть  $m$  — масса льда,  $\lambda$  — удельная теплота плавления льда,  $c$  — удельная теплоемкость воды. Тогда

$$\begin{cases} Q = \lambda \left( \frac{3}{4} m \right), \\ Q + q = \lambda m + cm(t_2 - t_1). \end{cases}$$

2. Разделив второе уравнение на первое, получим:

$$1 + \frac{q}{Q} = \frac{4}{3} \left( 1 + \frac{c}{\lambda} (t_2 - t_1) \right),$$

откуда:

$$q = \frac{Q}{3} \left[ 1 + \frac{4c}{\lambda} (t_2 - t_1) \right] = \frac{50 \cdot 10^3}{3} \cdot \left[ 1 + \frac{4 \cdot 4200}{3,3 \cdot 10^5} \cdot (20 - 0) \right] \approx 33,6 \text{ кДж}$$

*Ответ:*  $q \approx 33,6 \text{ кДж}$ .

65. *Возможное решение.*

Количество теплоты, полученное льдом при его таянии при  $0^\circ\text{C}$ :

$$Q_1 = \lambda m_1. \quad (1)$$

Количество теплоты, полученное водой при ее нагревании от  $0^\circ\text{C}$  до температуры  $t_0 = 2^\circ\text{C}$ :

$$Q_2 = c(m_1 + m_2)(t_0 - 0^\circ\text{C}). \quad (2)$$

Количество теплоты, отданное водой при охлаждении ее от температуры  $t$  до температуры  $t_0$ :

$$Q = cm(t - t_0). \quad (3)$$

Уравнение теплового баланса:

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (4)$$

Объединяя (1)–(4), получаем:

$$\begin{aligned} t &= \frac{t_0 c(m + m_1 + m_2) + \lambda m_1}{cm} = \\ &= \frac{2 \cdot 4200 \cdot (0,3 + 0,2 + 0,2) + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 0,2}{4200 \cdot 0,3} \approx 57^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Ответ:  $t \approx 57^\circ\text{C}$ .

66. Ответ: 200 г льда.

### 3. Электродинамика (Электричество)

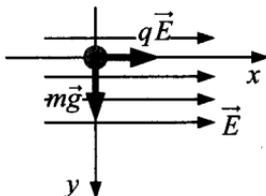
#### 3.1. Задачи с кратким ответом

- |               |                     |                         |
|---------------|---------------------|-------------------------|
| 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. 110 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 В/м.  | 20. 0,1 мг.         | 21. 0,5 мг.             |
| 22. 3 с.      | 23. 1 мг.           | 24. 10 пКл.             |
| 25. 3 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.           |

### 3.2. Задачи с развернутым ответом

1. *Возможное решение.*

1. На тело действуют сила тяжести  $\vec{F}_1 = m\vec{g}$  и сила со стороны электрического поля  $\vec{F}_2 = q\vec{E}$ .



2. В инерциальной системе отсчета, связанной с Землей, в соответствии со вторым законом Ньютона, вектор ускорения тела пропорционален вектору суммы сил, действующих на него:  $m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ .

3. 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:  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_x}{a_y} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{qE}{mg}$ . От-

сюда  $\operatorname{tg} \alpha = 1$ ,  $\alpha = 45^\circ$ .

*Ответ:*  $\alpha = 45^\circ$ .

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

3. *Возможное решение.*

Выражение для ускорения заряда в электрическом поле:

$$a = \frac{Eq}{m}.$$

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

После преобразований получаем выражение для времени:

$$t = \sqrt{\frac{dm}{Eq}} = 0,1 \text{ с}.$$

*Ответ:*  $t = \sqrt{\frac{dm}{Eq}} = 0,1 \text{ с}$ .

4. *Возможное решение.*

Выражение для ускорения заряда в электрическом поле:

$$a = \frac{Eq}{m}.$$

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

Связь между временем, пройденным путем 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:  $\Delta h = \frac{mgd}{2qE} = 0,05$  м.

5. Ответ:  $E = 10^4$  В/м.

6. *Возможное решение.*

Выражения для потенциальной энергии тела в поле тяжести  $E_{\text{п}} = mgh$ ; в электрическом поле:  $E_{\text{п}} = qEh$ .

Выражение для импульса, передаваемого шариком пластине при абсолютно упругом ударе:  $\Delta p = 2mv$ .

Закон сохранения механической энергии:

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

Отсюда  $p = \sqrt{2mh(mg + qE)}$ ,

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

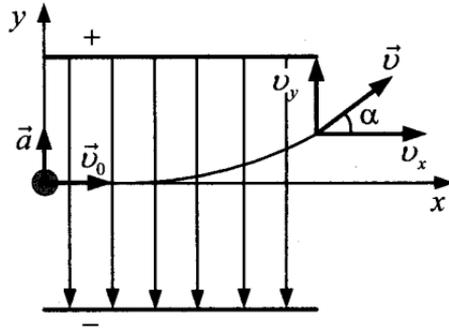
Ответ:  $\Delta p = 2\sqrt{2mh(mg + qE)} = 0,07$  кг · м/с.

7. Ответ:  $h = \frac{(\Delta p)^2}{8m(mg + qE)} = 0,4$  м.

8. *Возможное решение.*

1. Зависимость координат электрона от времени с учетом начальных условий:

$$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{at^2}{2} \end{cases}$$



2. Уравнения для проекций скорости  $v_x = v_0$ ;  $v_y = at$ .

3. В момент вылета из конденсатора  $x = L = v_0 t$ ,

поэтому  $t = \frac{L}{v_0}$ .

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

так как  $F = eE$ .

Отсюда  $\operatorname{tg}\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{e\Delta\varphi L}{mdv_0^2}$ .

Ответ:  $\operatorname{tg}\alpha = \frac{e\Delta\varphi L}{mdv_0^2}$ .

9. Ответ:  $\Delta\varphi = \frac{mdv_0^2 \operatorname{tg}\alpha}{eL}$ .

10. *Возможное решение.*

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

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

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

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

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

Ответ:  $d \approx 0,01$  м.

11. Ответ:  $v = 3$  м/с.

12. Возможное решение.

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

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

Ответ:  $10^{-25}$  кг.

13. Возможное решение.

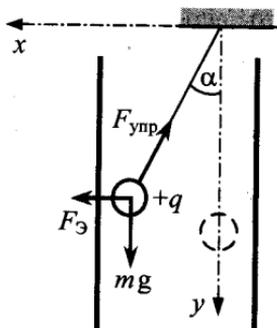
Центростремительное ускорение электрона в конденсаторе  
 $a = \frac{v^2}{R}$  задается силой  $F = qE$  действия электрического поля,  
 так что  $qE = m \frac{v^2}{R}$ . (Здесь  $q$ ,  $m$  и  $v$  — соответственно заряд,  
 масса и скорость электрона,  $E$  — напряженность электриче-  
 ского поля).

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

Ответ:  $6,6 \cdot 10^6$  м/с.

14. *Возможное решение.*

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



Возведем оба равенства в квадрат и сложим их:

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

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

Напряженность электрического поля в конденсаторе:  $E = \frac{U}{d}.$

Таким образом, 
$$U = \frac{d \cdot \sqrt{(k\Delta l)^2 - (mg)^2}}{q} = 5000 \text{ В}.$$

Ответ:  $U = 5 \text{ кВ}.$

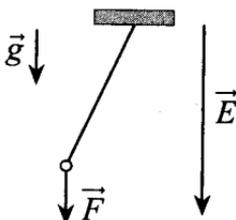
15. Ответ:  $q = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}.$

16. *Возможное решение.*

Период колебаний маятника определяется соотношением

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{a}}, \text{ где } a \text{ — ускорение шарика в электрическом поле и}$$

поле тяготения. По второму закону Ньютона  $a = \frac{F}{m}.$



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

$$F = mg + qE \Rightarrow a = \frac{mg + qE}{m} = g + \frac{q}{m} E.$$

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

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

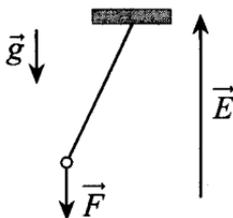
Ответ:  $T \approx 1,15$  с.

17. *Возможное решение.*

Период колебаний маятника определяется соотношением

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{a}}, \text{ где } a \text{ — ускорение шарика в электрическом поле и}$$

поле тяготения.



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

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

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

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

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

Ответ:  $l \approx 0,13$  м.

18. *Возможное решение.*

Если нити нет, шарик будет падать с ускорением, равным не  $g$ ,

а  $g + \frac{qE}{m}$ , где  $qE$  — сила действия электрического поля на

пряженности  $E$  на заряд  $q$ . Поэтому в формуле для собствен-

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

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

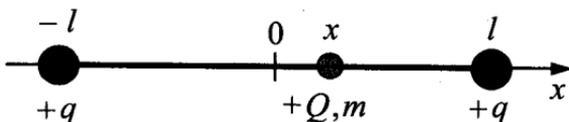
Ответ:  $10 \text{ с}^{-1}$ .

19. *Возможное решение.*

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

$$\begin{aligned} F_x &= k \frac{qQ}{(l+x)^2} - k \frac{qQ}{(l-x)^2} = kqQ \frac{(l-x)^2 - (l+x)^2}{(l+x)^2(l-x)^2} = \\ &= -kqQ \frac{4lx}{(l+x)^2(l-x)^2} \approx -k \frac{4qQ}{l^3} x, \end{aligned}$$

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



При такой зависимости ускорения от смещения бусинка совершает гармонические колебания, период которых

$T = \pi \sqrt{\frac{m}{kqQ}} l^3$ . При увеличении заряда бусинки  $Q_1 = 2Q$  пери-

од колебаний уменьшится:  $\frac{T_1}{T} = \sqrt{\frac{Q}{Q_1}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ .

Ответ:  $T_1 = \frac{T}{\sqrt{2}}$ .

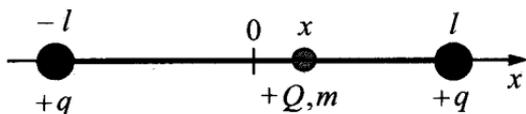
20. *Возможное решение.*

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

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

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

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



При такой зависимости ускорения от смещения бусинка совершает гармонические колебания, период которых

$$T = \pi \sqrt{\frac{m}{kqQ}} l^3. \text{ При уменьшении заряда бусинки } Q_1 = 1/2Q \text{ пе-}$$

риод колебаний увеличится:  $T_1/T = \sqrt{2}$ .

Ответ:  $T_1 = \sqrt{2}T$ .

21. Ответ: При увеличении заряда бусинки  $Q_1 = 4Q$  период колебаний уменьшится:  $T_1 = 0,5 T$ .

22. Возможное решение.

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

2. Запишем закон Ома для двух случаев измерений:

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

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

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

Ответ:  $\approx 4,1 \text{ А}$ .

23. Ответ:  $I = 2 \text{ А}$ .

24. *Возможное решение.*

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

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

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

*Ответ:*  $U = 220$  В.

25. *Ответ:* 110В.

26. *Возможное решение.*

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

2. Сопротивление нити накала при этом определяется законом

$$\text{Ома: } R_1 = \frac{U_1}{I_1} = 6 \text{ Ом.}$$

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

4. Сопротивление нити накала при этом напряжении

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} \approx 4,3 \text{ Ом.}$$

5. Так как сопротивление нити пропорционально температуре

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

*Ответ:*  $T_2 \approx 2214$  К.

27. *Ответ:* 3100 К.

28. *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  $I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R + R_A}$ .

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

Подставляя значения сопротивлений, получим ответ:

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

Ответ:  $I_2 \approx 0,9 I_1$ .

29. *Возможное решение.*

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

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

$$\text{Показание вольтметра } U_1 = I_1 \cdot \frac{R \cdot R_V}{R + R_V} = \frac{\mathcal{E}}{R_A + \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}} \cdot \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}.$$

В схеме 2 напряжение на вольтметре равно  $\mathcal{E}$ , так как внутреннее сопротивление источника равно нулю. Поэтому  $U_2 = \mathcal{E}$  и

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\frac{R \cdot R_V}{R + R_V}}{R_A + \frac{R \cdot R_V}{R + R_V}}.$$

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

Ответ:  $U_1 = 0,9 \cdot U_2$ .

30. *Возможное решение.*

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

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_1}.$$

Отсюда  $R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_V}{R_V + R_1} = \frac{20 \cdot 10000}{10020} \approx 19,96 \approx 20$  (Ом).

Следовательно,

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

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

Для определения напряжения используем закон Ома для участка цепи:  $I = \frac{U}{R_1}$ . Отсюда  $U = I \cdot R_1 = 0,21 \cdot 20 = 4,2$  (В).

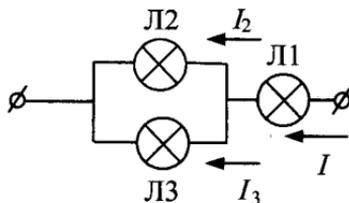
Вольтметр же показывает напряжение 4,6 В. Цена деления вольтметра 0,2 В, что в два раза меньше отклонения показаний.

Следовательно, **вольтметр дает неверные показания.**

31. *Ответ:* амперметр дает верные показания, а вольтметр — неверные.

32. *Возможное решение.*

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



1. Напряжение на концах цепи из последовательно соединенных участков равно сумме напряжений на участках:

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

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

или  $3\alpha I_2^2 = 6\alpha I_3^2$ , откуда  $I_3 = \frac{I_2}{\sqrt{2}}$  и  $I = I_2 + \frac{I_2}{\sqrt{2}} \approx 1,71I_2$ ,

$$I_2 \approx \frac{I}{1,71}.$$

3. Тогда из п. 1 и 2 получим

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

Ответ:  $U \approx 2\alpha I^2$

33. Ответ:  $U \approx 1,7\alpha I^2$ .

34. Возможное решение.

Ток в цепи до замыкания ключа К

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

где  $\mathcal{E}$  — 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 течет, искомая мощность, выделяемая на резисторе  $R_2$  после замыкания ключа К,

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

Объединяя (1)–(4), получаем:

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

Ответ:  $P_2' = 9 \text{ Вт.}$

35. Ответ: 4,5 Вт.

36. *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

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

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

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

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:  $P_3 = 13,5 \text{ Вт.}$

37. *Ответ:  $P = 6 \text{ Вт.}$*

38. *Возможное решение.*

1. 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  $\mathcal{E}$  и  $r$ :

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

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

Пусть  $R_1 = 0$ , тогда  $I_1 = \mathcal{E}/r = 6 \text{ А}$  — сила тока короткого замыкания. Найдем 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, сопротив-

ление 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.

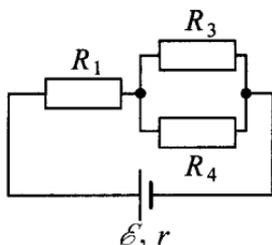
3. Мощность тока, выделяемая на внутреннем сопротивлении источника,  $P_r = I^2 r$ . Отсюда  $I = \sqrt{\frac{P_r}{r}} = \sqrt{\frac{8 \text{ Вт}}{2 \text{ Ом}}} = 2$  А. Такая сила тока наблюдается в цепи, согласно графику, при  $R = 4$  Ом.

Ответ:  $R = 4$  Ом.

39. Ответ:  $R = 2$  Ом.

40. Возможное решение.

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



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

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

$$P = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(1,5R + r)^2} = \frac{12100 \cdot 20}{1024} \approx 236 \text{ Вт.}$$

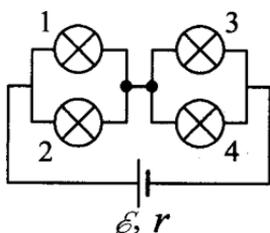
Ответ:  $P \approx 236$  Вт.

41. Ответ:  $P \approx 26$  Вт.

42. *Возможное решение.*

1. Сопротивление внешней цепи

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



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

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

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

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

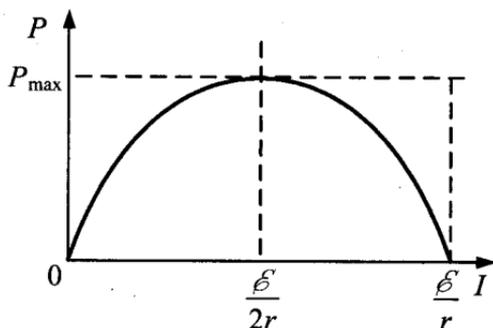
Ответ:  $P = 62,5$  Вт.

43. *Ответ:*  $P = 125$  Вт.

44. *Возможное решение.*

Мощность, выделяемая в цепи,

$$P = IU = I(\mathcal{E} - Ir).$$



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

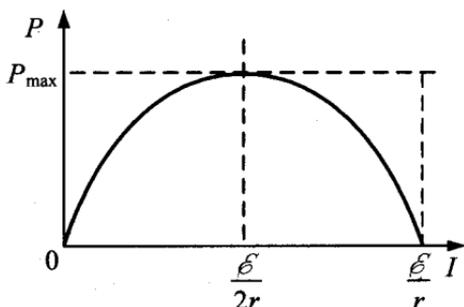
Поэтому максимум функции  $P(I)$  достигается при  $I = \frac{\mathcal{E}}{2r}$  и ра-

вен  $P_{\max} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r} = 4,5$  (Вт).

Ответ:  $P_{\max} = 4,5$  Вт.

45. *Возможное решение.*

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



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

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

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

Поэтому  $P_{\max} = \mathcal{E}^2/(4R)$ . ЭДС источника  $\mathcal{E} = \sqrt{4R P_{\max}} = 6$  В.

Ответ:  $\mathcal{E} = 6$  В.

46. *Возможное решение.*

1. Если при подключении батареи потенциал точки А оказывается выше, чем потенциал точки В,  $\varphi_A > \varphi_B$ , то ток через диод не течет и эквивалентная схема цепи имеет вид, изображенный на рисунке 1.

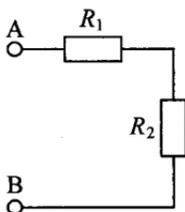


Рис. 1

Суммарное сопротивление последовательно соединенных резисторов равно  $R_0 = R_1 + R_2$ , а потребляемая мощность

$$P_1 = \frac{\mathcal{E}^2}{R_1 + R_2}.$$

2. При изменении полярности подключения батареи  $\varphi_A < \varphi_B$ , открытый диод подключен 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):  $P_2 = \frac{\mathcal{E}^2}{R_1} > P_1$ .

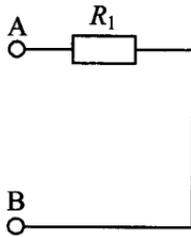


Рис. 2

3. Из этих уравнений:  $R_2 = \frac{\mathcal{E}^2}{P_1} - \frac{\mathcal{E}^2}{P_2}$ ,  $R_1 = \frac{\mathcal{E}^2}{P_2}$ .

4. 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.

