1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
22
23
25
27
28
29
30

ВСЕ ЗАДАНИЯ

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

ФИЗИКА

МЕХАНИКА
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

ЕГЭ 450 ЗАДАЧ

С ОТВЕТАМИ И РЕШЕНИЯМИ

- Более 450 заданий по темам «Механика» и «Молекулярная физика»
- Решения
- Ответы

ЕГЭ

950 ЗАДАЧ

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

ФИЗИКА

Механика
Молекулярная физика

450 ЗАДАЧ С ОТВЕТАМИ И РЕШЕНИЯМИ

Более 450 заданий по темам «Механика» и «Молекулярная физика»
Решения
Ответы

Издательство
«ЭКЗАМЕН»
МОСКВА, 2021

УДК 372.8:53
ББК 74.262.22
Д30

Демидова М. Ю.

Д30 ЕГЭ. Физика. Механика. Молекулярная физика. 450 задач с ответами и решениями / М. Ю. Демидова, В. А. Грибов, А. И. Гиголо. — М. : Издательство «Экзамен», 2021. — 239, [1] с. (Серия «950 задач»)

ISBN 978-5-377-16432-6

Задания по физике, аналогичные заданиям из банка заданий ЕГЭ.

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

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

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

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

УДК 372.8:53
ББК 74.262.22

Формат 60x90/16. Гарнитура «Школьная».
Бумага газетная. Уч.-изд. л. 11,23. Усл. печ. л. 15.
Тираж 10 000 экз. Заказ № 1321.

ISBN 978-5-377-16432-6

Содержание

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, причём его скорость увеличилась в 3 раза. Определите ускорение тела.

Ответ: ___________ м/с^2.

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^2 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 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 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 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 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 от дорожной отметки 38 км и закончил ускоряться через 100 м, достигнув скорости 20 м/с. Каково ускорение автомобиля?

Ответ: ___________ 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: ___________ 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 прошёл за это время?

Ответ: ___________ м.

16. Начальная скорость тележки равна 5 м/с. Тележка движется с ускорением 2 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: ___________ 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 полёта 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 полёта?

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 полёта?

Ответ: ___________ м/с.

32. С аэростата, зависшего над Землёй, 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 Землёй 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^2.

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

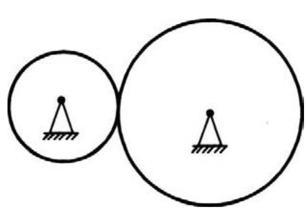
Ответ: ___________ м/с^2.

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

Ответ: ___________ м/с^2.

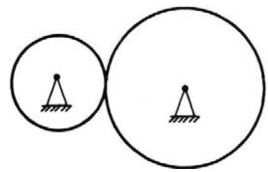
Динамика

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



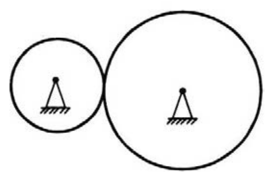
Ответ: ___________ .

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



Ответ: ___________ см.

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



Ответ: ___________ см.

42. 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.

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

Ответ: ___________ Н.

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

Ответ: ___________ км/с.

45. 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^2.

46. 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^2. Определите радиус планеты.

Ответ: ___________ км.

47. Груз массой 3 кг подвешен к укреплённому 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^2.

48. 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^2.

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.

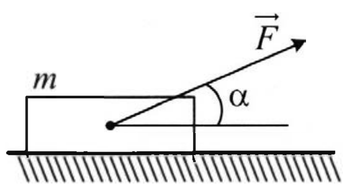
51. Брусок массой 0,5 кг прижат к вертикальной стене силой 10 Н, направленной перпендикулярно стене. Коэффициент трения скольжения между бруском и стеной равен 0,4. Какую силу надо приложить к бруску по вертикали, чтобы равномерно поднимать его вертикально вверх?

Ответ: ___________ Н.

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

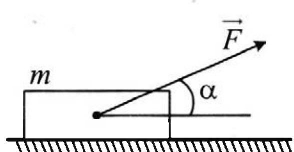
Ответ: ___________ .

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



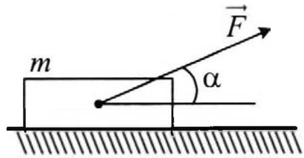
Ответ: ___________ кг.

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



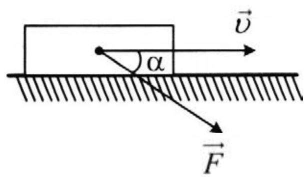
Ответ: ___________ Н.

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 $\alpha = 30°$. Чему равен коэффициент трения между бруском и плоскостью?



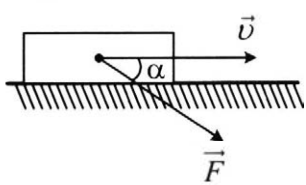
Ответ: ___________ .

56. Тело массой 1 кг движется по горизонтальной плоскости. На тело действует сила $F = 10$ Н под углом $\alpha = 30°$ 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 $\alpha = 30°$ 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.

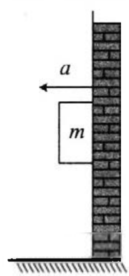
58. На горизонтальном полу стоит ящик массой 10 кг. Коэффициент трения между полом и ящиком равен 0,25. К ящику в горизонтальном направлении прикладывают силу 16 Н, и он остается в покое. Какова сила трения между ящиком и полом?

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?

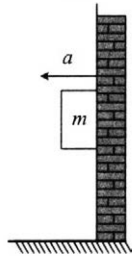
Ответ: ___________ м/с^2.

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^2?



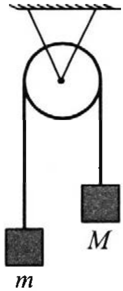
Ответ: ___________ .

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?



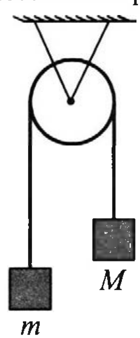
Ответ: ___________ м/с^2.

62. Брусок массой $M = 300$ г соединён 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?



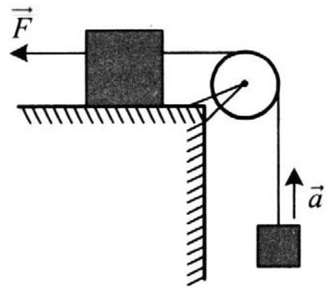
Ответ: ___________ м/с^2.

63. Брусок массой M соединён с более лёгким 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^2?



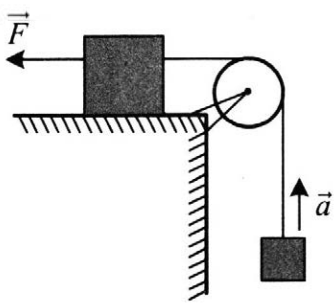
Ответ: ___________ г.

64. Груз, лежащий на столе, связан лёгкой 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^2, направленным вверх. Трением между грузом и поверхностью стола пренебречь. Какова масса первого груза?



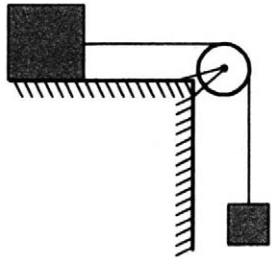
Ответ: ___________ кг.

65. Груз массой 3 кг, лежащий на столе, связан лёгкой 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 м/с^2, направленным вверх. Трением между грузом и поверхностью стола пренебречь. Какова масса второго груза?



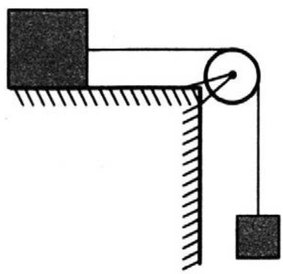
Ответ: ___________ кг.