47. *Возможное решение.*

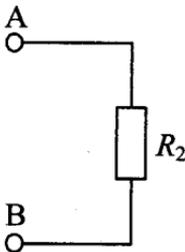


Рис. 1

1. 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 течет, а течет через резистор  $R_2$ . Эквивалентная схема цепи имеет вид, изображенный на рисунке

1. Потребляемая мощность  $P_1 = \frac{\mathcal{E}^2}{R_2}$ .

2. При изменении полярности подключения батареи  $\varphi_A < \varphi_B$ , ток через резистор  $R_2$  не течет, но течет через резистор  $R_1$ . Эквивалентная схема цепи в этом случае изображена на рисунке 2. При этом потребляемая мощность  $P_2 = \frac{\mathcal{E}^2}{R_1}$ .

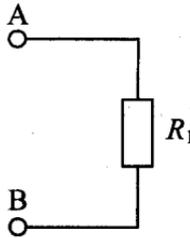


Рис. 2

3. Из этих уравнений:  $R_2 = \frac{\mathcal{E}^2}{P_1}$ ,  $R_1 = \frac{\mathcal{E}^2}{P_2}$ .

4. 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.

48. *Возможное решение.*

Мощность  $P = I^2 R$ .

1. Ключ разомкнут. Из закона Ома для замкнутой цепи:

$$I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r} = \frac{\mathcal{E}}{2R + r}, \quad P_1 = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(2R + r)^2}.$$

2. Ключ замкнут.  $R_{23} = \frac{R}{2}$ ;  $I_{II} = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_{23} + r} = \frac{\mathcal{E}}{\frac{3}{2}R + r}$ .

$$P_{II} = \frac{\mathcal{E}^2 R}{\left(\frac{3}{2}R + r\right)^2}.$$

Отношение мощностей  $\frac{P_{II}}{P_1} = \frac{(2R + r)^2}{\left(\frac{3}{2}R + r\right)^2} = \frac{(2 \cdot 1 + 0,5)^2}{\left(\frac{3}{2} \cdot 1 + 0,5\right)^2} \approx 1,56$ .

Ответ: мощность увеличится в  $\frac{25}{16} \approx 1,56$  раза.

49. *Ответ:* уменьшится в 1,56 раза.

50. *Возможное решение.*

Количество теплоты согласно закону Джоуля–Ленца:

$$Q = I^2 R t. \quad (1)$$

Это количество теплоты затратится на нагревание проводника:

$$Q = c m \Delta T, \quad (2)$$

$$\text{где масса проводника } m = \rho l S; \quad (3)$$

$c$  — удельная теплоемкость алюминия;  $S$  — площадь поперечного сечения;  $l$  — длина проводника.

$$\text{Сопротивление проводника } R = \frac{\rho_{\text{эл}} l}{S}. \quad (4)$$

$$\text{Из (1)–(4) получаем: } t = \frac{\Delta T c \rho S^2}{\rho_{\text{эл}} I^2} = \frac{10 \cdot 900 \cdot 2700 \cdot 4 \cdot 10^{-12}}{2,5 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2} \approx 39 \text{ с.}$$

*Ответ:*  $t \approx 39$  с.

51. *Возможное решение.*

Количество теплоты согласно закону Джоуля–Ленца:

$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot t. \quad (1)$$

Это количество теплоты затратится на нагревание проводника:

$$Q = c m \Delta T, \quad (2)$$

$$\text{где масса проводника } m = \rho l S; \quad (3)$$

$c$  — удельная теплоемкость меди;  $S$  — площадь поперечного сечения;  $l$  — длина проводника.

$$\text{Сопротивление проводника } R = \frac{\rho_{\text{эл}} l}{S}. \quad (4)$$

Из (1)–(4) получаем:

$$U = \sqrt{\frac{\Delta T c \rho l^2 \rho_{\text{эл}}}{t}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 380 \cdot 8900 \cdot 10^2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}}{15}} \approx 2 \text{ В.}$$

*Ответ:*  $U \approx 2$  В.

52. *Возможное решение.*

Определены значения напряжения и силы тока

$$U_1 = 3,2 \text{ В} \quad I_1 = 0,5 \text{ А.}$$

$$U_2 = 2,6 \text{ В} \quad I_2 = 1 \text{ А.}$$

Записан закон Ома для полной цепи:  $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$  или  $\mathcal{E} = U + Ir$ .

Составлены два уравнения:  $\mathcal{E} = U_1 + I_1 r$ ;  $\mathcal{E} = U_2 + I_2 r$  и

записано равенство:  $U_1 + I_1 r = U_2 + I_2 r$ .

Определены числовые значения внутреннего сопротивления и

$$\text{ЭДС: } r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{3,2\text{В} - 2,6\text{В}}{0,5\text{А}} = 1,2 \text{ Ом}$$

$$\mathcal{E} = 3,2 \text{ В} + (0,5 \text{ А} \cdot 1,2 \text{ Ом}) = 3,8 \text{ В}$$

$$\text{или } \mathcal{E} = 2,6 \text{ В} + (1,0 \text{ А} \cdot 1,2 \text{ Ом}) = 3,8 \text{ В}.$$

Записано выражение для КПД источника тока в первом опыте:

$$\eta = \frac{U_1 I_1}{\mathcal{E} I_1} = \frac{U_1}{\mathcal{E}}, \text{ и рассчитано его значение } \eta = \frac{3,2}{3,8} \cdot 100\% = 84\%.$$

*Ответ:* 84 %.

Примечание: отклонения в записанных показаниях приборов в пределах цены деления этих приборов не считаются ошибкой; соответственно, могут различаться и числовые значения ответа.

**53.** *Возможное решение.*

Согласно показаниям приборов,

$$U_1 = 3,2 \text{ В} \quad I_1 = 0,5 \text{ А}.$$

$$U_2 = 2,6 \text{ В} \quad I_2 = 1 \text{ А}.$$

Закон Ома для полной цепи:  $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ .

Отсюда:  $\mathcal{E} = U + Ir$ ,  $\mathcal{E} = U_1 + I_1 r$ ;  $\mathcal{E} = U_2 + I_2 r$ ;  $U_1 + I_1 r = U_2 + I_2 r$ .

Следовательно,  $r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{3,2\text{В} - 2,6\text{В}}{0,5\text{А}} = 1,2 \text{ Ом}.$

Количество теплоты, выделившейся в источнике тока во втором опыте,  $Q_2 = I_2^2 r t$ ,  $Q_2 = 72 \text{ Дж}.$

*Ответ:*  $Q_2 = 72 \text{ Дж}.$

Примечание: отклонения в записанных показаниях приборов в пределах цены деления этих приборов не считаются ошибкой; соответственно, могут различаться и числовые значения ответа.

**54.** *Возможное решение.*

Формула для расчета требуемого отношения  $\alpha = \frac{A_{\text{упр}}}{A}$ ,

где  $A_{\text{упр}} = F_{\text{упр}} \cdot S$ , а  $A = U \cdot I \cdot t$ .

Показания приборов и необходимые для расчета данные:

$F_{\text{тяги.дв}} = 0,4 \text{ Н}; t = 3,98 \text{ с}; U = 4,6 \text{ В}; I = 0,22 \text{ А}; S = 26 \text{ см}.$

Расчет отношения  $\alpha$ :  $\alpha = \frac{0,4 \text{ Н} \cdot 0,26 \text{ м}}{4,6 \text{ В} \cdot 0,22 \text{ А} \cdot 3,98 \text{ с}} \approx 0,026 \approx 3\%.$

*Ответ:*  $\alpha \approx 3\%.$

Примечание: возможны изменения в результатах в связи с погрешностью прямых измерений. В связи с этим изменяется числовое значение ответа.

**55.** *Возможное решение.*

Элементы ответа.

1. Приведена формула для расчета отношения  $\alpha = \frac{|A_{\text{тр}}|}{A}$  и указано, что  $|A_{\text{тр}}| = F_{\text{упр}} \cdot S$ , а  $A = U \cdot I \cdot t$  и  $F_{\text{тр}} = F_{\text{упр}}.$

2. Записаны необходимые для расчета силы трения данные:

$t = 3,98 \text{ с}; U = 4,6 \text{ В}; I = 0,22 \text{ А}; S = 26 \text{ см}.$

3. Получено выражение для силы трения  $F_{\text{тр}} = \frac{\alpha \cdot U \cdot I \cdot t}{S}$  и рас-

считан модуль силы трения  $F_{\text{тр}} = \frac{0,05 \cdot 4,6 \cdot 0,22 \cdot 3,98}{0,26} \approx 0,8 \text{ Н}.$

Примечание: возможны изменения в результатах в связи с погрешностью прямых измерений. В связи с этим изменяется числовое значение ответа.

**56.** *Возможное решение.*

При перемещении каретки совершается работа  $A = F_{\text{упр}} \cdot S.$

При этом двигатель потребляет энергию  $W = IUt.$  Дано соотно-

шение:  $\eta = \frac{A}{W} = \frac{F_{\text{упр}} S}{IUt}.$

Поскольку каретка движется равномерно, то сила упругости нити равна силе трения  $F_{\text{упр}} = F_{\text{тр}}.$

Отсюда  $U = \frac{F_{\text{тр}} \cdot S}{\eta \cdot I \cdot t},$

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,  $U = \frac{0,4 \cdot 0,26}{0,05 \cdot 0,22 \cdot 3,98} \approx 2,4 \text{ (В)}.$

*Ответ:*  $U \approx 2,4 \text{ В}.$

57. *Возможное решение.*

Выражение для расчета:  $\alpha = \frac{F_{\text{тяги}} \cdot S}{U \cdot I \cdot t}$ . Следовательно, для по-

казаний секундомера справедлива формула:  $t = \frac{F_{\text{тяги}} \cdot S}{\alpha \cdot I \cdot U}$ .

При равномерном движении сила трения равна силе тяги.

Показания приборов и необходимые для расчетов данные:

$$F_{\text{тяги}} = 0,4 \text{ Н};$$

$$U = 4,6 \text{ В}; I = 0,22 \text{ А}; S = 26 \text{ см.}$$

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.

58. *Возможное решение.*

Электрический ток через последовательно включенные  $R_1$  и  $C$  не идет, поэтому напряжения на конденсаторе и резисторе  $R_2$  одинаковы и равны:  $U = IR_2$ ,  $U = Ed$ , где  $E$  — напряженность поля в конденсаторе. Отсюда  $d = \frac{IR_2}{E}$ .

Согласно закону Ома,  $I = \frac{\mathcal{E}}{r + R_2} \Rightarrow d = \frac{\mathcal{E}R_2}{(R_2 + r)E}$ .

*Ответ:*  $d = 10^{-3} \text{ м} = 1 \text{ мм}$ .

59. *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  $U_2 = U_{R_3C} = U_C$ .

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r + R_1 + R_2} \cdot U_C = IR_2 = \frac{\mathcal{E}R_2}{r + R_1 + R_2};$$

$$U_C = \frac{3,6 \cdot 7}{1 + 4 + 7} = \frac{25,2}{12} = 2,1 \text{ (В)};$$

$$q = CU_C; q = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2,1 = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ (Кл)}.$$

*Ответ:*  $q = 4,2 \text{ мкКл}$ .

**60.** *Возможное решение.*

1. Конденсатор заряжен, поэтому ток через него не течет. Согласно закону Ома для замкнутой цепи через источник течет

ток силы  $I = \frac{\mathcal{E}}{r + R_0}$ , где  $R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$  — сопротивление внешней

цепи (параллельно соединенных резисторов  $R_1$  и  $R_2$ ).

2. Так как конденсатор подключен параллельно с резисторами  $R_1$  и  $R_2$ , то напряжение на конденсаторе

$$U = IR_0 = \frac{\mathcal{E} R_0}{r + R_0} = \frac{\mathcal{E} R_1 R_2}{r(R_1 + R_2) + R_1 R_2}.$$

3. Определим энергию электрического поля конденсатора:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C}{2} \left( \frac{\mathcal{E} R_1 R_2}{r(R_1 + R_2) + R_1 R_2} \right)^2, \quad \text{откуда найдем емкость}$$

конденсатора  $C$ :

$$C = 2W \left( \frac{r(R_1 + R_2) + R_1 R_2}{\mathcal{E} R_1 R_2} \right)^2 = \\ = 120 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{0,4 \cdot 10 + 24}{24 \cdot 10} \right)^2 \approx 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

*Ответ:*  $C \approx 1,6$  мкФ.

**61.** *Возможное решение.*

1. Конденсатор заряжен, поэтому ток через него не течет. Согласно закону Ома, для замкнутой цепи через источник течет

ток силы  $I = \frac{\mathcal{E}}{r + R_0}$ , где  $R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$  — сопротивление внешней

цепи (параллельно соединенных резисторов  $R_1$  и  $R_2$ ).

2. Так как конденсатор подключен параллельно с резисторами  $R_1$  и  $R_2$ , то напряжение на конденсаторе

$$U = IR_0 = \frac{\mathcal{E} R_0}{r + R_0} = \frac{\mathcal{E} R_1 R_2}{r(R_1 + R_2) + R_1 R_2}.$$

3. Определим энергию электрического поля конденсатора:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C}{2} \left( \frac{\mathcal{E} R_1 R_2}{r(R_1 + R_2) + R_1 R_2} \right)^2, \quad \text{откуда найдем ЭДС источ-$$

ника:

$$\mathcal{E} = \sqrt{\frac{2W}{C} \cdot \frac{r(R_1 + R_2) + R_1 R_2}{R_1 R_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 10^{-6}} \frac{0,4 \cdot 12 + 20}{20}} = 2,48 \text{ В.}$$

*Ответ:*  $\mathcal{E} = 2,48$  В.

62. *Возможное решение.*

Закон сохранения энергии:  $W_H + A_{\text{бат}} + A = W_K + Q$ , где  $W_H$  и  $W_K$  — энергия электрического поля конденсатора соответственно в начале и в конце процесса,  $A_{\text{бат}}$  — работа источника тока,  $A$  — работа, совершенная против сил притяжения пластин,  $Q$  — количество теплоты, выделившееся на резисторе;

$$W_H = \frac{1}{2} C_1 \epsilon^2, W_K = \frac{1}{2} C_2 \epsilon^2, A_{\text{бат}} = \epsilon \Delta q = \epsilon (C_2 \epsilon - C_1 \epsilon) = \epsilon^2 \Delta C,$$

где  $\Delta C$  — изменение емкости конденсатора.

Из этих уравнений получаем  $\frac{1}{2} \epsilon^2 \Delta C + A = Q$ .

По условию  $\Delta q = \epsilon \Delta C = -1$  мкКл.

Следовательно,  $A - Q = 50$  мкДж и  $A = 60$  мкДж.

*Ответ:*  $A = 60$  мкДж.

63. *Ответ:*  $Q = 10$  мкДж.

64. *Возможное решение.*

1. Первоначальный заряд конденсатора  $q = C_1 U$ .

2. В результате перезарядки конденсаторов после замыкания ключа их заряды равны соответственно  $q_1$  и  $q_2$ , причем  $q_1 + q_2 = C_1 U$  (по закону сохранения электрического заряда) (1)

3. В результате перезарядки на конденсаторах устанавливаются одинаковые напряжения, так как ток в цепи прекращается и напряжение на резисторе  $R$  становится равным нулю. Поэтому

$$\frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2}. \quad (2)$$

4. По закону сохранения энергии выделившееся в цепи количество теплоты равно разности значений энергии конденсаторов в начальном и конечном состояниях:

$$Q = \frac{C_1 U^2}{2} - \left( \frac{q_1^2}{2C_1} + \frac{q_2^2}{2C_2} \right). \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1)–(3), получаем:

$$U = \sqrt{\frac{2Q(C_1 + C_2)}{C_1 C_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30 \cdot 10^{-3} (10^{-6} + 2 \cdot 10^{-6})}{10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}} = 300 \text{ В.}$$

*Ответ:*  $U = 300$  В.

65. Ответ:  $Q = 30$  мДж.

66. Возможное решение.

Количество теплоты, выделяющееся на резисторе после замыкания ключа:  $Q = W_c = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$ .

Напряжение на конденсаторе равно падению напряжения на резисторе.

С учетом закона Ома для полной цепи  $U = IR = \frac{\mathcal{E}R}{r+R}$ .

Комбинируя эти формулы, находим:  $r = R \left( \frac{\mathcal{E}q}{2Q} - 1 \right)$ .

Ответ:  $r = 5$  Ом.

67. Возможное решение.

Напряжение на конденсаторе равно напряжению на резисторе.

Количество теплоты, выделяющееся на резисторе после замыкания ключа

$$Q = \frac{CU^2}{2},$$

где  $U$  — напряжение на резисторе.

Напряжение  $U = IR = \mathcal{E} \cdot \frac{R}{r+R} = \frac{\mathcal{E}}{1+k}$ ,

где  $k = \frac{r}{R}$ .

$$k = \mathcal{E} \cdot \sqrt{\frac{C}{2Q}} - 1 = 0,2.$$

Ответ:  $k = 0,2$ .

68. Возможное решение.

1. 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):

$$U_{1\max} = \mathcal{E}, \quad U_{2\max} = 0.$$

2. При этом через батарею пройдет заряд  $q$ :  $q = C_1 \mathcal{E}$ .

3. Энергия заряженного конденсатора  $C_1$  равна  $W$ :  $W = C_1 \frac{\mathcal{E}^2}{2}$ .

4. Работа сторонних сил источника тока пропорциональна заряду, прошедшему через него:  $A = q\mathcal{E} = C_1 \mathcal{E}^2$ .

5. Эта работа переходит в энергию конденсаторов и теплоту:

$$Q = A - W = C_1 \frac{\mathcal{E}^2}{2}.$$

6. Подставляя значения физических величин, получим

$$Q = 0,3 \text{ Дж.}$$

*Ответ:*  $Q = 0,3 \text{ Дж.}$

69. *Ответ:*  $Q = 0,5 \text{ Дж.}$

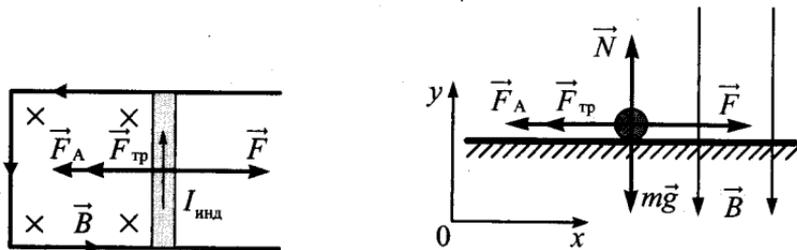
## 4. Электродинамика (Электромагнитное поле)

### 4.1. Задачи с кратким ответом

- |              |                         |                |                            |
|--------------|-------------------------|----------------|----------------------------|
| 1. 0 Н.      | 2. 5 А.                 | 3. 1 Тл.       | 4. 0,6 Н.                  |
| 5. 0,4 Н.    | 6. 1 мм <sup>2</sup> .  | 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 нДж.    | 48. 1 мкКл.                |
| 49. 6 мА.    | 50. 1 А.                | 51. 80 %.      | 52. 0,3 м.                 |
| 53. 2 м.     | 54. 16 м <sup>2</sup> . | 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, 63.     | 68. $1,85 \cdot 10^8$ м/с. |
| 69. 1,5.     | 70. 150 нм.             | 71. 300 нм.    | 72. 1,4.                   |
| 73. 435 нм.  | 74. 1,5.                | 75. 682 нм.    | 76. 1,55.                  |
| 77. 440 нм.  | 78. 500 нм.             | 79. 1.         | 80. 2.                     |
| 81. 4 см.    | 82. 0,5 мкм.            | 83. 450 нм.    |                            |

## 4.2. Задачи с развернутым ответом

### 1. Возможное решение.



При движении перемычки в однородном магнитном поле на ее 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:

$I_{\text{инд}} = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{BVl}{R}$ , 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 начнет действовать сила Ампера, направленная согласно правилу левой руки в противоположную движению сторону:  $F_A = BI_{\text{инд}}l = \frac{B^2l^2V}{R}$ .