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



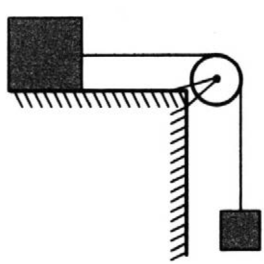
Ответ: ___________ .

67. По горизонтальному столу из состояния покоя движется брусок массой 0,7 кг, соединённый 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.



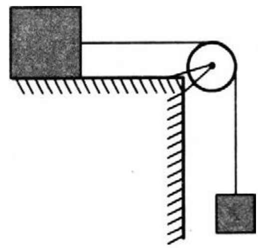
Ответ: ___________ м/с^2.

68. По горизонтальному столу из состояния покоя движется массивный брусок, соединённый 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 м/с^2. Какова масса бруска?



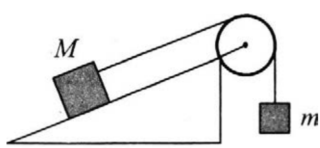
Ответ: ___________ кг.

69. По горизонтальному столу из состояния покоя движется брусок массой 0,9 кг, соединённый 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 силу натяжения вертикальной части нити.



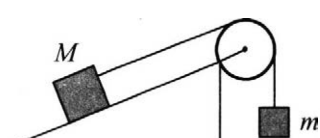
Ответ: ___________ Н.

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



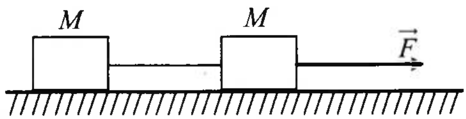
Ответ: ___________ м/с^2.

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



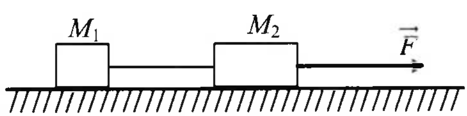
Ответ: ___________ м/с^2.

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?



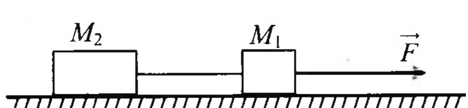
Ответ: ___________ Н.

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.)?



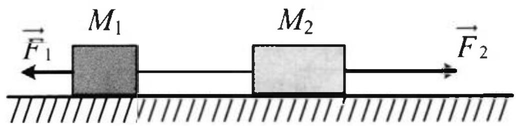
Ответ: ___________ Н.

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?



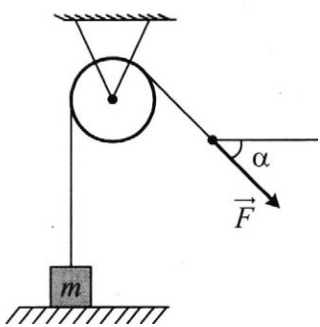
Ответ: ___________ кг.

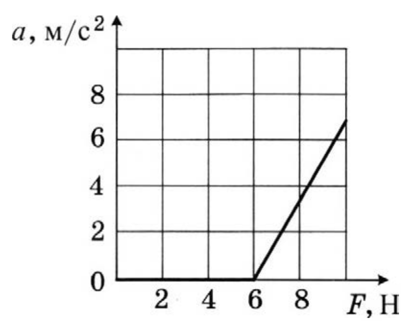
75. Два груза массами соответственно M_1 = 1 кг и M_2 = 2 кг, лежащие на гладкой горизонтальной поверхности, связаны невесомой и нерастяжимой нитью. На грузы действуют силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, как показано на рисунке. Сила натяжения нити T = 15 Н. Каков модуль силы F_1, если F_2 = 21 Н?



Ответ: ___________ Н.

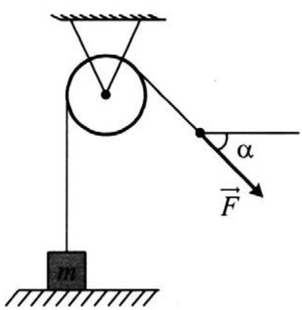
76. Массивный груз, покоящийся на горизонтальной опоре, привязан к лёгкой нерастяжимой веревке, перекинутой через идеальный блок. К веревке прикладывают постоянную силу $\vec{F}$, направленную под углом α = 45° к горизонту (см. рис.). Зависимость модуля ускорения груза от модуля силы $\vec{F}$ представлена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

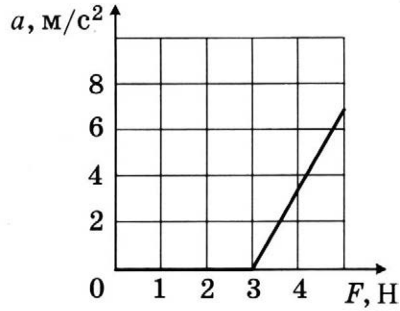




Ответ: ___________ кг.

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

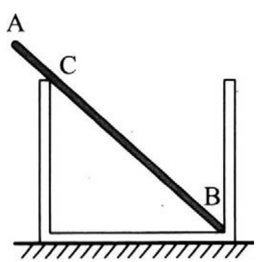




Ответ: ___________ кг.

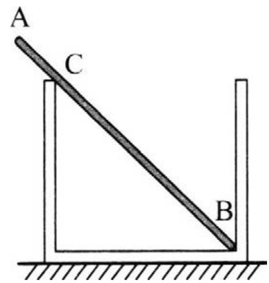
Статика

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



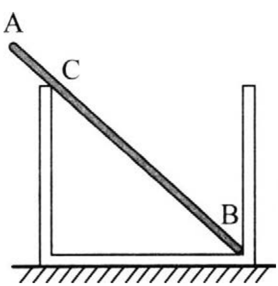
Ответ: ___________ Н.

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



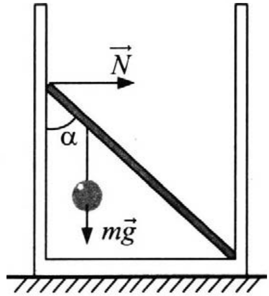
Ответ: ___________ Н.

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 Н. Вертикальная составляющая силы, с которой стержень давит на сосуд в точке B, равна по модулю 0,6 Н, а её горизонтальная составляющая равна по модулю 0,3 Н. Чему равна сила тяжести, действующая на стержень? Трением пренебречь.



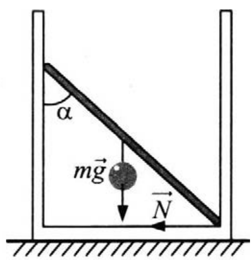
Ответ: ___________ Н.

81. Невесомый стержень длиной 1 м, находящийся в ящике с гладкими дном и стенками, составляет угол $\alpha = 45°$ 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?



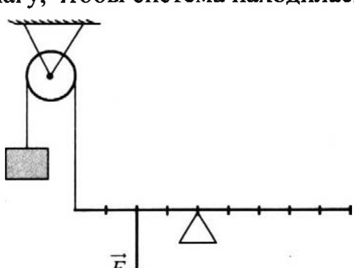
Ответ: ___________ Н.

82. Невесомый стержень, находящийся в ящике с гладкими дном и стенками, составляет угол 45° 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?



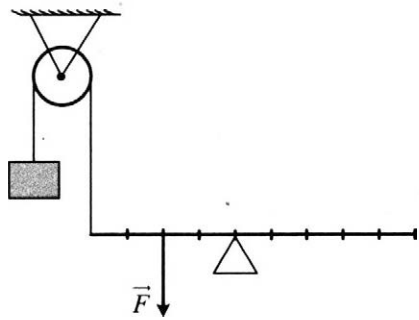
Ответ: ___________ Н.

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



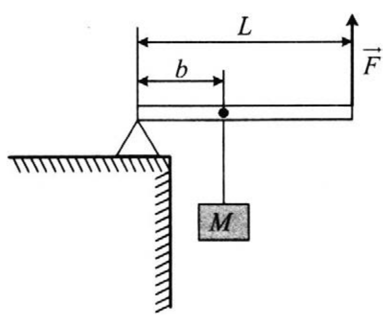
Ответ: ___________ Н.