На перемычку действуют пять сил: сила тяжести  $mg$ , сила реакции опоры  $\vec{N}$ , сила трения  $\vec{F}_{\text{тр}}$ , сила Ампера  $\vec{F}_A$  и сила  $\vec{F}$ , приложенная к перемычке (см. рис.). Перемычка движется с постоянной скоростью, поэтому ее ускорение равно нулю. Проекция второго закона Ньютона имеют вид:

$$Ox: 0 = F - F_{\text{тр}} - F_A;$$

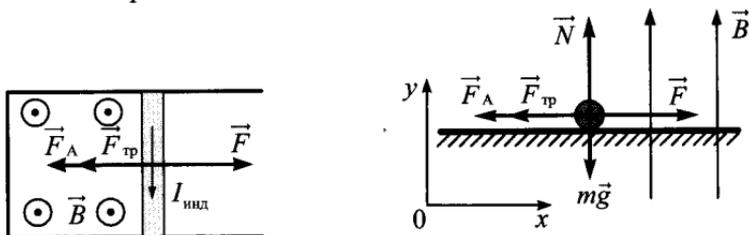
$$Oy: 0 = N - mg.$$

Сила трения скольжения  $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg$ . В итоге получаем:

$$V = \frac{(F - \mu mg)R}{(Bl)^2} = \frac{(1,13 - 0,25 \cdot 0,092 \cdot 10) \cdot 0,1}{(0,15 \cdot 1)^2} = 4 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $V = 4$  м/с.

2. *Возможное решение.*



При движении перемычки в однородном магнитном поле на ее 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:

$$I_{\text{инд}} = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{BVl}{R}, \text{ где } R \text{ — сопротивление перемычки. Поскольку}$$

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 начнет действовать сила Ампера, направленная согласно правилу левой руки в противоположную движению сторону:

$$F_A = BI_{\text{инд}}l = \frac{B^2l^2V}{R}.$$

На перемычку действуют пять сил: сила тяжести  $m\vec{g}$ , сила реакции опоры  $\vec{N}$ , сила трения  $\vec{F}_{\text{тр}}$ , сила Ампера  $\vec{F}_A$  и сила  $\vec{F}$ , приложенная к перемычке (см. рис.). Перемычка движется с постоянной скоростью, поэтому ее ускорение равно нулю. Проекция второго закона Ньютона имеют вид:

$$Ox: 0 = F - F_{\text{тр}} - F_A;$$

$$Oy: 0 = N - mg.$$

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

В итоге получаем:

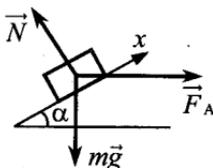
$$V = \frac{(F - \mu mg)R}{(Bl)^2} = \frac{(1,13 - 0,25 \cdot 0,092 \cdot 10) \cdot 0,1}{(0,1 \cdot 1,5)^2} = 4 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $V = 4 \text{ м/с.}$

3. *Возможное решение.*

1. 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.



2. Модуль силы Ампера  $F_A = IBL$ ,

где  $L$  — длина стержня.

3. Систему отсчета, 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.

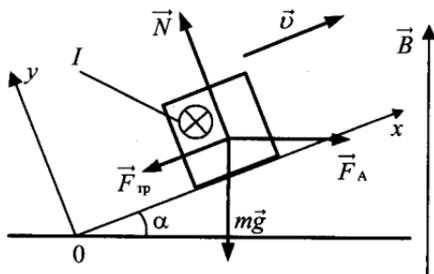
Отсюда находим 
$$I = \frac{m(a_x + g \sin \alpha)}{L B \cos \alpha}.$$

Ответ:  $I \approx 4 \text{ А}.$

4. Ответ:  $a = 1,9 \text{ м/с}^2.$

5. *Возможное решение.*

1. На проводник с током со стороны магнитного поля действует сила Ампера, равная по модулю  $F_A = IBL$  и направленная горизонтально, перпендикулярно проводнику.



2. Силы, действующие на проводник, показаны на рисунке. Считая систему отсчета, связанную с наклонной плоскостью, инерциальной, запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси  $Ox$  и  $Oy$  (см. рис.):

$$Ox: F_A \cos \alpha - mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0, \quad (1)$$

$$Oy: N - mg \cos \alpha - F_A \sin \alpha = 0. \quad (2)$$

Брусок скользит по наклонной плоскости, поэтому

$$F_{\text{тр}} = \mu N. \quad (3)$$

3. Решаем систему уравнений (1)–(3).

Из уравнения (2) выражаем  $N$ , подставляем полученное выражение в уравнение (3) и получаем выражение для  $F_{\text{тр}}$ . Подставив его в (1), получаем уравнение для  $F_A$ :

$$F_A \cos \alpha - mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha - \mu F_A \sin \alpha = 0$$

$$\text{с решением } F_A = IBL = mg \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha},$$

$$\text{откуда } B = \frac{mg}{IL} \cdot \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \approx 0,04 \text{ (Тл)}.$$

Ответ:  $B \approx 0,04$  Тл.

6. Ответ:  $I = 11$  А.

7. Возможное решение.

По рамке течет ток  $I$ . Пусть модуль вектора магнитной индукции равен  $B$ . На стороны рамки действует сила Ампера.

$$\text{На сторону AD: } F_{A1} = IaB \sin(\pi - \alpha) = \frac{1}{2} IaB, \text{ где } \alpha = 30^\circ;$$

$$\text{На сторону AC: } F_{A2} = IaB \sin \alpha = \frac{1}{2} IaB;$$

$$\text{На сторону CD: } F_{A3} = IaB.$$

Суммарный момент этих сил относительно оси CD:

$$M_A = F_{A1} \frac{a\sqrt{3}}{4} + F_{A2} \frac{a\sqrt{3}}{4} = \frac{\sqrt{3}Ia^2B}{4}.$$

$$\text{Момент силы тяжести: } M_{mg} = -\frac{mga}{2\sqrt{3}}.$$

$$\text{Условия отрыва: } M_A + M_{mg} \geq 0, \frac{\sqrt{3}Ia^2B}{4} \geq \frac{mga}{2\sqrt{3}}.$$

$$\text{Отсюда } B \geq \frac{2mg}{3al}. \text{ Допускается ответ в виде равенства.}$$

$$\text{Ответ: } B \geq \frac{2mg}{3al}.$$

8. *Ответ:*  $I \geq mg / 2aB$ .

9. *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<sup>2</sup>.

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

$$v = at = \frac{IBl}{m} t.$$

*Ответ:*  $v = 1$  м/с.

10. *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  $v = a_x t = \frac{IBl}{m} t$  и кинети-

ческую энергию  $E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{(IBlt)^2}{2m}$ .

Отсюда:  $I = \frac{\sqrt{2mE}}{Bl t} = \frac{\sqrt{2 \cdot 10^{-2} \cdot 0,005}}{0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,1} = 10$  А.

*Ответ:*  $I = 10$  А.

11. *Возможное решение.*

Изменение кинетической энергии протона при движении протона в электрическом поле конденсатора:  $\frac{mv^2}{2} = eU$ .

В соответствии со вторым законом Ньютона, уравнение движения протона в магнитном поле:  $\frac{mv^2}{R} = Bev$ .

Решив систему уравнений, получаем  $B = \sqrt{\frac{2mU}{eR^2}}$ .

*Ответ:*  $B \approx 34$  мТл.

12. *Возможное решение.*

1. Второй закон Ньютона для движения электрона по окружности в однородном магнитном поле  $Bev = \frac{mv^2}{R}$  или  $v = \frac{BeR}{m}$ .

2. Формула периода движения электрона по окружности  $T = \frac{2\pi R}{v}$  или  $T = \frac{2\pi m}{Be}$ .

3. Формула для вычисления пути, пройденного электроном к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на  $1^\circ$ :

$$s = vt, \text{ где } t = \frac{T}{360}.$$

4. *Ответ:*  $s = \frac{\pi mv}{Be \cdot 180} = 0,01$  мм.

13. *Возможное решение.*

1. Второй закон Ньютона для движения тела по окружности в однородном магнитном поле:  $Bqv = \frac{mv^2}{R}$  или  $v = \frac{BqR}{m}$ .

2. Формула периода движения по окружности:

$$T = \frac{2\pi R}{v} \text{ или } T = \frac{2\pi m}{Bq}.$$

3. Формула для вычисления пути, пройденного телом массы  $m$  к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на  $1^\circ$ :

$$s = vt, \text{ где } t = \frac{T}{360}.$$

4. *Ответ:*  $s = \frac{\pi mv}{Bq \cdot 180} = 1,75$  м.

14. *Возможное решение.*

Кинетическая энергия иона при входе в магнитное поле

$$\frac{mv^2}{2} = qU, \quad (1)$$

где  $m$ ,  $v$  и  $q$  — соответственно масса, скорость и заряд иона.

В магнитном поле на ион действует сила Лоренца, перпендикулярная скорости иона и вектору магнитной индукции  $F_{\text{Л}} = qvB$ , придающая ему центростремительное ускорение

$$a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R}.$$

Получаем:  $qvB = m \frac{v^2}{R}$ . (2)

Решая систему уравнений (1) и (2), находим:

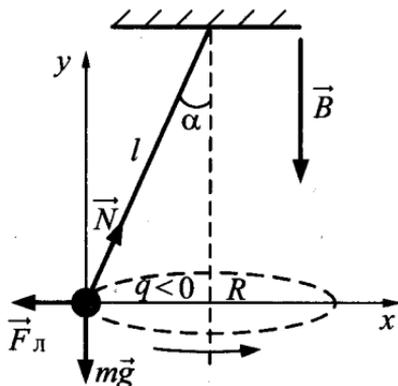
$$\frac{m}{q} = \frac{R^2 B^2}{2U} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^4} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл.}$$

Ответ:  $\frac{m}{q} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл.}$

15. Ответ:  $B = \frac{1}{R} \sqrt{2U \frac{m}{q}} = \frac{1}{0,2} \sqrt{2 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-7}} = 0,5 \text{ Тл.}$

16. *Возможное решение.*

1. На шарик действуют три силы: сила тяжести, сила натяжения нити и сила Лоренца (см. рис.).



2. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси координат инерциальной системы отсчета, связанной с Землей:

$$\begin{cases} N \sin \alpha - |q|vB = \frac{mv^2}{R}, \\ N \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

3. Выражая  $N$ , получим:  $mg \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{mv^2}{R} + |q|vB$ .

4. Так как  $R = l \sin \alpha$ ,

получим *ответ*:  $q = -|q| = -\frac{m}{B} \left( \frac{g}{v} \operatorname{tg} \alpha - \frac{v}{l \sin \alpha} \right)$ .

17. *Ответ*:  $m = \frac{qB}{\frac{v}{l \cdot \sin \alpha} - \frac{g}{v} \operatorname{tg} \alpha}$

18. *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  $F_2 = |q|vB \sin \alpha$ . Величина результирующей силы

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}.$$

$$F = |q| \sqrt{E^2 + (vB \sin \alpha)^2} =$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-12} \cdot \sqrt{1200^2 + \left( 10^5 \cdot 0,03 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \right)^2} \approx 3,7 \cdot 10^{-9} \text{ Н.}$$

*Ответ*:  $F \approx 3,7 \cdot 10^{-9} \text{ Н.}$

19. *Ответ*:  $F \approx 6,1 \cdot 10^{-9} \text{ Н.}$

20. *Возможное решение.*

1. При пересечении рамкой границы области поля со скоростью  $v$  изменяющийся магнитный поток создает ЭДС индукции

$$|\mathcal{E}_{\text{инд}}| = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = vBb. \text{ Сила тока в это время } I = \frac{|\mathcal{E}_{\text{инд}}|}{R} = \frac{vBb}{R}.$$

При этом возникает тормозящая сила Ампера:

$$F_A = IBb = v \frac{(Bb)^2}{R}, \text{ равная по модулю внешней силе: } F = F_A.$$

2. Ток течет 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  $A = F \cdot x = 2Fb$ .

3. Для сопротивления получим:

$$R = 2v \frac{B^2 b^3}{A} = 2 \cdot 1 \frac{1 \cdot 125 \cdot 10^{-6}}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 0,1 \text{ Ом.}$$

Ответ:  $R = 0,1 \text{ Ом.}$

21. Ответ:  $B = \sqrt{\frac{AR}{2vb^3}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1}{2 \cdot 1 \cdot 125 \cdot 10^{-6}}} = 1 \text{ Тл.}$

22. *Возможное решение.*

ЭДС индукции в проводнике, движущемся в однородном маг-

нитном поле  $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

Изменение магнитного потока за малое время  $\Delta t$  равно

$\Delta\Phi = B\Delta S$ , где площадь  $\Delta S$  определяется произведением длины проводника  $l$  на его перемещение  $\Delta x$  за время  $\Delta t$  т.е.

$$\Delta\Phi = Bl\Delta x.$$

Следовательно,  $|\mathcal{E}| = \frac{Bl\Delta x}{\Delta t} = Blv$ , где  $v$  — скорость движения

проводника.

В конце пути длиной  $x$  скорость проводника  $v = \sqrt{2ax}$  ( $a$  —

ускорение), так что  $|\mathcal{E}| = Bl\sqrt{2ax}$ , отсюда  $B = \frac{|\mathcal{E}|}{l\sqrt{2ax}} = 0,5 \text{ Тл.}$

Ответ:  $0,5 \text{ Тл.}$

23. Ответ:  $l = \frac{|\mathcal{E}|}{B\sqrt{2ax}} = 1 \text{ м.}$

24. *Возможное решение.*

Выражение для модуля ЭДС индукции в случае однородного поля:

$$\mathcal{E} = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \frac{S\Delta B_z}{\Delta t}, \text{ где } S \text{ — площадь фигуры; } \Delta B_z = B_{2z} - B_{1z}.$$

Закон Ома:  $\mathcal{E} = IR$ , где  $R$  — сопротивление контура;

$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$  — ток в контуре за время  $\Delta t$  изменения магнитного поля.

Выражение для заряда, протекающего по цепи:

$$\Delta q = I\Delta t = \frac{S}{R}(B_{2z} - B_{1z}).$$

$$B_{1z} = B_{2z} - \frac{R\Delta q}{S} = 4,7 - \frac{5 \cdot 0,08}{0,1} = 0,7 \text{ Тл.}$$

Ответ:  $B_{1z} = 0,7$  Тл.

25. Ответ:  $\Delta q = I\Delta t = \frac{S}{R}(B_{2z} - B_{1z}) = \frac{0,1(4,7 - 0,7)}{5} = 0,08$  Кл.

26. Возможное решение.

$$\text{ЭДС индукции в кольце } \mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Изменение магнитного потока за время  $\Delta t$ :  $\Delta\Phi = \Delta(BS)$ ,

где  $S$  (площадь кольца) постоянна и равна  $\frac{\pi D^2}{4}$ .

$$\text{Следовательно, } |\mathcal{E}| = S \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|.$$

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

$$I = \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| \cdot \frac{\pi D d^2}{16\rho}.$$

$$\text{Отсюда диаметр медного кольца } D = \frac{16I\rho}{\left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|}.$$

Ответ:  $D \approx 0,2$  м.

27. Ответ:  $\left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| = \frac{16I\rho}{\pi d^2 D} \approx 1 \text{ Тл/с.}$

28. *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:  $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$ . В нашем случае

$$\Phi = BS, \text{ так что } \mathcal{E} = -S \frac{dB}{dt}.$$

$$\text{Следовательно, } i = -\frac{S}{R} \cdot \frac{dB}{dt} = \frac{S}{R} ab \sin(bt).$$

Согласно полученной формуле сила тока в контуре колеблется, и амплитуда этих колебаний  $i_m = \frac{Sab}{R}$ .

$$\text{Следовательно, } S = \frac{Ri_m}{ab} = \frac{1,2 \cdot 35 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3} \cdot 3500} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$\text{Ответ: } S = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

29. Ответ:  $R = \frac{Sab}{i_m} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 3500}{35 \cdot 10^{-3}} = 1,2 \text{ Ом.}$

30. *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, причем его

скорость должна быть равна  $v = \frac{2}{3}V$ .

$$\text{Ответ: } v = \frac{2}{3}V.$$

31. *Ответ:* Правый проводник должен, как и левый, двигаться вправо, причем его скорость должна быть равна  $0,5V$ .

32. *Возможное решение.*

При движении перемычки в ней возникает ЭДС

$$\mathcal{E} = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = Blv.$$

Закон Ома для замкнутой цепи  $abcd$ :  $I = \frac{\mathcal{E}}{4R} = \frac{Blv}{4R}$ ,

где  $R$  — сопротивление перемычки  $ab$ .

Следовательно,  $U = \mathcal{E} - I \cdot R = \frac{3}{4} Blv$ .

*Ответ:*  $B = \frac{4U}{3lv}$ .

33. *Ответ:*  $v = \frac{4U}{3lB}$ .

34. *Возможное решение.*

При изменении магнитного поля поток вектора магнитной индукции  $\Phi(t) = B(t)S$  через рамку площадью  $S$  изменяется, что создает в ней ЭДС индукции  $\mathcal{E}$ . В соответствии с законом индукции Фарадея

$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t} S$ . Эта ЭДС вызывает в рамке ток, сила которого определяется законом Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t} \frac{S}{R}.$$

За время  $\Delta t$  по рамке пройдет заряд  $q = I\Delta t$  и ЭДС индукции совершит работу  $A = \mathcal{E}q = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} I\Delta t = -I\Delta\Phi$ , которая перейдет

в тепло.