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



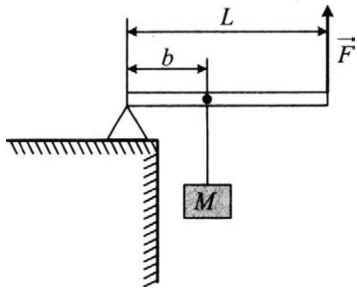
Ответ: ___________ г.

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.



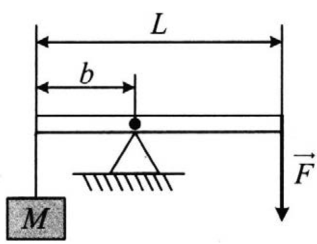
Ответ: ___________ кг.

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.



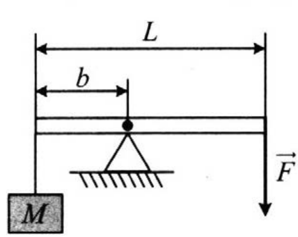
Ответ: ___________ м.

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.



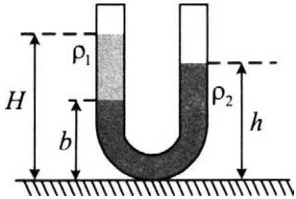
Ответ: ___________ м.

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.



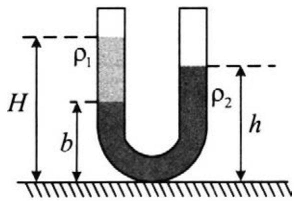
Ответ: ___________ кг.

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



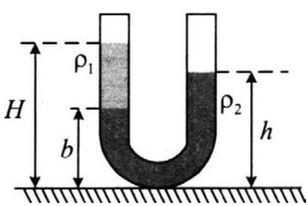
Ответ: ___________ см.

90. В U-образную трубку с широкими вертикальными прямыми коленами налиты неизвестная жидкость плотностью ρ_1 и вода плотностью $\rho_2 = 1000$ кг/м^3 (см. рис.). На рисунке $b = 10$ см, $h = 24$ см, $H = 30$ см. Чему равна плотность жидкости ρ_1?



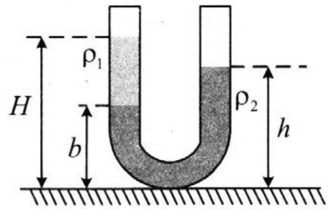
Ответ: ___________ кг/м^3.

91. В U-образную трубку с широкими вертикальными прямыми коленами налиты жидкости плотностью ρ_1 и ρ_2 (см. рис.). На рисунке $b = 5$ см, $h = 19$ см, $H = 25$ см. Чему равно отношение плотностей $\frac{\rho_1}{\rho_2}$?



Ответ: ___________ .

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

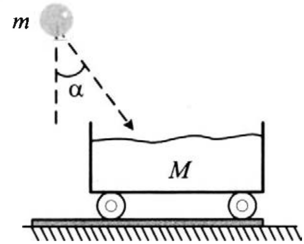
95. Мальчик массой 50 кг, стоя на очень гладком льду, бросает груз массой 8 кг под углом 60° к горизонту со скоростью 5 м/с. Какую скорость приобретет мальчик?

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?

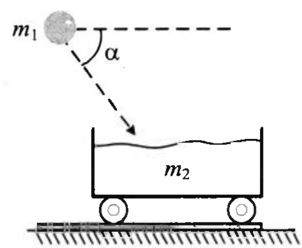
Ответ: ___________ кг.

97. Камень массой $m = 4$ кг падает под углом $\alpha = 30°$ 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 неё камня?



Ответ: ___________ м/с.

98. Камень массой $m_1 = 4$ кг падает под углом 60° 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° со скоростью 50 м/с, а второй — под углом 30° 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° со скоростью 50 м/с, а второй — под углом 30°. 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 неё 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, 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° к первоначальному направлению. Под каким углом к этому направлению полетит второй осколок, если его масса 1 кг, а скорость 400 м/с?

Ответ: ___________ °.

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

Ответ: ___________ кг.

107. Из ствола пушки, закреплённой на железнодорожной платформе, вдоль рельсов под углом 60° к горизонту вылетает снаряд массой 10 кг. Масса платформы с пушкой 10 т. Каково отношение скоростей снаряда и пушки $\frac{\upsilon_С}{\upsilon_П}$, с которыми они будут двигаться после выстрела?

Ответ: ___________ .

108. Снаряд вылетает из ствола пушки, закреплённой на железнодорожной платформе, вдоль рельсов под углом 60° 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 её 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 её скорость равна 100 м/с, а скорость бруска равна 10 м/с. Какова масса бруска?

Ответ: ___________ г.

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

Ответ: ___________ Дж.

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

Ответ: ___________ Дж.

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

Ответ: ___________ Вт.

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

Ответ: ___________ Вт.

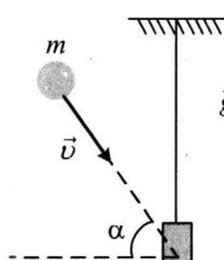
115. Подъёмный кран равномерно поднимает груз массой 2 т на высоту 10 м. За какое время поднимется груз, если мощность двигателя крана 10 кВт? Потери энергии незначительны.

Ответ: ___________ с.

116. Подъёмный 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.

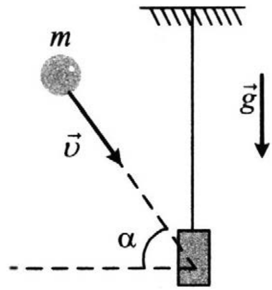
Ответ: ___________ %.

117. Доска массой 0,8 кг шарнирно подвешена к потолку на лёгком 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° 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 лёгком 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° 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 · м/с. Массы шариков 100 г и 150 г. После столкновения слипшиеся шарики движутся поступательно. Определите их общую кинетическую энергию после соударения.

Ответ: ___________ Дж.

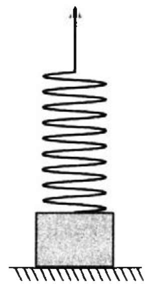
121. В брусок массой 200 г, покоящийся на гладком горизонтальном столе, попадает пластилиновый шарик массой 50 г, летящий горизонтально. После удара брусок с прилипшим к нему пластилином движется поступательно, их кинетическая энергия равна 0,5 Дж. Определите импульс шарика перед ударом.

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.

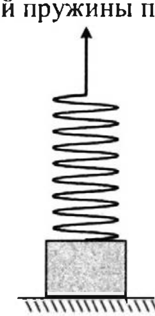
Ответ: ___________ Дж.

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, запасённой 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 жёсткостью 200 Н/м. Свободный конец пружины тянут медленно в вертикальном направлении (см. рис.). Определите, на сколько растягивается пружина к моменту отрыва бруска от поверхности стола, если при этом величина потенциальной энергии, запасённой в пружине, составляет 40 мДж. Массой пружины пренебречь.



Ответ: ___________ см.

125. Мальчик столкнул санки с вершины горки. Сразу после толчка санки имели скорость 5 м/с, а у подножия горки она равнялась 15 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 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 седоками 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° к горизонту со скоростью 4 м/с. Какова потенциальная энергия тела в высшей точке подъёма? 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° к горизонту. Какую работу совершила сила тяжести за время полёта 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 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 привязан к нити, другой конец нити прикреплён к потолку. Нить с грузом отвели от вертикали на угол 90° и отпустили. Каково центростремительное ускорение груза в момент, когда нить образует с вертикалью угол 60°? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: ___________ м/с^2.

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

Ответ: ___________ °.

138. Камень массой 200 г, брошенный под углом 30° 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° 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 жёсткость 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. На сколько была сжата пружина до выстрела, если ее жёсткость 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° 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° к горизонту и прошёл путь по склону, равный 50 м. Определите конечную скорость автомобиля. Трением пренебречь.

Ответ: ___________ м/с.

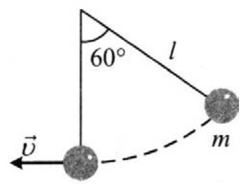
148. После удара клюшкой шайба стала скользить вверх по ледяной горке от её основания и у её вершины имела скорость 5 м/с. Высота горки 10 м. Трение шайбы о лёд пренебрежимо мало. Какова скорость шайбы сразу после удара?

Ответ: ___________ м/с.

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

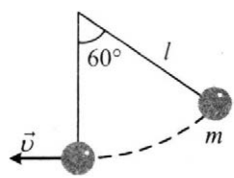
Ответ: ___________ м.

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



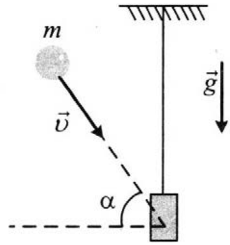
Ответ: ___________ Дж.

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



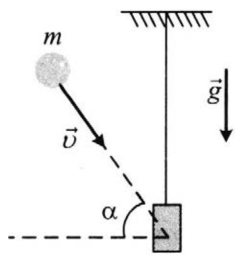
Ответ: ___________ м.

152. Доска массой 0,5 кг шарнирно подвешена к потолку на лёгком 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° к нормали к доске (см. рис.). Определите высоту подъёма доски относительно положения равновесия после соударения. Ответ округлите до десятых.



Ответ: ___________ м.

153. Доска шарнирно подвешена к потолку на лёгком 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° к нормали к доске (см. рис.). Высота подъёма доски относительно положения равновесия после соударения равна 0,1 м. Определите массу доски. Ответ округлите до десятых.



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° к горизонту? Трением пренебречь.

Ответ: ___________ м.

155. Автомобиль с выключенным двигателем проехал 50 м вниз по дороге, проложенной под углом 30° 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 её конец закреплён, 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 жёсткость пружины. Трение не учитывать.

Ответ: ___________ Н/м.

157. Горизонтально расположенная невесомая пружина с жёсткостью $k = 1000$ Н/м находится в недеформированном состоянии. Один ее конец закреплён, а другой касается бруска массой $M = 0{,}1$ кг, находящегося на горизонтальной поверхности. Брусок сдвигают, сжимая пружину, и отпускают. На какую длину Δx была сжата пружина, если после отпускания бруска его скорость достигла величины $\upsilon = 1$ 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 $\alpha = 60°$. 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 $\alpha = 60°$. 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 подъёма 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 $\alpha = 60°$. 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 округлите до десятых.

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°. 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°. 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 лёгкой нерастяжимой нити совершает колебания. Максимальная потенциальная энергия шарика в поле тяжести, если считать её 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 лёгкой нерастяжимой нити совершает колебания. Максимальная потенциальная энергия шарика в поле тяжести, если считать её равной нулю в положении равновесия, равна 0,8 Дж. Масса шарика рвана 0,4 кг. Определите максимальную скорость шарика в процессе колебаний. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: ___________ м/с.

168. Груз массой 2 кг, закреплённый на пружине жёсткостью 200 Н/м, совершает гармонические колебания. Максимальное ускорение груза при этом равно 10 м/с^2. Какова максимальная скорость груза?

Ответ: ___________ м/с.

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

Ответ: ___________ м/с.

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

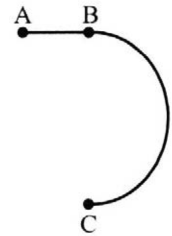
Ответ: ___________ кг · м/с.

171. Груз массой 2 кг, закреплённый на пружине жёсткостью 400 Н/м, совершает гармонические колебания. Максимальное ускорение груза при этом равно 10 м/с^2. Какова амплитуда колебаний груза?

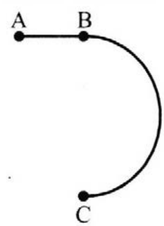
Ответ: ___________ см.

1.2. Задания с развёрнутым ответом

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



2. Стартуя из точки A (см. рис.), спортсмен движется равноускоренно до точки B, после которой модуль скорости спортсмена остаётся постоянным вплоть до точки C. На участке BC модуль ускорения в 2 раза больше, чем на участке AB. Во сколько раз время, затраченное спортсменом на участок BC, больше, чем на участок AB? Траектория BC — полуокружность.



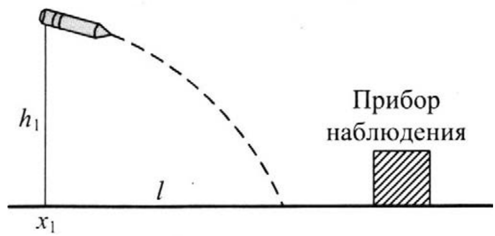
3. В безветренную погоду самолёт затрачивает на перелёт между городами 6 часов. Если во время полёта дует боковой ветер перпендикулярно линии полёта, то самолёт затрачивает на перелёт на 9 минут больше. Найдите скорость ветра, если скорость самолёта относительно воздуха постоянна и равна 328 км/ч.

4. В безветренную погоду самолёт затрачивает на перелёт между городами 6 часов. Если во время полёта дует боковой ветер перпендикулярно линии полёта, то самолёт затрачивает на перелёт на 9 минут больше. Найдите скорость самолёта 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 Землёй (см. рис.). Через 3 с снаряд упал на Землю и взорвался на расстоянии $l = 1700$ м от места его обнаружения. Чему равнялось время полёта снаряда от пушки до места взрыва, если считать, что сопротивление воздуха пренебрежимо мало́? Пушка и место взрыва находятся на одной горизонтали.



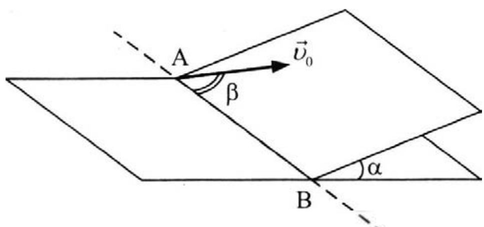
8. Прибор наблюдения обнаружил летящий снаряд и зафиксировал его горизонтальную координату x_1 и высоту $h_1 = 1655$ м над Землёй (см. рис.). Через 3 с снаряд упал на Землю и взорвался на расстоянии $l = 1700$ м от места его обнаружения. Известно, что снаряды данного типа вылетают из ствола пушки со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

9. Маленький шарик падает сверху на наклонную плоскость и упруго отражается от неё. Угол наклона плоскости к горизонту равен 30°. На какое расстояние по горизонтали перемещается шарик между первым и вторым ударами о плоскость?

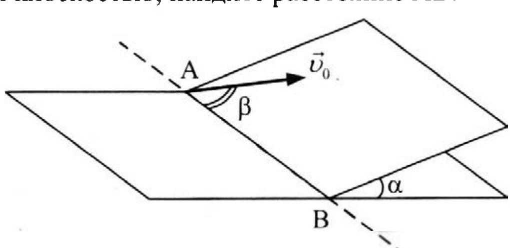
Скорость шарика в момент первого удара направлена вертикально вниз и равна 1 м/с.

10. Маленький шарик падает сверху на наклонную плоскость и упруго отражается от неё. Угол наклона плоскости к горизонту равен 30°. Между первым и вторым ударами о плоскость шарик перемещается по горизонтали на расстояние 0,173 м. Скорость шарика в момент первого удара направлена вертикально вниз. Какова величина этой скорости?