Подставляя сюда выражения для силы тока и изменения потока  $\Delta\Phi = S\Delta B_n$ , получим работу ЭДС индукции:

$$A = \frac{S^2 (\Delta B_n)^2}{R \Delta t}.$$

За время  $\Delta t_1 = t_1 = 4$  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  $cd$   $\Delta t_3 = t_3 - t_1 = \Delta t_1 = 4$  с и  $\Delta B_3 = B_2 - B_1 = -1,4$  Тл, поэтому суммарное количество теплоты

$$Q = A = A_1 + A_2 = \frac{S^2}{R} \left[ \frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_3)^2}{\Delta t_3} \right].$$

$$\text{Отсюда: } S = \sqrt{\frac{QR\Delta t_1}{(\Delta B_1)^2 + (\Delta B_3)^2}}.$$

Подставляя значения физических величин, получим:

$$S = \sqrt{\frac{4,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot 4}{1,2^2 + 1,4^2}} = \sqrt{\frac{32,8}{3,4}} \cdot 10^{-2} \approx 3,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Ответ:  $S \approx 3,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ .

### 35. Возможное решение.

При изменении магнитного поля поток вектора магнитной индукции  $\Phi(t) = B(t)S$  через рамку площадью  $S = l^2$  изменяется, что создает в ней ЭДС индукции  $\mathcal{E}$ . В соответствии с законом индукции Фарадея  $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t} S$ .

Эта ЭДС вызывает в рамке ток, сила которого определяется законом Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t} \frac{S}{R}.$$

За время  $\Delta t$  по рамке пройдет заряд  $q = I\Delta t$  и ЭДС индукции совершит работу  $A = \mathcal{E}q = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} I\Delta t = -I\Delta\Phi$ , которая перейдет

в тепло.

Подставляя сюда выражения для силы тока и изменения потока:  $\Delta\Phi = S\Delta B$ , получим работу ЭДС индукции:

$$A = \frac{S^2}{R} \frac{(\Delta B_n)^2}{\Delta t} = \frac{l^4}{R} \frac{(\Delta B_n)^2}{\Delta t}.$$

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

$$Q = A = A_1 + A_2 = \frac{I^4}{R} \left[ \frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_2)^2}{\Delta t_2} \right].$$

Отсюда находим сопротивление рамки:

$$R = \frac{I^4}{Q} \left[ \frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_2)^2}{\Delta t_2} \right].$$

Подставляя значения физических величин, получим:

$$R = \frac{(0,1)^4}{10^{-4}} \left[ \frac{0,36}{2} + \frac{1}{8} \right] = 0,18 + 0,125 \approx 0,3 \text{ Ом.}$$

Ответ:  $R \approx 0,3 \text{ Ом.}$

36. *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:  $I^2 = I_m^2 - \frac{C}{L}U^2$  и  $\frac{C}{L} = \frac{I_m^2}{U_m^2}$ .

В результате получаем:  $I = I_m \sqrt{1 - \frac{U^2}{U_m^2}}$ .

Ответ:  $I = 4,0 \text{ мА.}$

37. Ответ:  $I_m = \frac{I}{\sqrt{1 - \frac{U^2}{U_m^2}}} = 5 \text{ мА.}$

38. *Возможное решение.*

1. Судя по приведенным в таблице данным, в контуре наблюдаются гармонические электромагнитные колебания с периодом  $T = 8 \text{ мкс}$  и амплитудой разности потенциалов на обкладках конденсатора  $U_m = 4 \text{ В}$ .

2. Согласно тем же данным, разность потенциалов на обкладках конденсатора изменяется по закону  $U(t) = U_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ .

3. Поскольку заряд  $q(t) = CU(t)$  на обкладках конденсатора совершает гармонические колебания, а сила тока связана с зарядом соотношением  $I(t) = q'_t$ , получаем

$$q'_t = \frac{2\pi}{T} CU_m \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) = I_m \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right),$$

что приводит к равенству  $CU_m = \frac{T}{2\pi} I_m$ .

4. Отсюда  $C = \frac{TI_m}{2\pi U_m} \approx 0,016$  мкФ.

Ответ:  $\approx 0,016$  мкФ.

39. Ответ:  $L \approx 0,1$  мГн.

40. *Возможное решение.*

1. Согласно закону сохранения энергии

$$\frac{LI_{\max}^2}{2} = \frac{LI^2(t)}{2} + \frac{q^2(t)}{2C}, \text{ где } I(t) \text{ и } q(t) \text{ — соответственно сила}$$

тока в контуре и заряд конденсатора в момент времени  $t$ ,  $I_{\max}$  — амплитуда силы тока в контуре.

Отсюда:  $q^2(t) = LC(I_{\max}^2 - I^2(t))$ .

2. Согласно формуле Томсона период колебаний в контуре

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

3. Объединяя 1 и 2, получим:  $q(t) = \frac{T}{2\pi} \sqrt{I_{\max}^2 - I^2(t)}$ .

4. 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:  $q = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3,14} \sqrt{0,36 - 0,16} \approx 0,6$  мкКл.

Ответ:  $q \approx 0,6$  мкКл.

Примечание для экспертов: в данном случае сила тока в контуре меняется по закону  $I(t) = I_{\max} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$ . 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.

41. Ответ:  $q \approx 0,6$  мкКл.

42. *Возможное решение.*

Период колебаний электрической энергии в контуре:

$$T = \pi\sqrt{LC}. \quad (1)$$

Циклическая частота колебаний электрической энергии в контуре:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (2)$$

Изменение циклической частоты:

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1. \quad (3)$$

Объединяя (1) и (3), получаем:

$$C_2 = \frac{4C_1}{(\Delta\omega\sqrt{LC_1} + 2)^2} = 0,25 \text{ мкФ}.$$

*Ответ:*  $C_2 = 0,25 \text{ мкФ}$ .

43. *Ответ:* увеличилась на  $\Delta\omega = 2 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ .

44. *Возможное решение.*

В момент, когда сила тока в катушке равна нулю, заряд конденсатора находится из закона сохранения энергии:

$$\frac{1}{2} LI_0^2 = \frac{Q_0^2}{2C}. \quad (1)$$

При быстром изменении емкости заряд не успевает измениться, поэтому изменение энергии конденсатора:

$$\Delta W = \frac{Q_0^2}{2\varepsilon C} - \frac{Q_0^2}{2C} = \frac{Q_0^2(1-\varepsilon)}{2\varepsilon C} = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C} \cdot \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}. \quad (2)$$

Используя (1), находим  $\Delta W = \frac{1}{2} LI_0^2 \cdot \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} = -\frac{1}{6} LI_0^2$ .

*Ответ:*  $\Delta W = -\frac{1}{6} LI_0^2$ .

45. *Ответ:*  $\Delta W = 0,25 LI_0^2$ .

46. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения энергии:

$$\frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2} \quad (1)$$

( $C$  — емкость конденсатора,  $U_{\max}$  — максимальное напряжение на конденсаторе).

Формула Томсона для периода электромагнитных колебаний в контуре:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (2)$$

Формула, связывающая длину волны с периодом колебаний:

$$\lambda = cT \quad (3)$$

( $c$  — скорость света).

Максимальная напряженность поля конденсатора:

$$E_{\max} = \frac{U_{\max}}{d}. \quad (4)$$

Решив систему уравнений (1)–(4), получим:

$$I_{\max} = \frac{\lambda d}{2\pi cL} E_{\max} = \frac{5 \cdot 10^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} \cdot 3 \approx 0,27 \text{ мА}.$$

Ответ:  $I_{\max} \approx 0,27 \text{ мА}$ .

47. Ответ:  $d = 1 \text{ мм}$ .

48. *Возможное решение.*

Энергия заряженного конденсатора  $C_1$  до замыкания ключа К:

$$W_3 = \frac{C_1 U^2}{2}. \quad (1)$$

Заряд конденсатора  $C_1$ :

$$q = C_1 U. \quad (2)$$

Суммарная энергия заряженных конденсаторов после замыкания ключа К:

$$W_{31} + W_{32} = \frac{C_1 U_1^2}{2} + \frac{C_2 U_2^2}{2}. \quad (3)$$

Так как процесс зарядки конденсатора  $C_2$  происходит медленно, нет потерь энергии на излучение, а следовательно, после замыкания ключа К первоначальная энергия заряженного конденсатора  $C_1$  в новом состоянии равновесия распределяется между конденсаторами:

$$W_3 = W_{31} + W_{32}. \quad (4)$$

Кроме того, выполняется закон сохранения заряда:

$$q = q_1 + q_2 = C_1 U_1 + C_2 U_2. \quad (5)$$

Объединяя соотношения (1)–(5), получаем систему уравнений

$$\begin{cases} C_1 U^2 = C_1 U_1^2 + C_2 U_2^2, \\ C_1 U = C_1 U_1 + C_2 U_2. \end{cases}$$

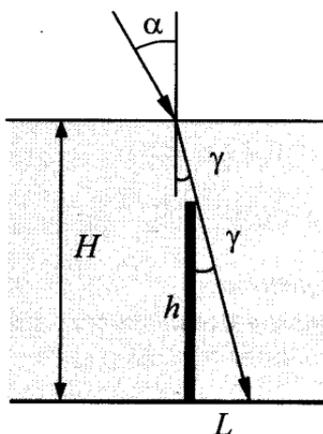
Решая эту систему, получаем

$$C_1 = \frac{C_2 U_2}{2U - U_2}.$$

Ответ:  $C_1 = 0,5$  мкФ.

49. Ответ:  $C_2 = 2$  мкФ.

50. Возможное решение.



Согласно рисунку, длина тени  $L$  определяется высотой сваи  $h$  и углом  $\gamma$  между свайей и скользящим по ее вершине лучом света:  $L = h \cdot \operatorname{tg} \gamma$ . Этот угол является и углом преломления солнечных лучей на поверхности воды. Согласно закону преломления,

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

$$\sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{1}{2n}, \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{\sin \gamma}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma}} = \frac{1}{\sqrt{4n^2 - 1}}.$$

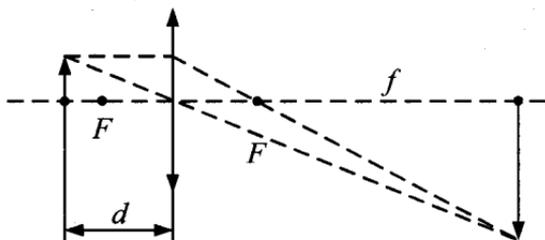
$$\text{Следовательно, } L = h \frac{1}{\sqrt{4n^2 - 1}} = \frac{2}{\sqrt{4 \frac{16}{9} - 1}} = \frac{6}{\sqrt{55}} \approx 0,8 (\text{м}).$$

Ответ:  $L \approx 0,8$  м.

51. Ответ:  $\alpha = \arcsin \frac{4}{\sqrt{73}} \approx 28^\circ$ .

52. *Возможное решение.*

На рисунке схематически изображено положение линзы, предмета и изображения на экране, образованного лучами, прошедшими через линзу.



Используя формулу для тонкой линзы  $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$ ,

где  $d$  — расстояние от линзы до предмета,  $f$  — расстояние от линзы до экрана, определяем фокусное расстояние линзы

$$F = \frac{fd}{f+d}.$$

Как следует из подобия треугольников (см. рис.), увеличение

$\Gamma$ , даваемое линзой, определяется отношением  $\Gamma = \frac{f}{d} = 5$ , что

позволяет записать фокусное расстояние линзы в виде

$$F = f \frac{1}{1+\Gamma}. \quad (1)$$

После перемещения экрана на расстояние  $l = 0,3$  м для нового положения предмета и изображения можно записать выражение для фокусного расстояния:

$$F = f_1 \frac{1}{1+\Gamma_1} = (f-l) \frac{1}{1+\Gamma_1}, \quad (2)$$

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  $F = l \frac{1}{\Gamma - \Gamma_1}$ .

$$F = l \frac{1}{\Gamma - \Gamma_1}.$$

*Ответ:*  $F = 0,15$  м, или  $F = 15$  см.

53. *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,  $\Gamma$  — увеличение. Следовательно,  $f = 90$  см,  $d = 18$  см. После того как экран и предмет передвинули, для нового положения предмета и изображения

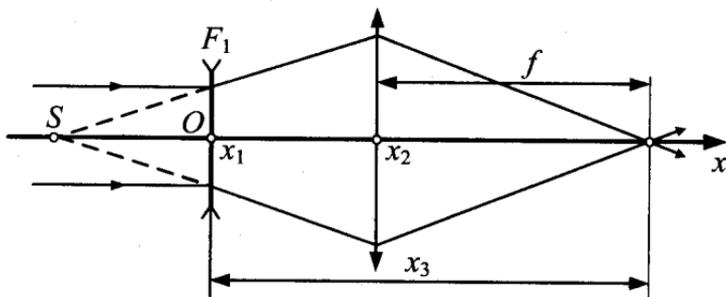
можно записать:  $F = \frac{f_1 d_1}{f_1 + d_1}$ ; где  $f_1 = f - 30$ .

Следовательно,  $d_1 = 20$  см и  $\Delta d = 2$  см.

*Ответ:*  $\Delta d = 2$  см.

54. *Возможное решение.*

Ход лучей через систему линз изображен 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

$$\frac{1}{-F_1 + (x_2 - x_1)} + \frac{1}{x_3 - x_2} = \frac{1}{F_2} \Rightarrow$$

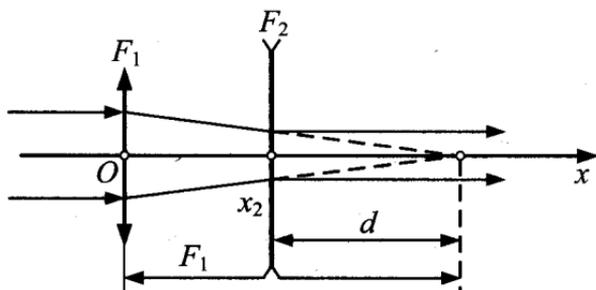
$\Rightarrow$  фокусное расстояние собирающей линзы

$$F_2 = \frac{(x_3 - x_2)((x_2 - x_1) - F_1)}{x_3 - x_1 - F_1} . F_2 = 20 \text{ см.}$$

*Ответ:* 20 см.

55. *Возможное решение.*

На рисунке изображен ход лучей через систему линз.

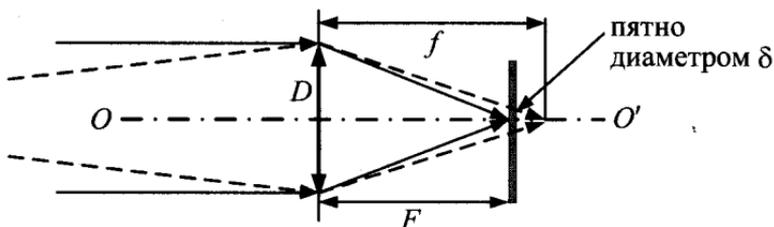


Формула тонкой рассеивающей линзы с учетом правила знаков  $-\frac{1}{d} + \frac{1}{\infty} = -\frac{1}{|F_2|} \Rightarrow |F_2| = d$ .

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.

56. *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  $\delta$ . Из подобия треугольников получаем соотношение:  $\frac{\delta}{D} = \frac{f - F}{f}$ , а

поскольку  $D = \frac{F}{\alpha}$ , где  $\alpha$  — относительное отверстие, то

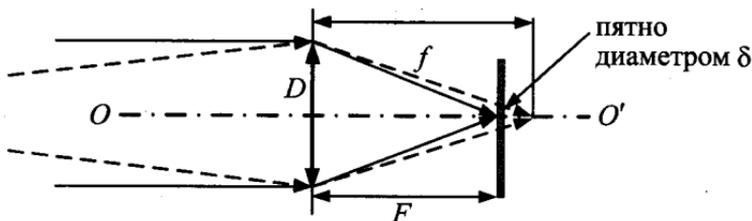
$$\frac{\delta \alpha}{F} = \frac{f - F}{f}.$$

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.

57. *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  $\delta$ . Из подобия треугольников получаем соотношение:

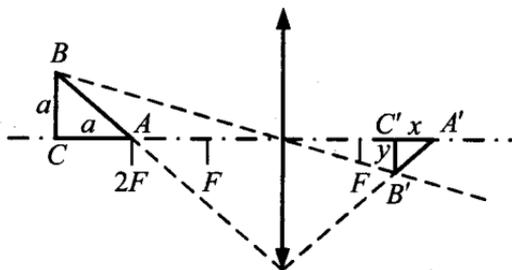
$$\frac{\delta}{D} = \frac{f-F}{f}, \text{ а поскольку } D = \frac{F}{\alpha}, \text{ то } \frac{\delta\alpha}{F} = \frac{f-F}{f}.$$

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.

58. *Возможное решение.*



Длину  $x$  горизонтального катета  $A'C'$  изображения находим по

формуле линзы:  $\frac{1}{2F+a} + \frac{1}{2F-x} = \frac{1}{F}$ ,

$$\text{откуда } x = \frac{aF}{F+a} = \frac{a}{1+aD}.$$

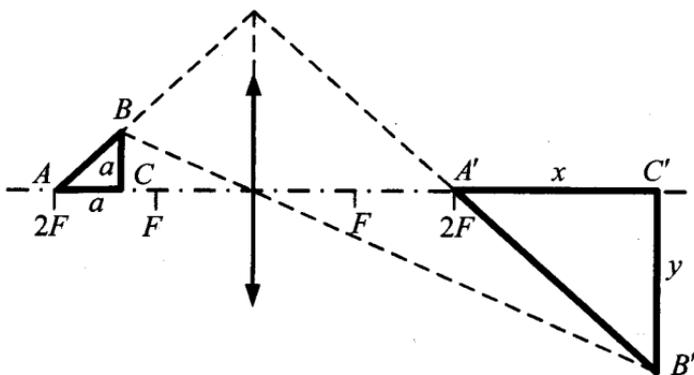
Длину  $y$  вертикального катета  $B'C'$  изображения находим из подобия:  $y = a \cdot \frac{2F-x}{2F+a} = \frac{aF}{F+a} = \frac{a}{1+aD} = x$ .

Площадь изображения

$$S_1 = \frac{1}{2} A'C' \cdot B'C' = \frac{a^2}{2(1+aD)^2} \approx 6,6 \text{ см}^2.$$

Ответ:  $S_1 \approx 6,6 \text{ см}^2$ .

59. *Возможное решение.*



Длину  $x$  горизонтального катета  $A'C'$  изображения находим по формуле линзы:  $\frac{1}{2F-a} + \frac{1}{2F+x} = \frac{1}{F}$ ,

$$\text{откуда } x = \frac{aF}{F-a} = \frac{a}{1-aD}.$$

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

$$S_1 = \frac{1}{2} A'C' \cdot B'C' = \frac{a^2}{2(1-aD)^2} \approx 9,9 \text{ см}^2.$$

Ответ:  $S_1 \approx 9,9 \text{ см}^2$ .

60. *Возможное решение.*

1. При колебаниях маятника максимальная скорость груза  $v$  может быть определена из закона сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{kA^2}{2}, \text{ где } A \text{ — амплитуда колебаний (амплитуда смеще-}$$

ния). Отсюда  $v = A\sqrt{\frac{k}{m}}$ .