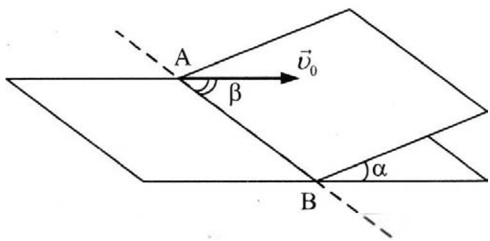
11. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой AB. Угол между плоскостями $\alpha = 30°$. Маленькая шайба скользит вверх по наклонной плоскости из точки A с начальной скоростью $\upsilon_0 = 2$ м/с, направленной под углом $\beta = 60°$ к прямой AB. Найдите максимальное расстояние, на которое шайба удалится от прямой AB в ходе подъёма по наклонной плоскости. Трением между шайбой и наклонной плоскостью пренебречь.



12. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой AB. Угол между плоскостями $\alpha = 30°$. Маленькая шайба начинает движение вверх по наклонной плоскости из точки A с начальной скоростью $\upsilon_0 = 2$ м/с под углом $\beta = 60°$ к прямой AB. В ходе движения шайба съезжает на прямую AB в точке B. Пренебрегая трением между шайбой и наклонной плоскостью, найдите расстояние AB.



13. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой AB. Угол между плоскостями $\alpha = 30°$. Маленькая шайба скользит вверх по наклонной плоскости из точки A с начальной скоростью $\upsilon_0 = 4$ м/с, направленной под углом $\beta = 45°$ к прямой AB (см. рис.). Найдите максимальное расстояние, на которое шайба удалится от горизонтальной плоскости в ходе подъёма по наклонной плоскости. Трением между шайбой и наклонной плоскостью пренебречь.



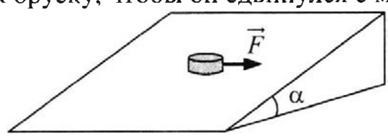
14. Средняя плотность планеты Плюк равна средней плотности Земли, а первая космическая скорость для Плюка в 2 раза больше, чем для Земли. Чему равно отношение периода обращения спутника, движущегося вокруг Плюка по низкой круговой орбите, к периоду обращения аналогичного спутника Земли? Объём шара пропорционален кубу радиуса ($V \sim R^3$).

15. 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? Объём шара пропорционален кубу радиуса ($V \sim R^3$).

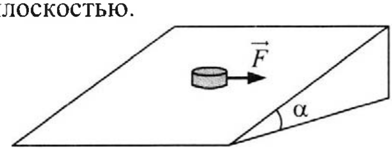
16. На горизонтальном столе лежит деревянный брусок. Коэффициент трения между поверхностью стола и бруском $\mu = 0{,}2$. Если приложить к бруску силу, направленную вверх под углом $\alpha = 60°$ к горизонту, то брусок будет двигаться по столу равномерно прямолинейно. С каким ускорением будет двигаться этот брусок по столу, если приложить к нему такую же по модулю силу, направленную вверх под углом $\beta = 45°$ к горизонту? Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на брусок.

17. На горизонтальном столе лежит деревянный брусок. Коэффициент трения между поверхностью стола и бруском $\mu = 0,3$. Если приложить к бруску силу, направленную вверх под углом $\alpha = 60°$ к горизонту, то брусок будет двигаться по столу равномерно прямолинейно. С каким ускорением будет двигаться этот брусок по столу, если приложить к нему такую же по модулю силу, направленную вверх под углом $\beta = 30°$ к горизонту? Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на брусок.

18. На шероховатой наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha = 30°$, лежит брусок массой $m = 300$ г. Коэффициент трения бруска о плоскость $\mu = 0,6$. Какую минимальную силу $F_{\min}$ в горизонтальном направлении вдоль плоскости надо приложить к бруску, чтобы он сдвинулся с места?

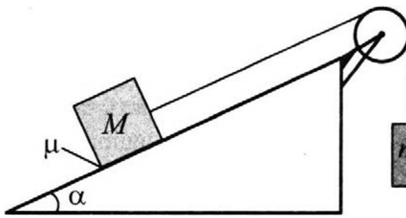


19. На шероховатой наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha = 30°$, лежит брусок массой $m = 500$ г. К нему прикладывают силу $\vec{F}$ в горизонтальном направлении вдоль плоскости (см. рис.). Если F превосходит $F_{\min} = 1,7$ Н, то брусок сдвигается с места. Определите коэффициент трения между бруском и плоскостью.

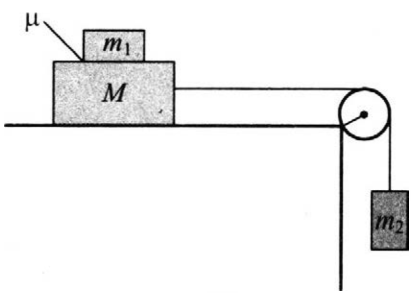


20. Грузы массами $M = 1$ кг и m связаны лёгкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок, по которому нить может скользить без трения (см. рис.). Груз массой M находится на шероховатой наклонной плоскости (угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30°$, коэффициент трения $\mu = 0,3$). Чему равно максимальное значение массы m, при котором система грузов ещё не выходит из первоначального состояния покоя?

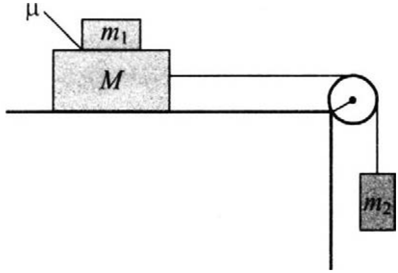
21. Грузы массами M и $m = 1$ кг связаны лёгкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок, по которому нить может скользить без трения (см. рис.). Груз массой M находится на шероховатой наклонной плоскости (угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30°$, коэффициент трения $\mu = 0{,}2$). Чему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



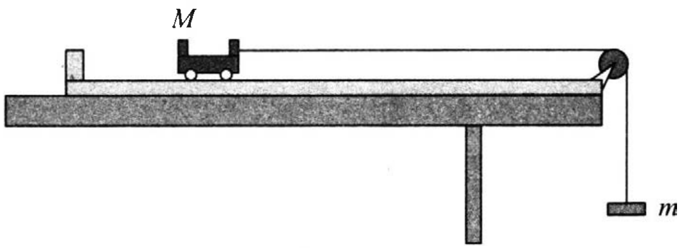
22. Система грузов M, m_1 и m_2, показанная на рисунке, движется из состояния покоя. Поверхность стола — горизонтальная гладкая. Коэффициент трения между грузами M и m_1 равен $\mu = 0{,}2$. Грузы M и m_2 связаны легкой нерастяжимой нитью, которая скользит по блоку без трения. Пусть $M = 1{,}2$ кг, $m_1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



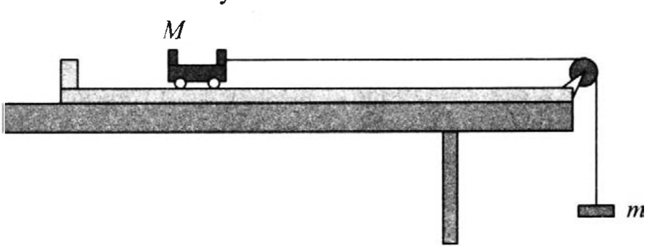
23. Система грузов M, m_1 и m_2, показанная на рисунке, движется из состояния покоя. Поверхность стола — горизонтальная гладкая. Коэффициент трения между грузами M и m_1 равен $\mu = 0{,}2$. Грузы M и m_2 связаны лёгкой нерастяжимой нитью, которая скользит по блоку без трения. Пусть $m_1 = m_2 = m =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



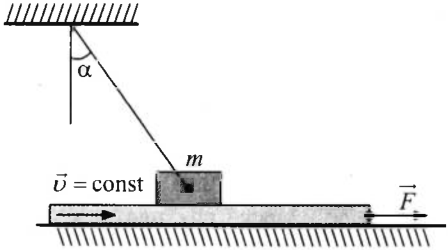
24. В установке, изображённой на рисунке, масса грузика m подобрана так, что первоначально покоящаяся тележка после толчка вправо движется равномерно по поверхности трибометра. С каким ускорением будет двигаться тележка, если её толкнуть влево? Масса грузика m в 4 раза меньше массы тележки M. Блок идеален. Нить невесома и нерастяжима. Силу сопротивления движению тележки считать постоянной и одинаковой в обоих случаях.