2. Максимальная скорость изображения  $u$  на экране, расположенном на расстоянии  $b$  от линзы, пропорциональна скорости груза  $v$ , движущегося на расстоянии  $a$  от плоскости тонкой линзы:  $u = v\frac{b}{a}$ .

$$u = v\frac{b}{a}.$$

3. Расстояние  $a$  определяется по формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \text{ откуда}$$

$$a = b\frac{F}{b-F}, \text{ и } \frac{b}{a} = \frac{b}{F} - 1.$$

$$\text{Следовательно, } u = v\frac{b}{a} = A\sqrt{\frac{k}{m}}\frac{b}{a} = A\sqrt{\frac{k}{m}}\left(\frac{b}{F} - 1\right).$$

4. Подставляя в это выражение значения физических величин,

$$\text{заданные условием задачи, получим } u = A\sqrt{\frac{k}{m}}\left(\frac{b}{F} - 1\right).$$

*Ответ:*  $u = 0,3$  м/с.

61. *Возможное решение.*

При колебаниях маятника максимальная скорость груза  $v$  может быть определена из закона сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh, \text{ где } h = l(1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2} \approx \frac{l\alpha^2}{2} \text{ — максималь-$$

ная высота подъема груза. Максимальный угол отклонения

$\alpha \approx \frac{A}{l}$ , где  $A$  — амплитуда колебаний (амплитуда смещения).

$$\text{Отсюда } A = v \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

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:  $A_1 = A \frac{b}{a}$ .

Расстояние  $a$  определяется по формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \text{ откуда}$$

$$a = b \frac{F}{b - F}, \text{ и } \frac{b}{a} = \frac{b}{F} - 1. \text{ Следовательно, } A_1 = A \frac{b}{a} = \nu \sqrt{\frac{l}{g}} \frac{b}{a},$$

$$A_1 = A_1 = \nu \sqrt{\frac{l}{g}} \left( \frac{b}{F} - 1 \right).$$

*Ответ:*  $A_1 = 0,15 \text{ м.}$

## 5. Квантовая физика

### 5.1 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.    |

## 5.2. Задания с развернутым ответом

### 1. Возможное решение.

1. Для энергии одного фотона запишем:

$$E_{\text{фот}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda},$$

где  $c$  — скорость света в вакууме.

2. Мощность излучения указки:

$$P = \frac{N \cdot E_{\text{фот}}}{t}, \text{ где } \frac{N}{t} \text{ — число фотонов в единицу времени.}$$

3. Число излученных фотонов в единицу времени:

$$\frac{N}{t} = \frac{P}{E_{\text{фот}}} = \frac{P \cdot \lambda}{h \cdot c} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} \approx 6 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}.$$

$$\text{Ответ: } \frac{N}{t} \approx 6 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}.$$

### 2. Возможное решение.

1. Для энергии одного фотона запишем:  $E_{\text{фот}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ ,

где  $c$  — скорость света в вакууме.

2. Энергия, излучаемая указкой за время  $t$ :  $E = P \cdot t = N \cdot E_{\text{фот}}$ ,

где  $P$  — мощность излучения лазерной указки.

3. Для времени получаем:

$$t = \frac{N \cdot h \cdot c}{P \cdot \lambda} = \frac{5 \cdot 10^{15} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot 10^{-9}} \approx 2 \text{ с.}$$

$$\text{Ответ: } t \approx 2 \text{ с.}$$

### 3. Возможное решение.

1. Для энергии одного фотона запишем:  $E_{\text{фот}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ ,

где  $c$  — скорость света в вакууме.

2. Энергия, излучаемая указкой за время  $t$ :  $E = P \cdot t = N \cdot E_{\text{фот}}$ .

3. Для мощности излучения получаем:

$$P = \frac{N \cdot h \cdot c}{t \cdot \lambda} = \frac{6 \cdot 10^{16} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 600 \cdot 10^{-9}} \approx 0,004 \text{ Вт} = 4 \text{ мВт.}$$

$$\text{Ответ: } P \approx 4 \text{ мВт.}$$

4. *Возможное решение.*

1. Запишем выражение для энергии фотона:  $E_1 = \frac{hc}{\lambda}$ .

Найдем 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.

2. Найдем количество теплоты, которое требуется для плавления льда и нагревания воды:  $Q = mL + c_{\text{уд}} m \Delta t$ .

3. Используем закон сохранения энергии с учетом коэффициента поглощения  $\alpha$ :

$$\alpha \cdot \frac{hc}{\lambda} \cdot N \cdot \frac{t}{\tau} = c_{\text{уд}} m \Delta t + Lm.$$

4. Отсюда получим ответ:

$$N = \frac{m(L + c_{\text{уд}} \Delta t) \lambda \tau}{\alpha h c t} = \frac{1 \cdot (3,3 \cdot 10^5 + 4200 \cdot 100) \cdot 3,3 \cdot 10^{-7} \cdot 1}{0,5 \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1,25 \cdot 10^4} = 2 \cdot 10^{20}.$$

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:  $E_\phi = h\nu$ .

В соответствии с постулатами Бора при переходах между уровнями с энергиями  $E_m$  и  $E_n$  поглощаются и излучаются фотоны с энергией  $E_\phi$ , удовлетворяющей условию

$$|E_m - E_n| = E_\phi = h\nu_{mn}.$$

В последовательности переходов между уровнями энергий  $E_1 \rightarrow E_3 \rightarrow E_2 \rightarrow E_4 \rightarrow E_1$ , при которых атом из состояния с энергией  $E_1$  возвращается в это же состояние, суммарная энергия поглощенных фотонов равна суммарной энергии излученных 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  $4 \rightarrow 1$ , связана с длиной волны  $\lambda$  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  $\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$ .

$$\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}.$$

Поэтому запишем:

$$\nu_{41} = \nu_{31} + \nu_{42} - \nu_{32} = 10^{14}(6 + 4 - 3) = 7 \cdot 10^{14} \text{ Гц}.$$

$$\text{Отсюда } \lambda_{41} = \frac{c}{\nu_{41}}.$$

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:  $\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$ .

$$\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}.$$

$$\text{Имеем } \nu_{21} = \nu_{13} - \nu_{32} = 10^{14}(7 - 3) = 4 \cdot 10^{14} \text{ (Гц)},$$

$$\nu_{32} = 3 \cdot 10^{14} \text{ (Гц)},$$

$$\nu_{43} = \nu_{24} - \nu_{32} = 10^{14}(5 - 3) = 2 \cdot 10^{14} \text{ (Гц)}.$$

Минимальной здесь является частота  $\nu_{43} = 2 \cdot 10^{14}$  (Гц). Ей со-

$$\text{ответствует длина волны } \lambda_{43} = \frac{c}{\nu_{43}}.$$

Ответ:  $\lambda_{43} \approx 1,5 \cdot 10^{-6}$  м.

9. *Возможное решение.*

Энергия фотона связана с длиной световой волны соотношением Планка:

$$E_{\phi} = \frac{hc}{\lambda}.$$

В соответствии с постулатами Бора при переходах между уровнями с энергиями  $E_m$  и  $E_n$  поглощаются и излучаются фотоны с энергией  $E_{\phi}$ , удовлетворяющей условию

$$|E_m - E_n| = E_{\phi} = \frac{hc}{\lambda_{mn}}.$$

В последовательности переходов между уровнями энергий  $E_1 \rightarrow E_3 \rightarrow E_2 \rightarrow E_4 \rightarrow E_1$ , при которых атом из состояния с энергией  $E_1$  возвращается в это же состояние, суммарная энергия поглощенных фотонов равна суммарной энергии излученных 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  $\lambda_{41} = \lambda_0$ .

$$\text{Отсюда: } \lambda_{24} = \frac{\lambda_{13}\lambda_{32}\lambda_0}{\lambda_{13}\lambda_{32} - \lambda_0\lambda_{32} + \lambda_{13}\lambda_0}.$$

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.

$$\text{То есть } \lambda_0 = \lambda_{41}, \text{ и } \nu_{14} = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,5 \cdot 10^{-7}} = 1,2 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)}$$

$$\text{Имеем: } \nu_{42} = \frac{c}{\lambda_{42}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 0,75 \cdot 10^{15} \text{ (Гц);}$$

$$\nu_{32} = \frac{c}{\lambda_{32}} = \frac{3 \cdot 10^8}{5,45 \cdot 10^{-7}} \approx 0,55 \cdot 10^{15} \text{ (Гц).}$$

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:

$$\nu_{41} = \nu_{31} + \nu_{43}, \nu_{43} = \nu_{42} - \nu_{32}. \text{ Отсюда: } \nu_{41} = \nu_{31} + \nu_{42} - \nu_{32}.$$

$$\text{Имеем: } \nu_{31} = \frac{c}{\lambda_{31}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 0,75 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)},$$

$$\nu_{42} = \frac{c}{\lambda_{42}} = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} = 0,6 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)},$$

$$\nu_{32} = \frac{c}{\lambda_{32}} = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{-7}} = 0,5 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)}.$$

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  $n = 2, 3, \dots$ . Аналогично в серии Бальмера энергия фотона равна  $E_n - E_2$ , где  $n = 3, 4, \dots$ .

Частота фотона связана с его энергией равенством  $h\nu = E$ , где  $h$  — постоянная Планка.

$$\text{Поэтому } \beta = \frac{E_\infty - E_1}{E_\infty - E_2} = \frac{0 - (-1)}{0 - \left(-\frac{1}{2^2}\right)} = 4.$$

Ответ:  $\beta = 4$ .

13. *Возможное решение.*

В серии Бальмера энергия фотона равна  $E_n - E_2$ ,

где  $n = 3, 4, \dots$ . Аналогично в серии Пашена энергия фотона равна  $E_n - E_3$ , где  $n = 4, 5, \dots$ .

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  $n = 2, 3, \dots$ . Аналогично в серии Бальмера энергия фотона равна  $E_n - E_2$ , где  $n = 3, 4, \dots$ . Длина волны  $\lambda$  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 электрическом поле электрон приобретает энергию  $E = e\Delta U = 15\,000$  эВ.

Начальная энергия фотоэлектронов  $E_k = \frac{hc}{\lambda_1} - A_{\text{вых.}} \approx 0,5$  эВ.

Она много меньше  $E$ , и ею можно пренебречь.

Энергия одного падающего фотона  $E_\phi = \frac{hc}{\lambda_1} \approx 1,5$  эВ.

На выбивание 1 электрона тратится:  $10 E_\phi \approx 15$  эВ.

Следовательно,  $N \approx \frac{15000 \text{ эВ}}{15 \text{ эВ}} = 1000$ .

Ответ:  $N = 1000$ .

16. *Возможное решение.*

В электрическом поле электрон приобретает энергию  
 $E = e\Delta U = 15000 \text{ эВ}$ .

Начальная энергия фотоэлектронов  $E_k = \frac{hc}{\lambda_1} - A_{\text{вых.}} \approx 0,5 \text{ эВ}$ .

Она много меньше  $E$ , и ею можно пренебречь. Число фотонов, выбиваемых электронами, пропорционально числу электронов и отношению энергии электрона к энергии фотона  $E_\phi = \frac{hc}{\lambda_2}$ :

$n_{\phi 2} = \frac{e\Delta U \lambda_2 n_{\text{эл}}}{hc}$ ; число падающих фотонов  $n_{\phi 1} = kn_{\text{эл}}$ . Отсюда:

$$N = \frac{n_{\phi 2}}{n_{\phi 1}} = \frac{e\Delta U \lambda_2}{hck} \approx 500.$$

Ответ:  $N \approx 500$ .

17. *Возможное решение.*

1. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта

$h\nu = h\frac{c}{\lambda} = A_{\text{вых.}} + E_{\text{кин}}$ , где  $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света в вакууме,  $E_{\text{кин}}$  — максимальная кинетическая энергия электронов.

2.  $E_{\text{кин}} = \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} = \frac{p_{\text{max}}^2}{2m_e}$ , где  $m_e$  — масса электрона,  $v_{\text{max}}$  — его

максимальная скорость.

3. Объединяя 1 и 2, получим:

$$\begin{aligned} p_{\text{max}} &= \sqrt{2m_e \left( \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых.}} \right)} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \left( \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{531 \cdot 10^{-9}} - 1,73 \cdot 10^{-19} \right)} \approx \\ &\approx 6 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}. \end{aligned}$$

Ответ:  $p_{\text{max}} \approx 6 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ .

18. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + E_k. \quad (1)$$

Выражение, связывающее импульс и кинетическую энергию электрона:

$$p = \sqrt{2mE_k}. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) получаем выражение для максимального импульса фотоэлектронов:

$$\begin{aligned} p &= \sqrt{2m\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \left( \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{200 \cdot 10^{-9}} - 4,54 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \right)} \approx \\ &\approx 6,9 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}. \end{aligned}$$

Ответ:  $p \approx 6,9 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ .

19. *Возможное решение.*

Записано уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}.$$

Записана формула, связывающая частоту и длину волны фотона:  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ ,

$$\frac{ch}{\lambda_{\text{кр}}} = A_{\text{вых}}.$$

Выполнены математические преобразования, получен ответ в

общем виде:  $\nu = \sqrt{\frac{2ch\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{кр}}}\right)}{m}}$  и правильный числовой от-

вет:  $\nu = 800 \text{ км/с}$ .

Ответ:  $800 \text{ км/с}$ .

20. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для двух частот:

$$h\nu = A + eU, \quad (1)$$

$$2h\nu = A + 3eU. \quad (2)$$

Выражение для красной границы фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda_{\text{к}}} = A.$$

Из уравнений (1) и (2) следует, что  $A = \frac{h\nu}{2}$ .

Для искомой длины волны  $\lambda_k = \frac{2c}{\nu}$ .

Ответ:  $\lambda_k = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 800 \text{ нм}$ .

**21.** *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта в первом опыте:

$$h\nu_1 = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{1\text{max}}^2}{2}. \quad (1)$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта во втором опыте:

$$h\nu_2 = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{2\text{max}}^2}{2}. \quad (2)$$

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:

$$n = \frac{v_{1\text{max}}}{v_{2\text{max}}}. \quad (5)$$

Решая систему уравнений (1)–(5), получаем:

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc \left( n^2 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)}{\lambda_2 (n^2 - 1)}.$$

Ответ:  $A_{\text{вых}} \approx 3,0 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 1,9 \text{ эВ}$ .

**22.** *Возможное решение (рисунок не обязателен).*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

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 потенциальной энергии электрона при его перемещении в электростатическом поле:  $\frac{mv^2}{2} = eU$ . (3)

Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем ответ:

$$\lambda_0 = \frac{hc\lambda}{hc - eU\lambda} = 450 \text{ нм.}$$

Ответ: 450 нм.

23. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

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:  $\frac{mv^2}{2} = eU$ . (3)

Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем ответ:

$$\lambda = \frac{hc\lambda_0}{hc + eU\lambda_0} \approx 300 \text{ нм.}$$

Ответ:  $\approx 300$  нм.

24. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

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:

$$\frac{mv^2}{2} = eU. \quad (3)$$

Решая систему уравнений(1), (2) и (3), получаем ответ:

$$U = \frac{hc(\lambda_0 - \lambda)}{\lambda\lambda_0 e} \approx 1,4 \text{ В.}$$

Ответ:  $\approx 1,4 \text{ В.}$

25. *Возможное решение.*

Энергия фотона  $h\nu = E_2 - E_1$ .

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  $h\nu = h\nu_{\text{кр}} + \frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2}$ .

$$\text{Отсюда } v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2}{m_e} [(E_2 - E_1) - h\nu_{\text{кр}}]} \approx 1,65 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $v_{\text{max}} \approx 1,65 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$

26. *Возможное решение.*

Энергия фотона:  $h\nu = E_2 - E_1$ .

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  $h\nu = h\nu_{\text{кр}} + eU_{\text{зап}}$ .

$$\text{Отсюда } \nu_{\text{кр}} = \frac{1}{h} [(E_2 - E_1) - eU_{\text{зап}}].$$

Ответ:  $\nu_{\text{кр}} \approx 10^{15} \text{ Гц.}$

27. *Возможное решение.*

Энергия фотона  $h\nu = E_2 - E_1$ .

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  $h\nu = h\nu_{\text{кр}} + \frac{p_{\text{max}}^2}{2m_e}$ .

$$\text{Отсюда: } p_{\text{max}} = \sqrt{2m_e [(E_2 - E_1) - h\nu_{\text{кр}}]} \approx 1,5 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$$

Ответ:  $p_{\text{max}} \approx 1,5 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$

28. *Возможное решение.*

Энергия фотона  $h\nu = E_2 - E_1$ .

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  $h\nu = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} + E_{\text{max}}$ .

$$\text{Отсюда: } E_{\text{max}} = \left[ (E_2 - E_1) - \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} \right] \approx 9,7 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 6,1 \text{ эВ.}$$

Ответ:  $E_{\text{max}} \approx 6,1 \text{ эВ.}$

29. *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 поглощенного фотона, согласно закону сохранения энергии,  $E_{\phi} = E_k - E_{(1)}$ , где  $E_k$  — кинетическая энергия электрона, вылетевшего из атома,  $E_k = \frac{mv^2}{2}$ ,  $E_{\phi} = h\nu$ , соответ-

ственно,  $h\nu = \frac{mv^2}{2} - E_{(1)}$ , и  $v = \frac{mv^2}{2h} - \frac{E_{(1)}}{h}$ .

$$v = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (10^6)^2}{2 \cdot 6,6 \cdot 10^{-34}} - \frac{(-13,6) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,6 \cdot 10^{-34}} =$$

$$= \frac{9,1 \cdot 10^{-19} + 43,52 \cdot 10^{-19}}{13,2 \cdot 10^{-34}} \approx 4 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)}.$$

Ответ:  $v \approx 4 \cdot 10^{15}$  (Гц).

30. *Возможное решение.*

Начальная скорость вылетевшего электрона  $v_0 = 0$ . Формула, связывающая изменение кинетической энергии частицы с работой силы со стороны электрического поля:  $A = \frac{mv^2}{2}$ .

Работа силы связана с напряженностью поля и пройденным путем:

$$A = FS = eES.$$

$$\text{Отсюда } v^2 = \frac{2eES}{m}, \quad v = \sqrt{\frac{2eES}{m}}.$$

Ответ:  $v \approx 3 \cdot 10^6$  м/с.

31. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых.}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}. \quad (1)$$

Фотоэлектроны, влетевшие в электрическое поле  $\vec{E}$ , будут тормозиться им и, пройдя тормозной путь  $d$ , остановятся, затем начнут двигаться обратно.

Закон сохранения энергии:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} - e\varphi_1 = -e\varphi_2, \quad (2)$$

откуда:  $\frac{mv_{\max}^2}{2} = e(\varphi_1 - \varphi_2) = eU = eEd,$

где  $e$  — модуль заряда электрона.

Объединяя (1) и (2), имеем:

$$d = \frac{hv - A_{\text{вых}}}{eE} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 6,7 \cdot 10^{14} - 1,89 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 100} \approx 8,7 \text{ мм.}$$

Ответ:  $d \approx 8,7$  мм.

32. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$hv = E_{\text{к}} + A \text{ или } hv = \frac{mv^2}{2} + A_{\text{вых}}.$$

Энергия ускоренных электронов:

$$E_{\text{е}} = \frac{mv^2}{2} + e\Delta U = hv - A_{\text{вых}} + e\Delta U.$$

По условию  $E_{\text{е}} = 2hv.$

Отсюда  $A_{\text{вых}} = e\Delta U - hv.$

Ответ:  $A_{\text{вых}} = 2$  эВ.

33. *Возможное решение.*

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия поглощаемого фотона равна сумме работы выхода фотоэлектрона из металла и максимальной кинетической энергии фотоэлектрона:

$$hv = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

В электрическом поле на электрон действует сила, направление которой противоположно направлению вектора напряженности поля. Поэтому в нашем случае фотоэлектроны будут ускоряться полем. В точке измерения их максимальная кинетическая энергия станет равной

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2} + eU, \quad (2)$$

где  $U$  — разность потенциалов между поверхностью пластины и эквипотенциальной поверхностью на расстоянии  $L = 10$  см от нее.

Поскольку поле однородное и вектор  $\vec{E}$  перпендикулярен пластине, то

$$U = EL. \quad (3)$$

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.

### 34. Возможное решение.

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия поглощаемого фотона равна сумме работы выхода фотоэлектрона из металла и максимальной кинетической энергии фотоэлектрона:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

В электрическом поле на электрон действует сила, направление которой противоположно направлению вектора напряженности поля. Поэтому в нашем случае фотоэлектроны будут ускоряться полем. В точке измерения их максимальная кинетическая энергия

$$E_k = \frac{mv^2}{2} + eU, \quad (2)$$

где  $U$  — разность потенциалов между поверхностью пластины и эквипотенциальной поверхностью на расстоянии  $L = 10$  см от нее.

Поскольку поле однородное и вектор  $\vec{E}$  перпендикулярен пластине, то

$$U = EL. \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1), (2) и (3), находим:

$$h\nu = A + E_k - eEL.$$

Отсюда:

$$E_k = h\nu - A + eEL = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 1,6 \cdot 10^{15}}{1,6 \cdot 10^{-19}} - 3,7 + 130 \cdot 0,1 = 15,9 \text{ эВ.}$$

Ответ:  $E_k = 15,9$  эВ.

35. *Возможное решение.*

Электрон в магнитном поле движется по окружности радиуса  $R$  со скоростью  $v$  и центростремительным ускорением  $a = \frac{v^2}{R}$ .

Ускорение вызывается силой Лоренца  $F = e\upsilon B$  в соответствии со вторым законом Ньютона:  $ma = F$ , или

$$m \frac{v^2}{R} = e\upsilon B \Rightarrow v = \frac{eBR}{m}.$$

Для определения максимальной скорости движения электрона воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Подставляя в это уравнение скорость электрона, получим вы-

ражение для частоты света  $\nu = \frac{A}{h} + \frac{(eBR)^2}{2mh}$ .

*Ответ:*  $\nu \approx 1 \cdot 10^{15}$  Гц.

36. *Возможное решение.*

Согласно закону фотоэффекта  $h\nu = \frac{mv^2}{2} + A_{\text{вых}}$ , или

$\frac{hc}{\lambda} = \frac{mv^2}{2} + A_{\text{вых}}$ . Сила Лоренца вызывает центростремительное

ускорение:  $\frac{mv^2}{R} = e\upsilon B$ , откуда скорость электрона  $v = \frac{eRB}{m}$ .

Тогда из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\begin{aligned} A_{\text{вых}} &= \frac{hc}{\lambda} - \frac{e^2 B^2 R^2}{2m} = \\ &= \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{660 \cdot 10^{-9}} - \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} \approx \\ &\approx 2,44 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.} \end{aligned}$$

*Ответ:*  $A_{\text{вых}} \approx 2,44 \cdot 10^{-19}$  Дж.

37. *Ответ:*  $R = \frac{\sqrt{2m \left( \frac{hc}{\lambda} - A \right)}}{eB} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

38. Ответ:  $B = \frac{\sqrt{2m(h\nu - A)}}{eR} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ Тл.}$

39. Ответ:  $B = \frac{m \cdot \sqrt{\frac{2}{m} \left( \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)}}{eR} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Тл.}$

40. *Возможное решение.*

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  $h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{к}}$ , где  $E_{\text{к}}$  — максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов,

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda_0}.$$

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:  $\nu \approx 10^{15} \text{ Гц.}$

41. Ответ:  $C = 4000 \text{ пФ.}$

42. *Возможное решение.*

1. Записана формула для давления света при его зеркальном отражении:  $p = \frac{2W}{c}$ .

2. Учтено, что свет отражается зеркально, записаны выражения

— для силы давления:  $F = \frac{2WS}{c}$ ,

— II-го закона Ньютона:  $F = ma$ .

3. Выполнены математические преобразования и получен ответ в общем виде:  $S = \frac{cma}{2W}$  и правильный числовой ответ:

$$S = 5,5 \cdot 10^4 \text{ м}^2.$$

Ответ:  $5,5 \cdot 10^4 \text{ м}^2.$

43. Ответ:  $m = \frac{2WS}{ac}$ ,  $m = 91$  кг.

44. *Возможное решение.*

Законы сохранения энергии и импульса для  $\alpha$ -распада ядра

покоящегося нейтрального атома: 
$$\begin{cases} \frac{m_\alpha v^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} = \Delta E, \\ m_\alpha \vec{v} + M\vec{u} = 0. \end{cases}$$

Уравнение движения  $\alpha$ -частицы в магнитном поле:

$$\frac{m_\alpha v^2}{r} = 2|evB|.$$

Решая систему трех уравнений, получаем:

$$\Delta E = \frac{(2eBr)^2}{2m_\alpha} \cdot \left(1 + \frac{m_\alpha}{M}\right), \text{ откуда } B = \frac{1}{2er} \cdot \sqrt{\frac{2m_\alpha \Delta E}{1 + \frac{m_\alpha}{M}}}.$$

45. *Возможное решение.*

Законы сохранения энергии и импульса для  $\alpha$ -распада ядра

покоящегося нейтрального атома: 
$$\begin{cases} \frac{m_\alpha v^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} = \Delta E, \\ m_\alpha \vec{v} + M\vec{u} = 0. \end{cases}$$

Уравнение движения тяжелого иона с зарядом  $q = -2e$  в магнитном поле:

$$\frac{Mu^2}{R} = 2|euB|.$$

Решая систему трех уравнений, получаем:

$$\Delta E = \frac{(2eBR)^2}{2m_\alpha} \cdot \left(1 + \frac{m_\alpha}{M}\right),$$

откуда  $\left|\frac{q}{M}\right| = \left|\frac{2e}{M}\right| = \frac{2e}{m_\alpha} \cdot \left[\frac{2m_\alpha \Delta E}{(2eBR)^2} - 1\right].$

46. Ответ:  $B = \frac{1}{2eR} \sqrt{\frac{2m_\alpha \Delta E}{1 + \frac{m_\alpha}{M}}}.$

47. *Возможное решение.*

За время  $\Delta t$  в препарате выделяется количество теплоты  $Q = A \cdot E \cdot \Delta t$ , где  $A$  — активность препарата,  $E$  — энергия  $\alpha$ -частицы,  $\Delta t$  — время.

Изменение температуры контейнера определяется равенством  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ , где  $c$  — удельная теплоемкость меди,  $m$  — масса контейнера,  $\Delta T$  — изменение температуры контейнера.

Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контейнера. Отсюда  $\Delta t = \frac{cm\Delta T}{AE} \approx 23$  мин.

*Ответ:*  $\approx 23$  мин.

48. *Возможное решение.*

За время  $\Delta t$  в препарате выделяется количество теплоты  $Q = A \cdot E \cdot \Delta t$ , где  $A$  — активность препарата,  $E$  — энергия  $\alpha$ -частицы,  $\Delta t$  — время.

Изменение температуры контейнера определяется равенством  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ , где  $c$  — удельная теплоемкость меди,  $m$  — масса контейнера,  $\Delta T$  — изменение температуры контейнера.

Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контейнера. Отсюда  $A = \frac{cm\Delta T}{E\Delta t}$ .  $A \approx 1,7 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$ .

*Ответ:*  $\approx 1,7 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$ .

49. *Возможное решение.*

Если при столкновении с атомом электрон приобрел энергию, то атом перешел 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  $p^2 = m^2 v^2 = 2mE$ , или

$$E = \frac{p^2}{2m}, \text{ где } m \text{ — масса электрона.}$$

$$\text{Следовательно, } E_0 = \frac{p^2}{2m} - 3,5 \text{ эВ} =$$

$$= \frac{1,44 \cdot 10^{-48}}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} - 3,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \approx 2,3 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж).}$$

*Ответ:*  $2,3 \cdot 10^{-19}$  Дж.

50. *Возможное решение.*

Если при столкновении с атомом электрон приобрел энергию, то атом перешел в состояние  $E^{(0)}$ . Следовательно, после столкновения кинетическая энергия электрона стала

$$E = 1,5 \text{ эВ} + 3,5 \text{ эВ} = 5 \text{ эВ} \approx 8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Импульс  $p$  электрона связан с его кинетической энергией соотношением

$$p^2 = m^2 v^2 = 2mE, \text{ или } p = \sqrt{2mE}, \text{ где } m \text{ — масса электрона.}$$

Поэтому

$$p = \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 8 \cdot 10^{-19}} \approx 1,2 \cdot 10^{-24} \text{ (кг} \cdot \text{ м/с)}.$$

$$\text{Ответ: } 1,2 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{ м/с.}$$

51. *Возможное решение.*

$$\text{Выражение для энергии фотона: } E_1 = \frac{hc}{\lambda}.$$

$$\text{Энергия всех фотонов, излучаемых за время } t: E = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N}{\tau} \cdot t.$$

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды:

$$Q = c_{\text{уд}} m \Delta t.$$

$$\text{Закон сохранения энергии: } E = Q \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N}{\tau} \cdot t = c_{\text{уд}} m \Delta t.$$

$$\text{Выражение для массы воды: } m = \frac{hcNt}{c_{\text{уд}} \Delta t \lambda \tau}.$$

$$\text{Ответ: } m = 1 \text{ кг.}$$

52. *Возможное решение.*

$$\text{Выражение для энергии фотона: } E_1 = \frac{hc}{\lambda}.$$

$$\text{Энергия всех фотонов, излучаемых за время } t: E = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N}{\tau} \cdot t.$$

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды:

$$Q = c_{\text{уд}} m \Delta t.$$

$$\text{Закон сохранения энергии: } E = Q \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{N}{\tau} \cdot t = c_{\text{уд}} m \Delta t.$$

$$\text{Выражение для длины волны: } \lambda = \frac{hcNt}{c_{\text{уд}} m \Delta t \tau}.$$

$$\text{Ответ: } \lambda = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

53. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения импульса, фотоны от распада покоящегося  $\pi^0$ -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:  $p = \frac{mc}{2} = 3,6 \cdot 10^{-20}$  кг · м/с.

54. *Возможное решение.*

Пион, движущийся со скоростью  $V$ , имеет импульс  $p = mV$  и

энергию  $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \approx mc^2$ , где  $m$  — масса пиона.

Энергия  $\gamma$ -кванта  $E_\gamma$  и его импульс  $p_\gamma$  связаны соотношением

$$p_\gamma = \frac{E_\gamma}{c}.$$

При распаде пиона на два кванта энергия системы и ее импульс сохраняются:

$$mc^2 = E_1 + E_2, \quad mV = \frac{E_1}{c} - \frac{E_2}{c}.$$

Разделив второе уравнение на первое, получим:  $\frac{V}{c} = \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2}$ .

По условию задачи  $E_1 = 1,1 \cdot E_2$ , так что  $V = \frac{c}{21} \approx 1,43 \cdot 10^7$  м/с.

Ответ:  $V \approx 1,43 \cdot 10^7$  м/с.

55. *Возможное решение.*

За время  $\Delta t = 1$  с в образце выделяется энергия:  $\Delta E = E \cdot \frac{\Delta t}{T}$ .

Энергия одной  $\alpha$ -частицы:  $E_1 = \frac{p^2}{2m} = \frac{\Delta E}{N}$ .

Импульс  $\alpha$ -частицы:  $p = \sqrt{2mE_1} = \sqrt{2mE \cdot \frac{\Delta t}{NT}}$ .

Ответ:  $p \approx 1,0 \cdot 10^{-19}$  кг · м/с.

56. *Возможное решение.*

$$\text{Энергия одной } \alpha\text{-частицы: } E_1 = \frac{mv^2}{2}.$$

За время  $\Delta t = 1$  с в образце выделяется энергия:

$$\Delta E = NE_1 = N \cdot \frac{mv^2}{2}.$$

За время  $T = 1$  ч выделяется энергия:

$$E = \frac{T}{\Delta t} \cdot \Delta E = \frac{T}{\Delta t} \cdot N \cdot \frac{mv^2}{2}.$$

Ответ:  $E \approx 100$  Дж.

57. *Ответ:*  $v = 1,5 \cdot 10^7$  м/с.

58. *Возможное решение.*

За время  $\Delta t$  в препарате выделяется количество теплоты

$$Q = A \cdot E \cdot \Delta t, \text{ где}$$

$A$  — активность препарата,  $E$  — энергия  $\alpha$ -частицы,  $\Delta t$  — время.

Изменение температуры контейнера определяется равенством  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ , где  $c$  — удельная теплоемкость меди,  $m$  — масса контейнера,  $\Delta T$  — изменение температуры контейнера.

Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контейнера. Отсюда  $\Delta T = \frac{AE\Delta t}{cm} \approx 2,7$  К.

Ответ:  $\approx 2,7$  К.

59. *Возможное решение.*

За время  $\Delta t$  в препарате выделяется количество теплоты

$$Q = A \cdot E \cdot \Delta t, \text{ где}$$

$A$  — активность препарата,  $E$  — энергия  $\alpha$ -частицы.

Изменение температуры контейнера определяется равенством

$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ , где  $c$  — удельная теплоемкость металла,  $m$  — масса контейнера,  $\Delta T$  — изменение температуры контейнера.

Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контейнера. Отсюда  $c = \frac{AE\Delta t}{\Delta T m} \cdot c \approx 400$  Дж/(кг · К).

Ответ:  $c \approx 400$  Дж/(кг · К).

60. *Возможное решение.*

Выражение для давления света

$$P = P_{\text{отр}} + P_{\text{погл}} = \frac{N_{\text{отр}} \Delta p_{\text{отр}} + N_{\text{погл}} \Delta p_{\text{погл}}}{S \Delta t}. \quad (1)$$

(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 отраженных

$N_{\text{отр}} = 0,4N$  и поглощенных  $N_{\text{погл}} = 0,6N$  фотонов.

Тогда выражение (1) принимает вид  $P = \frac{1,4Np}{S \Delta t}$ .

Для импульса фотона  $p = \frac{h}{\lambda}$ .

Выражение для длины волны излучения  $\lambda = \frac{1,4Nh}{PS \Delta t}$ .

$$\text{Ответ: } \lambda = \frac{1,4 \cdot 5 \cdot 10^{14} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34}}{1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,7 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

61. *Ответ:*  $P = 1,5 \cdot 10^{-5}$  Па.

62. *Возможное решение.*

Активность всего объема крови пациента по прошествии времени  $t$  равна  $a(t) = a_0 2^{\frac{t}{T}}$ .

Активность образца крови в момент времени  $t$ :  $a = a(t) \frac{V_0}{V}$ .

$$\text{Отсюда } V_0 = V \frac{a \cdot 2^{\frac{t}{T}}}{a_0}.$$

$$\text{Ответ: } V_0 \approx 1 \text{ см}^3.$$

63. *Ответ:*  $V = 6$  л.

64. *Возможное решение.*

Модуль силы, действующей со стороны электрического поля

$\vec{E}$  на электрон, не зависит от скорости:

$$|F_3| = |e| E, \quad (1)$$

а модуль силы Лоренца пропорционален скорости электрона:

$$|F_{\perp}| = |e| v B. \quad (2)$$

Для того чтобы электроны отклонялись в положительном направлении оси  $OY$ , должно быть

$$F_{\text{л}} > F_3 \text{ или } \nu B > E. \quad (3)$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{m\nu^2}{2}. \quad (4)$$

Из (1)–(4), получаем:  $E < B\sqrt{\frac{2(h\nu - A)}{m}} \approx 300 \text{ В/м}$ .

Ответ:  $E < 300 \text{ В/м}$ .

### 65. *Возможное решение.*

Модуль силы, действующей на электрон со стороны электрического поля  $\vec{E}$ , не зависит от скорости:

$$|F_3| = |e| \cdot E, \quad (1)$$

а модуль силы Лоренца прямо пропорционален скорости электрона:

$$|F_{\text{л}}| = |e| \cdot \nu B. \quad (2)$$

Для того чтобы электроны отклонялись в сторону, противоположную оси  $OY$ , должно быть

$$F_3 > F_{\text{л}} \text{ или } E > \nu B. \quad (3)$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта определяет максимальную скорость фотоэлектрона:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m\nu^2}{2}. \quad (4)$$

Из (1)–(4), получаем:  $\nu < \frac{1}{h} \left( \frac{mE^2}{2B^2} + A_{\text{вых}} \right) \approx 6,4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ .

Ответ:  $\nu < 6,4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ .

### 66. *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 ее 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:  $N = \frac{m}{\mu} N_A$ . 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:  $\eta = 20\%$

67. Ответ:  $m \approx 1,4$  кг.

68. Возможное решение.

1. 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.  $p = p_0 + p_1$ .

2. Парциальное давление гелия можно определить с помощью уравнения Клапейрона–Менделеева:  $p_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT_0$ , где  $V$  —

объем контейнера;  $T_0$  — абсолютная температура в нем;  $m_1$  и  $\mu_1$  — соответственно масса и молярная масса гелия.

3. К определенному моменту времени  $t$  число атомов гелия  $N_1$  равно числу распавшихся атомов полония и может быть определено с помощью закона радиоактивного распада:

$$N_1 = N_0 - N \text{ и } N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}, \text{ где } N_0 = \frac{m}{\mu} N_A \text{ — начальное чис-}$$

ло атомов полония;  $m$  и  $\mu$  — 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.

4. Число молей получившегося в результате распада гелия равно числу молей распавшегося полония:  $\frac{m_1}{\mu_1} = \frac{m}{\mu} = \frac{N_1}{N_A}$ ; сле-

$$\text{довательно, } \frac{m_1}{\mu_1} = \frac{N_0}{N_A} \left( 1 - 2^{-\frac{t}{T}} \right) = \frac{m}{\mu} \left( 1 - 2^{-\frac{t}{T}} \right).$$

В результате математических преобразований получаем:

$$V = \frac{mRT_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right)}{(p - p_0)\mu} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 8,3 \cdot 318 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{7,5}{140}}\right)}{(1,4 \cdot 10^5 - 10^5) \cdot 0,21} =$$

$$= \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 8,3 \cdot 318 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{1}{4}}\right)}{(1,4 \cdot 10^5 - 10^5) \cdot 0,21} \approx 75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \approx 75 \text{ см}^3.$$

Ответ:  $V \approx 75 \text{ см}^3$ .