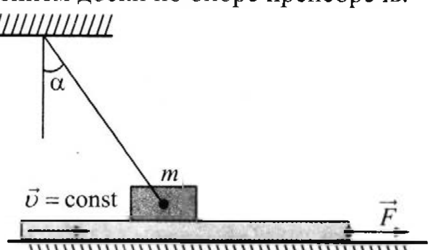
25. В установке, изображённой на рисунке, масса грузика m подобрана так, что первоначально покоящаяся тележка после толчка вправо движется равномерно по поверхности трибометра. Во сколько раз масса тележки M больше массы грузика m, если после толчка влево тележка будет двигаться с ускорением 5 м/с^2? Блок идеален. Нить невесома и нерастяжима. Силу сопротивления движению тележки считать постоянной и одинаковой в обоих случаях.



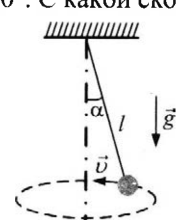
26. Брусок массой $m = 1$ кг, привязанный к потолку лёгкой нитью, опирается на массивную горизонтальную доску. Под действием горизонтальной силы $\vec{F}$ доска движется поступательно вправо с постоянной скоростью (см. рис.). Брусок при этом неподвижен, а нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30°$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



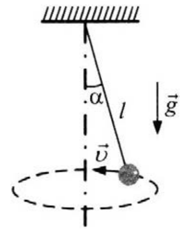
27. Брусок массой m, привязанный к потолку лёгкой нитью, опирается на массивную горизонтальную доску. Под действием горизонтальной силы $\vec{F}$ доска движется поступательно вправо с постоянной скоростью (см. рис.). Брусок при этом неподвижен, а нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30°$ (см. рис.).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



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



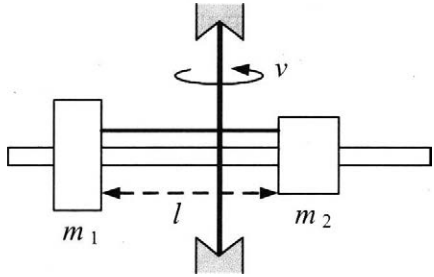
29. Небольшой груз, прикреплённый к нити длиной l, вращается с угловой скоростью $\omega = 5$ рад/с вокруг вертикальной оси так, что нить отклоняется от вертикали на угол $\alpha = 60°$. Чему равна длина нити l?



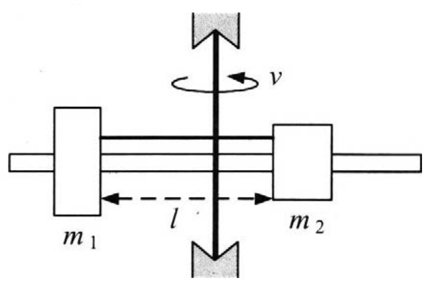
30. Полый конус с углом при вершине 2α вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, совпадающей с его осью симметрии. Вершина конуса обращена вверх. На внешней поверхности конуса находится небольшая шайба, коэффициент трения которой о поверхность конуса равен μ. При каком максимальном расстоянии L от вершины шайба будет неподвижна относительно конуса? Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шайбу.

31. Полый конус с углом при вершине 2α 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 μ. При какой максимальной угловой скорости ω шайба будет неподвижна относительно конуса? Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шайбу.

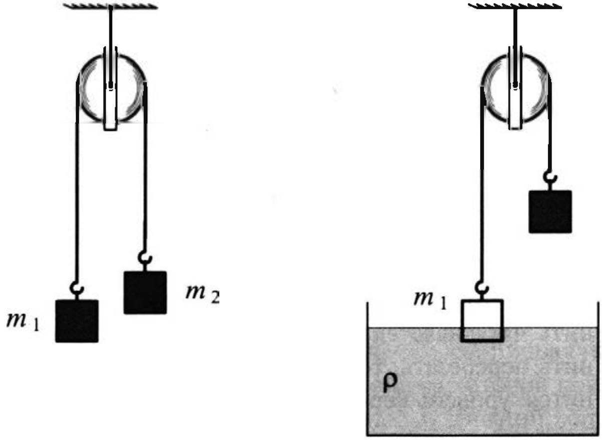
32. На вертикальной оси укреплена гладкая горизонтальная штанга, по которой могут перемещаться два груза массами $m_1 = 100$ г и $m_2 = 300$ г, связанные нерастяжимой невесомой нитью длиной $l = 40$ см. Нить закрепили на оси так, что грузы располагаются по разные стороны от оси и натяжение нити с обеих сторон от оси при вращении штанги одинаково (см. рис.). Определите модуль силы натяжения T нити, соединяющей грузы, при вращении штанги с частотой 600 об/мин.



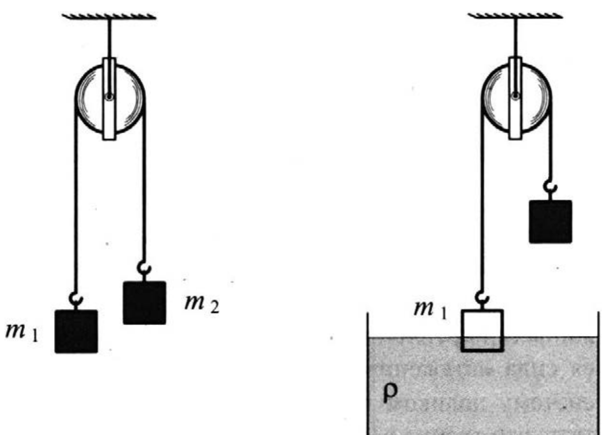
33. На вертикальной оси укреплена гладкая горизонтальная штанга, по которой могут перемещаться два груза массами $m_1 = 100$ г и $m_2 = 400$ г, связанные нерастяжимой невесомой нитью длиной $l = 50$ см. Нить закрепили на оси так, что грузы располагаются по разные стороны от оси и натяжение нити с обеих сторон от оси при вращении штанги одинаково (см. рис.). При какой частоте вращения штанги модуль силы натяжения T нити, соединяющей грузы, составит 100 Н?



34. Два тела подвешены за нерастяжимую и невесомую нить к идеальному блоку, как показано на рисунке. При этом первое тело массой $m_1 = 300$ г движется из состояния покоя вниз с ускорением a. Если первое тело опустить в керосин, находящийся в большом объёме, система будет находиться в равновесии. При этом объём погружённой в воду части тела равен $V = 1{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^3. Сделайте рисунки с указанием сил, действующих на тела в обоих случаях. Определите ускорение a первого тела.



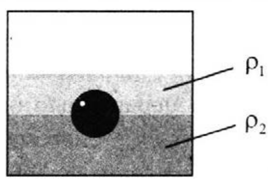
35. Два тела подвешены за нерастяжимую и невесомую нить к идеальному блоку, как показано на рисунке. При этом второе тело массой $m_2 = 400$ г движется из состояния покоя вверх с ускорением a. Если первое тело опустить в керосин, находящийся в большом объёме, система будет находиться в равновесии. При этом объём погружённой в воду части тела равен $V = 2{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^3. Сделайте рисунки с указанием сил, действующих на тела в обоих случаях. Определите ускорение a второго тела.