69.

*Возможное решение.*

1. 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.  $p = p_0 + p_1$ .

2. Парциальное давление гелия можно определить с помощью уравнения Клапейрона–Менделеева:  $p_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT_0$ , где  $V$  —

объем контейнера;  $T_0$  — абсолютная температура в нем;  $m_1$  и  $\mu$  — соответственно масса и молярная масса гелия.

3. К определенному моменту времени  $t$  число атомов гелия  $N_1$  равно числу распавшихся атомов полония и может быть определено с помощью закона радиоактивного распада:

$$N_1 = N_0 - N \text{ и } N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}, \text{ где } N_0 = \frac{m}{\mu} N_A \text{ — начальное чис-}$$

ло атомов полония;  $m$  и  $\mu$  — 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.

4. Число молей получившегося в результате распада гелия равно числу молей распавшегося полония:  $\frac{m_1}{\mu_1} = \frac{m}{\mu} = \frac{N_1}{N_A}$ ; сле-

$$\text{довательно, } \frac{m_1}{\mu_1} = \frac{N_0}{N_A} \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right) = \frac{m}{\mu} \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right).$$

В результате математических преобразований (в решении они должны быть представлены) получаем:

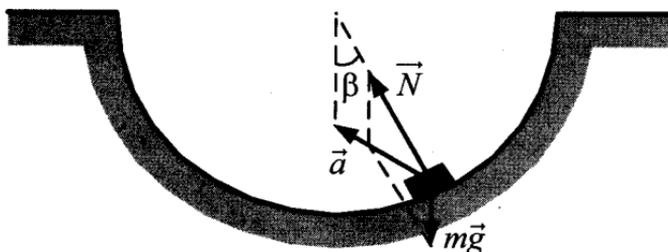
$$m = \frac{(p - p_0)V\mu}{RT_0 \left(1 - 2^{\frac{1}{T}}\right)} = \frac{(1,3 \cdot 10^5 - 10^5) \cdot 80 \cdot 10^{-6} \cdot 0,21}{8,3 \cdot 318 \cdot \left(1 - 2^{\frac{7,5}{140}}\right)} =$$
$$= \frac{(1,3 \cdot 10^5 - 10^5) \cdot 80 \cdot 10^{-6} \cdot 0,21}{8,3 \cdot 318 \cdot \left(1 - 2^{\frac{1}{4}}\right)} \approx 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \approx 1,2 \text{ г.}$$

*Ответ:*  $m \approx 1,2 \text{ г.}$

## 6. Качественные задачи с развернутым ответом

### 1. Возможное решение.

1. 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.).



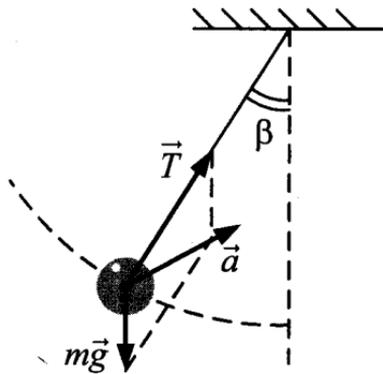
2. В промежуточной точке скорость шайбы  $\vec{v} \neq 0$ , поэтому у шайбы есть центростремительное ускорение  $\vec{a}_{ц} \neq 0$ , направленное к центру окружности, по которой движется шайба.

3. Проекция ускорения шайбы на касательную к окружности равна по модулю  $g \sin \beta$ . Поэтому у шайбы есть касательная составляющая ускорения  $\vec{a}_t \neq 0$ , направленная в сторону нижней точки сферы.

4. Ускорение шарика  $\vec{a} = \vec{a}_{ц} + \vec{a}_t$  направлено внутрь сферической поверхности левее направления силы  $\vec{N}$ .

### 2. Возможное решение.

1. К шарiku 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.).



2. В промежуточной точке скорость шарика  $\vec{v} \neq 0$ , поэтому у шарика есть центростремительное ускорение  $\vec{a}_{ц} \neq 0$ , направленное к центру окружности, по которой движется шарик.
3. 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.
4. Ускорение шарика  $\vec{a} = \vec{a}_{ц} + \vec{a}_\tau$  направлено внутрь траектории правее направления силы  $\vec{T}$ .

3. *Возможное решение.*

1. Количество вещества в первой порции газа меньше, чем во второй.
2. Для описания изобарного расширения идеального газа используем уравнение Менделеева–Клапейрона:  $pV = \nu RT$ , где  $\nu$  — число молей газа. Отсюда следует, что при одинаковых давлении и объеме  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{\nu_2}{\nu_1}$ .
3. Как следует из рисунка,  $T_1 > T_2$  (при одинаковых давлении и объеме). Поэтому  $\nu_1 < \nu_2$ .

4. *Ответ:* давление газа в первом случае ниже, чем во втором.

5. *Возможное решение.*

1. Давление газа на участке 1–2 увеличивалось, на участке 2–3 не изменялось, на участке 3–4 увеличивалось.

2. На участке 1–2 процесс изотермический. По закону Бойля-Мариотта ( $pV = \text{const}$ ) при уменьшении объема давление увеличивается. На участке 2–3 процесс изобарный; значит, давление остается неизменным. На участке 3–4 процесс изохорный. По закону Шарля ( $\frac{P}{T} = \text{const}$ ) при увеличении температуры давление увеличивается.

6. *Ответ:* давление газа на участках 1–2 и 2–3 увеличивалось, на участке 3–4 уменьшалось.

7. *Возможное решение.*

1. Поршень сдвинется вверх. Температура газа в сосуде понизится.

2. 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,  $p_1 = p_{\text{атм}} + \frac{Mg}{S}$ .

3. При движении лифта с ускорением  $\vec{a}$ , направленным вниз, поршень сдвинется и займет относительно сосуда новое положение равновесия, в котором давление газа в сосуде станет равным  $p_2 = p_{\text{атм}} + \frac{M(g-a)}{S} < p_1$ . Поскольку сосуд теплоизолирован и изменения числа частиц нет, уменьшение давления возможно только за счет расширения газа. При этом газ совершает работу  $A > 0$ .

4. Поскольку сосуд теплоизолированный, газ, находящийся под поршнем, участвует в адиабатическом процессе. В этом случае, по первому закону термодинамики, газ совершает работу за счет уменьшения внутренней энергии.

5. Уменьшение внутренней энергии газа повлечет за собой понижение его температуры ( $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$ ).

8. *Ответ:* поршень сдвинется вниз, температура газа в сосуде повысится.

9. *Возможное решение.*

1. Уровень ртути в закрытом колене трубки понизится, а в открытом повысится.

2. Сначала давление атмосферного воздуха над поверхностями ртути в трубке одинаково, поэтому уровни жидкости в коленах одинаковы (следствие условия равновесия).

3. Изначально под пробкой находится воздух при атмосферном давлении. При увеличении температуры в комнате воздух в закрытом колене начнет прогреваться, его температура увеличится, и его давление также увеличится. При этом давление атмосферного воздуха в комнате практически не изменится.

4. Увеличение давления на жидкость в закрытом колене приведет к тому, что уровень ртути в нем по сравнению с первоначальным положением понизится на  $\Delta h$ . В свою очередь, уровень ртути в открытом колене повысится на величину  $\Delta h$ . Давление воздуха в закрытом колене станет равным сумме атмосферного давления и давления столба ртути:  $p = p_{\text{атм}} + \rho g 2\Delta h$ ; в сосуде установится новое положение равновесия столба ртути

10. *Ответ:* Уровень ртути в закрытом колене трубки повысится, а в открытом понизится.

11. *Возможное решение.*

1. В итоге количество газа в первом сосуде увеличилось.

2. В соответствии с законами Дальтона и Бойля–Мариотта (примененными к парциальным давлениям газов во втором и третьем сосудах) суммарное давление этих газов после закрытия второго крана равно  $3p/2 + p/2 = 2p$ .

3. Аналогично этому давление в первом и втором сосудах после закрытия первого крана равно  $p/2 + 2p/2 = 1,5p$ . Это означает, согласно уравнению Клапейрона–Менделеева, что количество газа в первом сосуде в итоге увеличилось.

12. *Ответ:* В итоге количество газа в третьем сосуде не изменилось.

13. *Возможное решение.*

1. В процессе  $1 \rightarrow 2$  газ получает некоторое количество теплоты, но его внутренняя энергия не меняется. Следовательно, согласно первому началу термодинамики, газ отдает получаемую энергию, совершая работу, т.е. в данном процессе его объем увеличивается.

2. В процессе  $2 \rightarrow 3$  теплообмена газа с внешней средой нет, но его внутренняя энергия уменьшается. Следовательно, и этот процесс связан с расширением газа, поскольку газ совершает положительную работу.

3. *Ответ:* переход газа из состояния 1 в состояние 3 все время сопровождается увеличением его объема.

14. *Ответ:* при переходе из состояния 1 в состояние 2 давление газа увеличивается, а при переходе из состояния 2 в состояние 3 — уменьшается.

15. *Возможное решение.*

1. Парциальное давление пара увеличится, относительная влажность уменьшится.

2. Так как сосуд жесткий, объем газа не изменяется, то есть это изохорный процесс. Тогда  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ , где  $p_1$  и  $p_2$  — соответственно, 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.

3. При увеличении температуры плотность насыщенного пара  $\rho_{\text{нп}}$  увеличивается, а плотность паров в сосуде  $\rho_{\text{пара}}$  не изменяется (сосуд герметичный, масса газов не меняется). Так как относительная влажность воздуха

$\varphi = \frac{\rho_{\text{пара}}}{\rho_{\text{нп}}} \cdot 100\%$ , то относительная влажность воздуха уменьшается.

16. *Ответ:* Парциальное давление пара уменьшится, относительная влажность увеличится.

17. *Возможное решение.*

1. *Ответ:* масса жидкости в сосуде будет уменьшаться.
2. Вода и водяной пар находятся в закрытом сосуде длительное время, поэтому водяной пар является насыщенным.
3. 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.

18. *Ответ:* масса жидкости в сосуде будет увеличиваться.

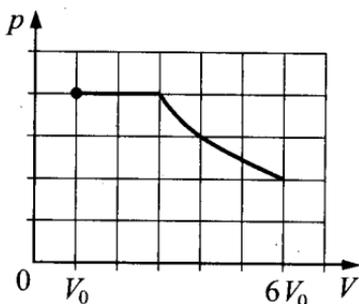
19. *Возможное решение.*

1. 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.

2. Образование пузырьков пара в жидкости возможно только в том случае, когда давление этого пара  $p$  равно давлению столба жидкости:  $p = p_{\text{атм}} + \rho gh$ . В сосуде  $\rho gh \ll p_{\text{атм}}$ , поэтому условие возникновения кипения  $p = p_{\text{атм}}$ . Следовательно, чтобы вода закипела при  $40^\circ\text{C}$ , в соответствии с графиком давление воздуха под колоколом необходимо снизить до  $70\text{ гПа}$ .

20. *Ответ:* давление воздуха под колоколом необходимо снизить до  $40\text{ гПа}$ .

21. *Возможное решение.*



1. 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.

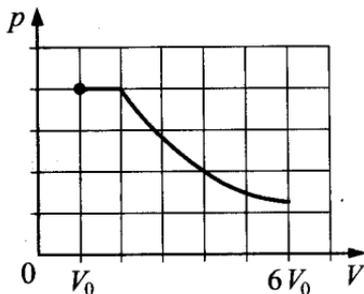
На участке от  $V_0$  до  $3V_0$  график  $p(V)$  — горизонтальный отрезок прямой, на участке от  $3V_0$  до  $6V_0$  — фрагмент гиперболы (для экспертов: отсутствие названий не снижает оценку, названия помогают оценке графика, сделанного от руки).

2. В начальном состоянии над водой находится насыщенный водяной пар, так как за длительное время в системе установилось термодинамическое равновесие.

3. Пока в цилиндре остается вода, при медленном изотермическом расширении пар остается 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 насыщенный пар занимает объем, практически равный  $V_0$ . Во-вторых, чтобы вся вода испарилась, нужно объем под поршнем увеличить еще на  $2V_0$ . Таким образом, горизонтальный отрезок описывает зависимость  $p(V)$  на участке от  $V_0$  до  $3V_0$ .

4. 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.

22. Ответ приведен на графике.

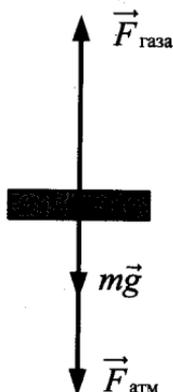


23. *Возможное решение.*

1. 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  $T_2 = 4T_0$ .



2. 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, ее 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  $V_0 < V \leq 2V_0$ , процесс нагревания газа изобарный ( $\frac{V}{T} = \text{const}$ ). Определим температуру начала этого процесса  $T_H$ :

$$\begin{cases} p_0 V_0 = \nu R T_0, \\ 2p_0 \cdot V_0 = \nu R T_H, \end{cases}$$

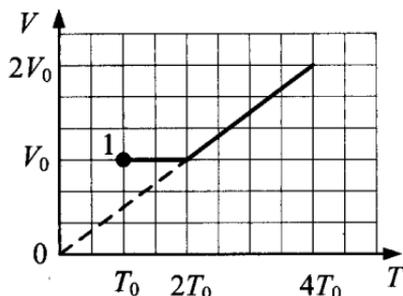
откуда  $T_H = 2T_0$ .

3. На отрезке температур  $T_0 \leq T \leq 2T_0$  процесс нагревания газа изохорный ( $V = V_0$ ), давление газа с ростом его температуры при нагревании увеличивается от  $p_0$  до  $2p_0$ .

4. *Ответ:* а) при  $T_0 \leq T \leq 2T_0$   $V = V_0 = \text{const}$  ;

б) при  $2T_0 \leq T \leq 4T_0$  объем 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.



24. *Ответ:* а) при  $T_0 \leq T \leq 2T_0$  давление газа меняется от  $p_0$  до  $2p_0$  по закону Гей-Люссака.

б) при  $2T_0 \leq T \leq 4T_0$  давление остается постоянным и равным  $2p_0$ .

25. *Возможное решение.*

Под действием электрического поля пластины изменится распределение электронов в гильзе и произойдет ее электризация: та ее 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 коснется ее.

В момент касания часть электронов перейдет с гильзы на положительно заряженную пластину, гильза приобретет положительный заряд и оттолкнется от одноименно заряженной пластины. Гильза отклонится вправо и зависнет в положении, когда равнодействующая всех сил равна нулю.

26. *Возможное решение.*

Под действием электрического поля пластины изменится распределение электронов в гильзе и произойдет ее электризация: та ее 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 коснется ее.

В момент касания часть электронов перейдет с отрицательно заряженной пластины на гильзу, гильза приобретет отрицательный заряд и оттолкнется от одноименно заряженной пластины. Гильза отклонится вправо и зависнет в положении, в котором равнодействующая всех сил равна нулю.

27. *Возможное решение.*

Под действием электрического поля пластины изменится распределение электронов в гильзе и произойдет ее электризация: та ее сторона, которая ближе к отрицательной пластине, будет иметь положительный заряд, а противоположная сторона — отрицательный.

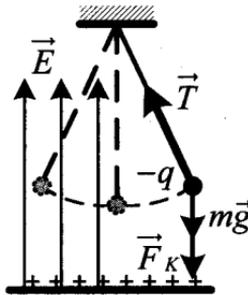
Поскольку силы взаимодействия заряженных тел уменьшаются с ростом расстояния между ними, притяжение к пластине левой стороны гильзы будет сильнее отталкивания правой стороны гильзы, и гильза будет двигаться к пластине, пока не коснется ее.

В момент касания часть электронов перейдет с отрицательно заряженной пластины на гильзу, гильза приобретет отрицательный заряд и оттолкнется от одноименно заряженной пластины и притянется к противоположной положительно заряженной пластине, где гильза приобретет положительный заряд. Таким образом гильза будет совершать колебания между пластинами.

28. *Возможное решение.*

1. 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 счет периодически изменяющейся касательной составляющей силы тяжести. Поэтому частота свободных колебаний зависит только от длины нити  $l$  и ускорения свободного падения  $g$

$$(v_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}).$$



2. Протяженная равномерно заряженная пластина создает однородное электрическое поле  $\vec{E}$ . Если шарiku 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.).

3. В этом случае равнодействующая сил тяжести и Кулона, которая будет определять частоту свободных колебаний маятника, сообщит шарiku ускорение  $a = g + F_K / m = g + Eq / m$ , 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

$$(v_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{l}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g + Eq / m}{l}}, \text{ т.е. } v_2 > v_1).$$

29. *Ответ:* частота свободных колебаний маятника увеличится.
30. *Возможное решение.*
1. Конденсатор, подключенный к источнику постоянного напряжения, будет заряжаться. В результате этого он накапливает энергию  $W = \frac{CU^2}{2}$ .
  2. Электроемкость плоского воздушного конденсатора определяется формулой  $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ . 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:  $W_2 < W_1$ .
  3. При переводе ключей из положения 1 в положение 2 конденсаторы отключают от источников и соединяют с лампами, в результате чего через лампы кратковременно будет протекать электрический ток. Энергия электрического поля, накопленная конденсатором, выделится в лампе в виде световой энергии, что приведет к кратковременной вспышке лампы. Энергия, накопленная конденсатором  $C_1$ , больше, следовательно, при переключении ключа лампа в схеме на рис. а вспыхнет ярче.
  4. Лампа в схеме на рис. а вспыхнет ярче.
31. *Ответ:* Лампа в схеме на рис. б вспыхнет ярче.
32. *Возможное решение.*
1. Конденсатор, подключенный к источнику постоянного напряжения, будет заряжаться. В результате этого он накапливает энергию  $W = \frac{CU^2}{2}$ .
  2. Электроемкость плоского воздушного конденсатора определяется формулой  $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ . У конденсатора на рис. а площадь пластин  $S$  больше, чем у конденсатора на рис. б, следовательно, его электроемкость больше:  $C_1 > C_2$ , а значит, и энергия, накопленная в нем, будет больше:  $W_1 > W_2$ .

3. При переводе ключей из положения 1 в положение 2 конденсаторы отключают от источников и соединяют с лампами, в результате чего через лампы кратковременно будет протекать электрический ток. Энергия электрического поля, накопленная конденсатором, выделится в лампе в виде световой энергии, что приведет к кратковременной вспышке лампы. Энергия, накопленная конденсатором  $C_1$ , больше, следовательно, при переключении ключа лампа в схеме на рис. а вспыхнет ярче.