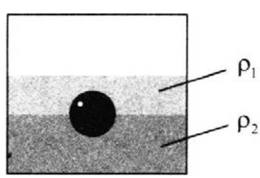
36. Деревянный шар привязан нитью ко дну цилиндрического сосуда с площадью дна $S = 150$ см^2. В сосуд наливают воду так, что шар полностью погружается в жидкость, при этом нить натягивается и действует на шар с силой T. Если нить перерезать, то шар всплывёт, а уровень воды изменится на $h = 6$ см. Найдите силу натяжения нити T.

37. Деревянный шар привязан нитью ко дну цилиндрического сосуда с площадью дна $S = 150$ см^2. В сосуд наливают керосин так, что шар полностью погружается в жидкость, при этом нить натягивается и действует на шар с силой $T = 9$ Н. Если нить перерезать, то шар всплывёт. На сколько при этом изменится уровень керосина в сосуде?

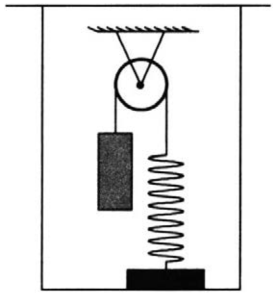
38. На границе раздела двух несмешивающихся жидкостей, имеющих плотности $\rho_1 = 400$ кг/м^3 и $\rho_2 = 2\rho_1$, плавает шарик (см. рис.). Какой должна быть плотность шарика ρ, чтобы выше границы раздела жидкостей была одна четверть его объёма?



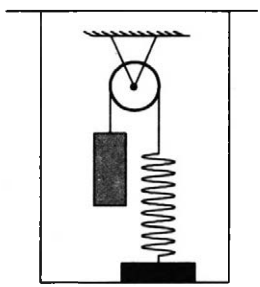
39. На границе раздела двух несмешивающихся жидкостей, имеющих плотности $\rho_1 = 900$ кг/м^3 и $\rho_2 = 3\rho_1$, плавает шарик (см. рис.). Какой должна быть плотность шарика ρ, чтобы выше границы раздела жидкостей была одна треть его объёма?



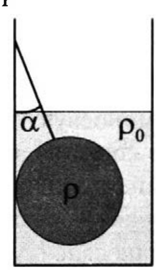
40. В сосуде (см. рис.) находится система тел, состоящая из блока с перекинутой через него нитью, к концам которой привязаны тело объёмом V и пружина жёсткостью k. Нижний конец пружины прикреплён ко дну сосуда. На какую величину изменится сила натяжения нити, действующая на пружину, если эту систему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



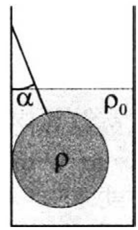
41. В сосуде (см. рис.) находится система тел, состоящая из блока с перекинутой через него нитью, к концам которой привязаны тело объёмом V и пружина жёсткостью k. Нижний конец пружины прикреплён ко дну сосуда. Если эту систему целиком погрузить в жидкость, то сила натяжения нити, действующая на пружину, уменьшится на ΔT. Определите плотность жидкости ρ. Считать, что трение в оси блока отсутствует.



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

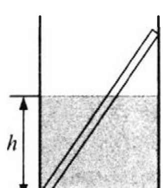


43. Свинцовый шар подвешен на нити и полностью погружён в воду (см. рис.). Нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30°$. Нить действует на шар с силой 42 Н. Плотность свинца $\rho = 11\,300$ кг/м^3. Определите массу шара. Трением шара о стенку пренебречь. Сделайте схематический рисунок с указанием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

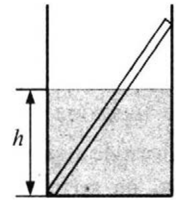


44. Железный шар массой 5 кг подвешен на нити и полностью погружён в керосин (см. рисунок). Нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30°$. Определите силу, с которой шар действует на нить. Трением шара о стенку пренебречь. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шар.

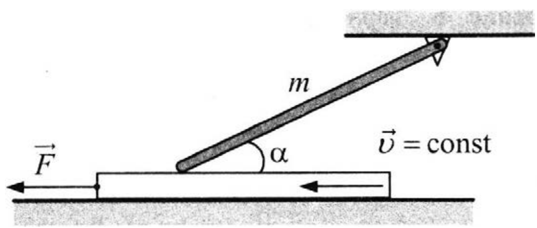
45. В гладкий высокий сосуд радиусом 8 см поставили однородную тонкую палочку длиной 20 см и массой 2,7 г, после чего в сосуд налили до высоты $h = 8$ см жидкость, плотность которой составляет 0,75 плотности материала палочки. Найдите силу F, с которой верхний конец палочки давит на стенку сосуда. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на палочку.



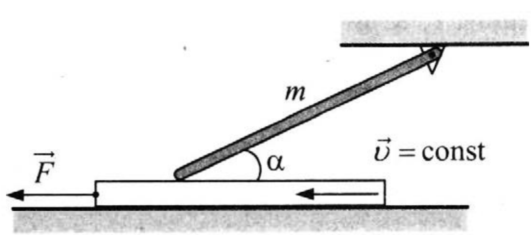
46. В гладкий высокий сосуд радиусом 6 см поставили однородную тонкую алюминиевую палочку длиной 20 см и массой 6,4 г, после чего в сосуд налили до высоты $h = 12$ см подсолнечного масла. Найдите силу F, с которой верхний конец палочки давит на стенку сосуда. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на палочку.



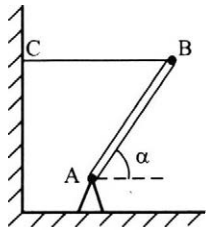
47. Однородный тонкий стержень массой $m = 1$ кг одним концом шарнирно прикреплён к потолку, а другим концом опирается на массивную горизонтальную доску, образуя с ней угол $\alpha = 30°$. Под действием горизонтальной силы $\vec{F}$ доска движется поступательно влево с постоянной скоростью (см. рис.).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



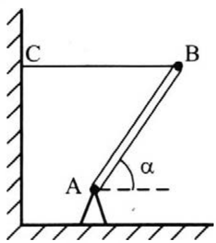
48. Однородный тонкий стержень массой m одним концом шарнирно прикреплён к потолку, а другим концом опирается на массивную горизонтальную доску, образуя с ней угол $\alpha = 30°$. Под действием горизонтальной силы $\vec{F}$ доска движется поступательно влево с постоянной скоростью (см. рис.). Стержень 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 пренебречь.



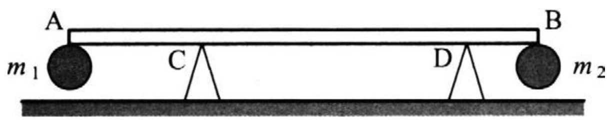
49. Тонкий однородный стержень AB шарнирно закреплён в точке A и удерживается горизонтальной нитью BC (см. рис.). Трение в шарнире пренебрежимо мало. Масса стержня $m = 5$ кг, угол его наклона к горизонту $\alpha = 30°$. Найдите модуль силы $\vec{F}$, действующей на стержень со стороны шарнира. Сделайте рисунок, на котором укажите все силы, действующие на стержень.



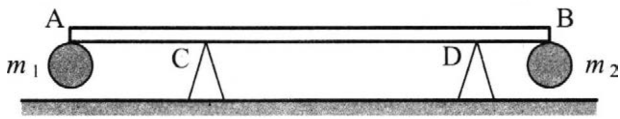
50. Тонкий однородный стержень AB шарнирно закреплён в точке A и удерживается горизонтальной нитью BC (см. рис.). Трение в шарнире пренебрежимо мало. Масса стержня $m = 2{,}5$ кг, угол его наклона к горизонту $\alpha = 60°$. Найдите модуль силы $\vec{F}$, действующей на стержень со стороны шарнира. Сделайте рисунок, на котором укажите все силы, действующие на стержень.