4. Лампа в схеме на рис. а вспыхнет ярче.

**33.** *Возможное решение.*

1. По проводнику течет постоянный ток, поэтому по закону Ома для участка цепи  $U = IR$ . Сопротивление любой части проводника  $R$  определяется соотношением  $R = \rho \frac{x}{S}$ , где  $x$  —

длина той части проводника, на которой определяется напряжение;  $\rho$  — удельное сопротивление проводника;  $S$  — площадь поперечного сечения этой части проводника.

2. При  $0 < x < l_1$  напряжение пропорционально длине участка; значит, площадь поперечного сечения проводника постоянна.

3. 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.

**34.** *Возможное решение.*

1. По проводнику течет постоянный ток, поэтому по закону Ома для участка цепи  $U = IR$ . Сопротивление любой части проводника  $R$  определяется соотношением  $R = \rho \frac{x}{S}$ , где  $x$  —

длина той части проводника, на которой определяется напряжение;  $\rho$  — удельное сопротивление этой части проводника;  $S$  — площадь поперечного сечения проводника.

2. При  $0 < x < l_1$  напряжение пропорционально длине участка; значит, удельное сопротивление проводника постоянно.
3. 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 быстрее, чем на первом, поэтому удельное сопротивление проводника на втором участке больше, чем на первом.

35. *Возможное решение.*

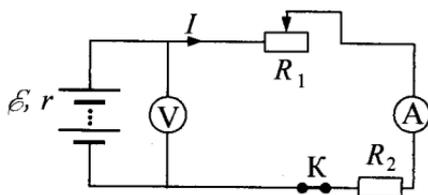
По условию задачи сопротивлением амперметра можно пренебречь, а сопротивление вольтметра бесконечно велико. При перемещении движка реостата вправо его сопротивление  $R_2$  уменьшается, что ведет к уменьшению сопротивления всей внешней цепи  $R$ . В соответствии с законом Ома для полной цепи сила тока через амперметр  $I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}$  увеличивается (знаменатель дроби уменьшается, а числитель остается неизменным), напряжение на батарее, измеряемое вольтметром, уменьшается:  $U = \mathcal{E} - Ir$ .

*Ответ:* напряжение, измеренное вольтметром, уменьшается, а ток через амперметр растёт.

36. *Ответ:* напряжение, измеренное вольтметром, увеличивается, а ток через амперметр уменьшается.

37. *Возможное решение.*

1. Эквивалентная электрическая схема цепи, учитывающая внутреннее сопротивление батареи, изображена на рисунке, где  $I$  — сила тока в цепи.



Ток через вольтметр практически не течет, а сопротивление амперметра пренебрежимо мало.

2. Сила тока в цепи определяется законом Ома для замкнутой (полной) цепи:  $I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r}$ .

В соответствии с законом Ома для участка цепи напряжение, измеряемое вольтметром:  $U = I(R_1 + R_2) = \mathcal{E} - Ir$ .

3. 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 растет.

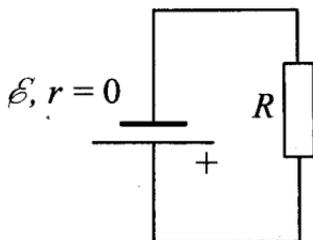
38. *Ответ:* При перемещении движка реостата влево его сопротивление увеличивается, что приводит к увеличению полного сопротивления цепи. Сила тока в цепи при этом уменьшается, а напряжение на батарее растет.

39. *Возможное решение.*

1. Показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата остаются неизменными.

2. 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  $U_{\text{реостата}} = I_{\text{реостата}} R_{\text{реостата}} = 0$ . Таким образом, показания вольтметра при любом положении движка реостата равны напряжению на резисторе  $R$ .

3. Эквивалентная схема для расчета 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:  $I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}$ , а напряжение на резисторе — законом Ома для участка цепи:  $U_R = IR$ . Учитывая, что  $r = 0$ , получаем  $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$ ,  $U_R = \mathcal{E}$ .

4. Таким образом, при любом положении движка реостата показания вольтметра равны ЭДС источника  $\mathcal{E}$ .

40. *Ответ:* Показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата остаются неизменными. При любом положении движка реостата показания вольтметра равны ЭДС источника  $\mathcal{E}$ .

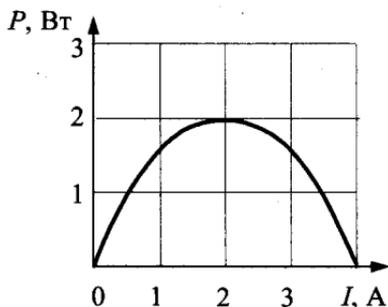
41. *Возможное решение.*

Тепловая мощность, выделяющаяся на резисторе, имеющем сопротивление  $R$ , определяется законом Джоуля–Ленца  $P = UI$ , где  $I$  — сила тока в цепи, а  $U$  — напряжение на резисторе. Сила тока определяется законом Ома для полной цепи  $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ , а напряжение на резисторе — законом Ома для участка цепи  $U = IR$ .

На графике мощность в нагрузке зависит от силы тока  $I$ , поэтому сопротивление нагрузки  $R = R(I) = \frac{\mathcal{E}}{I} - r$  и напряжение на резисторе  $U(I) = IR = \mathcal{E} - Ir$  необходимо рассматривать как величины, зависящие от силы тока  $I$  и параметров батареи  $\mathcal{E}$  и  $r$ , которые не меняются. Мощность в нагрузке  $P(I) = U(I)I = I(\mathcal{E} - Ir)$  — квадратичная функция силы тока.

График этой функции — парабола, проходящая через точки  $I_1 = 0$ ,  $I_2 = I_{\max} = \mathcal{E}/r$ . Следовательно,  $\mathcal{E}$  — парабола.  $\mathcal{E} = I_{\max} \cdot r = 4 \cdot 0,5 = 2$  В.

42. *Ответ:*



43. *Возможное решение.*

1. Показания амперметра станут отличными от нуля, а показания вольтметра уменьшатся.
2. До замыкания ключа амперметр и вольтметр показывают, соответственно, нулевой ток и ЭДС источника.
3. Замыкание ключа вызовет появление тока в цепи, поэтому показания вольтметра уменьшатся на величину напряжения на внутреннем сопротивлении источника. По закону Ома для полной цепи  $U = \mathcal{E} - Ir$ .

44. *Ответ:* После размыкания ключа амперметр будет показывать нулевой ток, а показания вольтметра увеличатся и будут равны ЭДС источника.

45. *Возможное решение.*

1. Пружина сожмется, ее длина уменьшится.
2. 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.
3. При замыкании ключа К по цепи пойдет 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.

46. *Ответ:* Длина пружины увеличится.

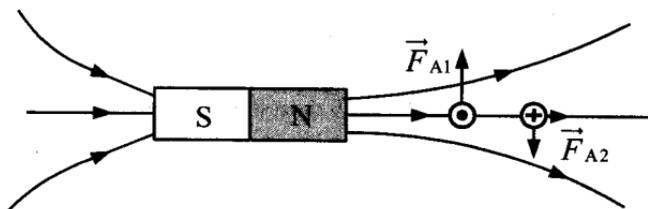
47. *Возможное решение.*

1. *Ответ:* Рамка повернется по часовой стрелке и встанет перпендикулярно оси магнита так, что контакт «+» окажется внизу.

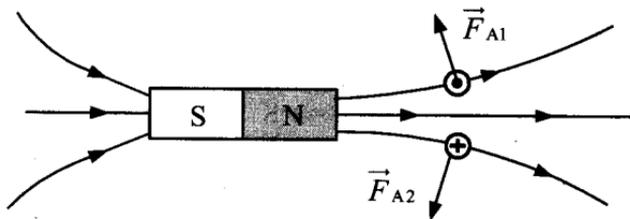
2. Рассмотрим сечение рамки плоскостью рисунка в условии задачи.

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.).



3. 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.).



48. *Ответ:* Рамка повернется против часовой стрелки и встанет перпендикулярно оси магнита так, что контакт «-» окажется внизу.

49. *Возможное решение.*

1. Когда ключ разомкнут, тока в катушке нет, магнит висит неподвижно и пружина растянута.

2. После замыкания ключа в катушке потечет ток и индукция магнитного поля катушки (вблизи ее оси) будет направлена вниз.

3. Катушка с током аналогична полосовому магниту, северный полюс которого в данном случае расположен у ее нижнего торца, а южный — у верхнего. Значит, магнит будет притягиваться к катушке и опускаться вниз.

50. *Ответ:* магнит будет отталкиваться от катушки и подниматься вверх.

51. *Возможное решение.*

1. Загорится лампочка 2.

2. 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.

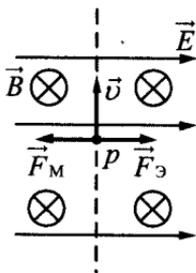
52. *Возможное решение.*

1. Загорится лампочка 1.

2. 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.

53. *Возможное решение.*

1. Траектория протона будет криволинейной, отклоняющейся от первоначальной прямой траектории влево.



2. На протон действуют магнитное поле силой  $F_M = qvB$  и электрическое поле силой  $F_E = qE$ . Поскольку заряд протона положительный,  $\vec{F}_E$  сонаправлена с  $\vec{E}$ , а по правилу левой руки  $\vec{F}_M$  направлена противоположно силе  $\vec{F}_E$ .

Поскольку первоначально протон двигался прямолинейно, то согласно второму закону Ньютона по модулю эти силы были равны.

3. Сила действия электрического поля не зависит от скорости протона, а сила действия магнитного поля с увеличением его скорости возрастает. Поскольку приращение  $\vec{F}_M$ , а также вызываемое им ускорение направлены влево, траектория протона будет криволинейной, отклоняющейся от пунктирной прямой влево.

54. *Ответ:* Траектория протона будет криволинейной, отклоняющейся от первоначальной прямой траектории вправо.

55. *Возможное решение.*

1. Во время перемещения движка реостата показания амперметра будут увеличиваться, а вольтметр будет регистрировать напряжение на концах вторичной обмотки.

Примечание. Для полного ответа не требуется объяснения показаний приборов в крайнем нижнем положении. (Когда движок придет в крайнее нижнее положение и его движение прекратится, амперметр будет показывать постоянную силу тока в цепи, а напряжение, измеряемое вольтметром, окажется равным нулю.)

2. 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.

3. 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.

4. 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 ее концах, регистрируемое вольтметром.

**56.** *Возможное решение.*

1. Во время перемещения движка реостата показания амперметра будут плавно увеличиваться, а вольтметр будет регистрировать напряжение на концах вторичной обмотки.

Примечание: Для полного ответа не требуется объяснения показаний приборов в крайнем левом положении. (Когда движок придет в крайнее левое положение и движение его прекратится, амперметр будет показывать постоянную силу тока в цепи, а напряжение, измеряемое вольтметром, окажется равным нулю.)

2. 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.

3. 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.

4. 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 ее концах, регистрируемое вольтметром.

57. *Возможное решение.*

1. *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 нем 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.)

2. При медленном перемещении катушки вверх ее 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  $\mathcal{E}_{\text{инд}} \ll \mathcal{E}$ , которой можно пренебречь.

3. Сила тока через амперметр не изменится, поскольку в соответствии с законом Ома для замкнутой цепи она определяется выражением  $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ , где  $R$  — сопротивление подключенной части реостата.

4. Уменьшение потока вектора магнитной индукции через поперечное сечение сердечника вызывает изменение потока вектора индукции магнитного поля в проволочном мотке, соединенном с гальванометром. В соответствии с законом Фарадея  $\mathcal{E}_2 = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ , что вызывает ток через гальванометр.

58. *Ответ:* Во время перемещения мотка вверх и снятия с сердечника показания амперметра будут оставаться неизменными, а гальванометр будет регистрировать ток в цепи проволочного мотка.

59. *Возможное решение.*

1. Индукционный ток в кольце вызван ЭДС индукции, возникающей при пересечении проводником линий магнитного поля.

По закону Фарадея  $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  ЭДС пропорциональна скорости

изменения магнитного потока  $\Phi$ , 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  $\mathcal{E}$ :  $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$ .

2. 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  $\Phi$ , что приводит к росту модуля ЭДС и модуля силы тока. Когда полюс магнита, пройдя через плоскость кольца, начинает удаляться от проводника, 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.

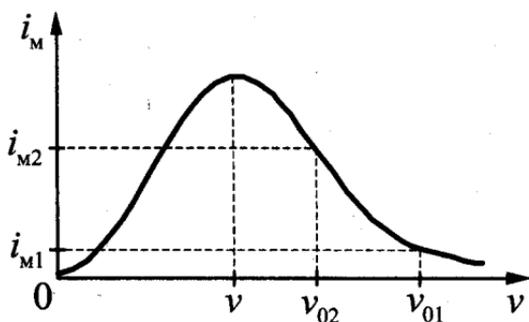
При дальнейшем движении магнита поток начинает уменьшаться, а линии оказываются вновь направлены под углом к плоскости кольца и пересекаются им при движении. Это приводит к возникновению ЭДС, направление которой изменяется на противоположное, поскольку количество линий, оказавшихся внутри контура, уменьшается, 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.

60. *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  $t_1$ .

61. *Возможное решение.*

1. В описанном опыте колебания в контуре являются вынужденными, они совершаются с частотой  $\nu$ , задаваемой источником тока. Но колебательный контур имеет собственную частоту колебаний  $\nu_0$ , и амплитуда колебаний тока в нем 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 емкости конденсатора и согласно формуле Томсона

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

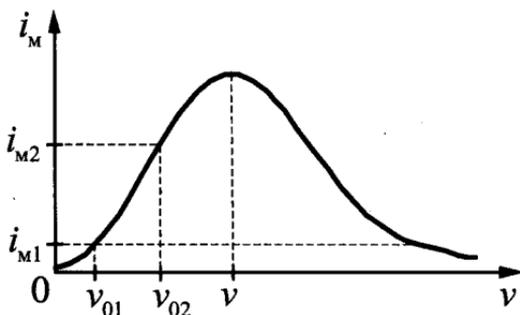


2. Таким образом, ученик, увеличивая емкость конденсатора от  $C_{\min}$  до  $C_{\max}$ , уменьшал собственную частоту колебаний контура от  $\nu_{01}$  до  $\nu_{02}$ , что привело к возрастанию амплитуды тока от  $i_{M1}$  до  $i_{M2}$  в соответствии с резонансной кривой.

62. *Возможное решение.*

1. В описанном опыте колебания в контуре являются вынужденными, они совершаются с частотой  $\nu$ , задаваемой источником тока. Но колебательный контур имеет собственную частоту колебаний  $\nu_0$ , и амплитуда колебаний тока в нем 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

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$



2. Таким образом, ученик, уменьшая индуктивность катушки от  $L_{\max}$  до  $L_{\min}$ , увеличивал собственную частоту колебаний контура от  $\nu_{01}$  до  $\nu_{02}$ , что привело к возрастанию амплитуды тока от  $i_{M1}$  до  $i_{M2}$  в соответствии с резонансной кривой.

63. *Возможное решение.*

1. 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.

2. 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.

3. 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.

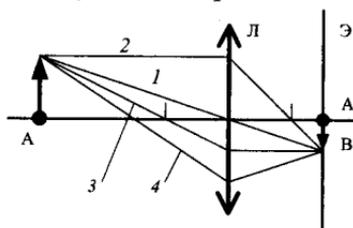


Рис. 3

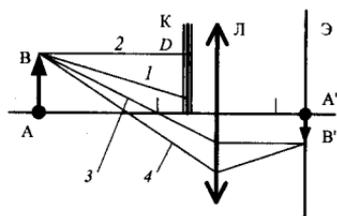


Рис. 4

64. *Ответ:* изображение предмета останется на прежнем месте, не меняя формы, но станет темнее.

65. *Возможное решение.*

1. Сила давления света во втором опыте больше, чем в первом.
2. В обоих опытах происходит поглощение световой волны. Этот процесс можно рассматривать как поглощение за время  $t$

большого числа  $N \gg 1$  квантов света — фотонов. Каждый фотон при поглощении передает пластинке импульс  $p_\phi = \frac{h\nu}{c}$ , поэтому пластинка получает импульс, равный сумме импульсов поглощенных фотонов:  $p_\Sigma = Np_\phi = N \frac{h\nu}{c}$ .

3. В результате поглощения света пластинкой, покрытой сажей, она приобретает за время  $t$  импульс  $p_\Sigma$  в направлении распространения света от лазера. В соответствии с законом изменения импульса тела в инерциальной системе отсчета скорость изменения импульса тела равна силе, действующей на него со стороны других тел или полей:

$$F_1 = \frac{p_\Sigma}{t} = \frac{N}{t} \frac{h\nu}{c}.$$

4. В результате отражения света от зеркальной пластины отраженный квант имеет импульс, противоположный по знаку импульсу кванта падающей волны:  $p'_\phi = -p_\phi$ , поэтому отраженная волна имеет импульс  $p'_\Sigma = -N'p_\phi = -N' \frac{h\nu}{c}$ . В итоге за

время  $t$  импульс волны под действием зеркальной пластинки изменился. Это изменение

$$\Delta p_\Sigma = (-p'_\Sigma) - p_\Sigma = -(N + N')p_\phi.$$

Импульс системы световая волна + зеркальная пластинка сохраняется:  $\Delta(p_\Sigma + p_{\text{пл}}) = 0$ , поэтому  $\Delta p_{\text{пл}} = -\Delta p_\Sigma$ . Но изменение импульса тела в инерциальной системе отсчета происходит только под действием других тел или полей и характеризуется силой

$$F_2 = \frac{p_{\text{пл}}}{t} = \frac{N + N'}{t} \frac{h\nu}{c}.$$

Для хорошего зеркала  $N \approx N'$ , поэтому  $F_2 \approx 2F_1$ .

5. Сравнивая выражения для силы  $F_1$ , действующей на пластинку, покрытую сажей, и силы  $F_2$ , действующей на зеркало, приходим к выводу, что  $F_1 < F_2$ .

66. *Возможное решение.*

1. Увеличивается.

2. Свет, падающий на предмет, можно представить как поток фотонов с энергией  $E_{\phi} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ . Известно, что длина волны

зеленого света меньше длины волны красного света; следовательно, частота зеленого света больше, чем красного.

Так как энергия фотона  $E = h\nu$ , то энергия фотонов зеленого света больше, чем красного.

3. Мощность светового излучения, падающего на площадку,

$P = E_{\phi} \cdot \frac{\Delta N}{\Delta t}$ , где  $\Delta t$  — интервал времени измерения (например,  $\Delta t = 1$  с);  $\Delta N$  — число фотонов, упавших на площадку за это время. В данном случае  $P_1 = P_2$ ,  $E_{\phi 1} > E_{\phi 2}$ ,

откуда  $\frac{\Delta N_2}{\Delta N_1} = \frac{E_{\text{фот.зел.}}}{E_{\text{фот.кр.}}} > 1$ .

Следовательно, число фотонов увеличится.