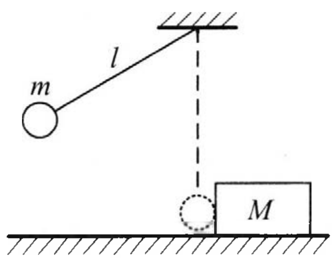
51. Два небольших шара массами $m_1 = 0{,}4$ кг и $m_2 = 0{,}6$ кг закреплены на концах невесомого стержня AB, расположенного горизонтально на опорах C и D (см. рис.). Расстояние между опорами $l = 0{,}9$ м, а расстояние AC равно 0,3 м. Чему равна длина стержня L, если сила давления стержня на опору D в 2 раза больше, чем на опору C? Сделайте рисунок с указанием внешних сил, действующих на систему тел «стержень и шары».



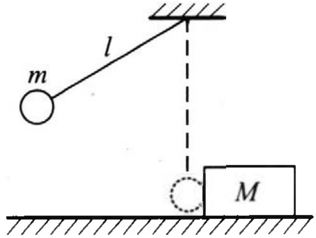
52. Два небольших шара массами $m_1 = 0{,}2$ кг и $m_2 = 0{,}6$ кг закреплены на концах невесомого стержня AB, расположенного горизонтально на опорах C и D (см. рис.). Длина стержня $L = 1{,}5$ м, а расстояние AC равно 0,3 м. Чему равно расстояние между опорами l, если сила давления стержня на опору D в 3 раза больше, чем на опору C? Сделайте рисунок с указанием внешних сил, действующих на систему тел «стержень и шары».



53. Маленький шарик массой $m = 0{,}1$ кг подвешен на лёгкой нерастяжимой нити длиной $l = 0{,}9$ м, которая разрывается при силе натяжения $T_0 = 5$ Н. Шарик отведён от положения равновесия (оно показано на рисунке пунктиром) и отпущен. Когда шарик проходит положение равновесия, нить обрывается, и шарик тут же абсолютно неупруго сталкивается с бруском массой $M = 1{,}9$ кг, лежащим неподвижно на гладкой горизонтальной поверхности стола. Какова скорость u бруска после удара? Считать, что брусок после удара движется поступательно.



54. Маленький шарик массой $m = 0{,}3$ кг подвешен на лёгкой нерастяжимой нити длиной $l = 1{,}2$ м, которая разрывается при силе натяжения $T_0 = 7$ Н. Шарик отведён от положения равновесия (оно показано на рисунке пунктиром) и отпущен. Когда шарик проходит положение равновесия, нить обрывается, и шарик тут же абсолютно неупруго сталкивается с бруском, лежащим неподвижно на гладкой горизонтальной поверхности стола. Скорость бруска после удара $u = 0{,}5$ м/с. Какова масса M бруска? Считать, что брусок после удара движется поступательно.



55. Брусок массой m скользит по горизонтальной поверхности стола и нагоняет брусок массой $5m$, скользящий по столу в том же направлении. В результате неупругого соударения бруски слипаются. Их скорости перед ударом: $\upsilon_0 = 6$ м/с и $\frac{\upsilon_0}{2}$. Коэффициент трения скольжения между брусками и столом $\mu = 0{,}3$. На какое расстояние от места соударения переместятся слипшиеся бруски к моменту, когда их скорость станет равна $\frac{\upsilon_0}{12}$? Влиянием силы трения со стороны стола на столкновение брусков пренебречь.

56. Брусок массой m скользит по горизонтальной поверхности стола навстречу бруску массой $5m$, скользящему по столу в противоположном направлении. В результате неупругого соударения бруски слипаются. Их скорости перед ударом: $\upsilon_0 = 8$ м/с и $\frac{\upsilon_0}{2}$. Слипшиеся бруски к моменту, когда их скорость стала равна $\frac{\upsilon_0}{8}$, переместились на расстояние $s = 0{,}5$ м от места соударения. Определите коэффициент трения скольжения между брусками и столом. Влиянием силы трения со стороны стола на столкновение брусков пренебречь.

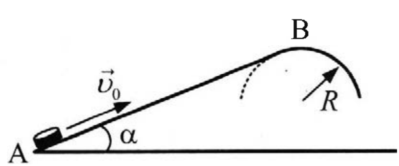
57. По гладкой наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом, скользит из состояния покоя брусок массой $M = 500$ г. В тот момент, когда брусок прошёл по наклонной плоскости расстояние $x = 1{,}6$ м, в него попала и застряла в нём летящая навстречу ему вдоль наклонной плоскости пуля массой $m = 10$ г. После попадания пули брусок поднялся вверх вдоль наклонной плоскости на расстояние s = 0,9 м от места удара. Найдите скорость пули перед попаданием в брусок. Трение бруска о плоскость не учитывать.

58. По гладкой наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом, скользит из состояния покоя брусок массой $M = 400$ г. В тот момент, когда брусок прошёл по наклонной плоскости расстояние x = 0,9 м, в него попала и застряла в нём летящая со скоростью $\upsilon = 354$ м/с навстречу ему вдоль наклонной плоскости пуля массой m = 8 г. На какое расстояние от места удара поднялся вверх вдоль наклонной плоскости брусок после попадания пули? Трение бруска о плоскость не учитывать.

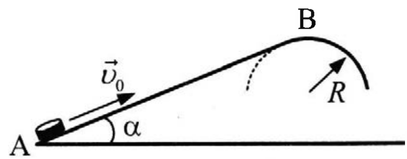
59. Из пружинного пистолета выстрелили вертикально вниз в мишень, находящуюся на расстоянии 2 м от него. Совершив работу 0,12 Дж, пуля застряла в мишени. Какова масса пули, если пружина была сжата перед выстрелом на 2 см, а её жёсткость 100 Н/м?

60. 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 жёсткость пружины, если пружина была сжата перед выстрелом на 2 см, а масса пули равна 5 г?

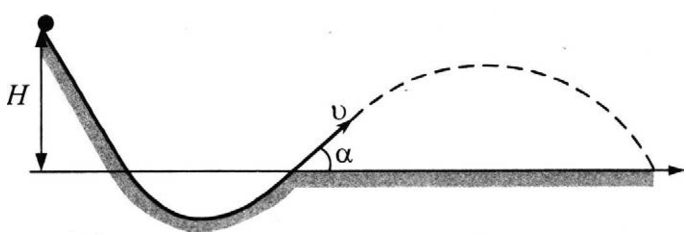
61. Небольшая шайба после удара скользит вверх по наклонной плоскости из точки A (см. рис.). В точке B наклонная плоскость без излома переходит в наружную поверхность горизонтальной трубы радиусом R. Если в точке A скорость шайбы превосходит υ_0 = 4 м/с, то в точке B шайба отрывается от опоры. Длина наклонной плоскости AB = L = 1 м, угол $\alpha = 30°$. Коэффициент трения между наклонной плоскостью и шайбой $\mu = 0{,}2$. Найдите внешний радиус трубы R.



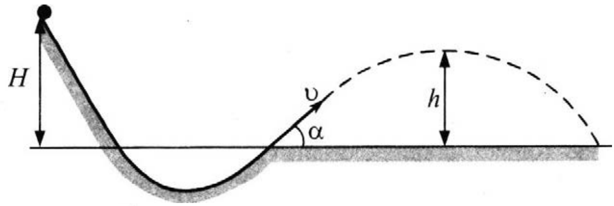
62. Небольшая шайба после удара скользит вверх по наклонной плоскости из точки А (см. рис.). В точке В наклонная плоскость без излома переходит в наружную поверхность горизонтальной трубы радиусом $R = 0{,}3$ м. Если в точке А скорость шайбы превосходит $\upsilon_0 = 4$ м/с, то в точке В шайба отрывается от опоры. Длина наклонной плоскости АВ = L, угол $\alpha = 30°$. Коэффициент трения между наклонной плоскостью и шайбой $\mu = 0{,}2$. Найдите длину наклонной плоскости L.



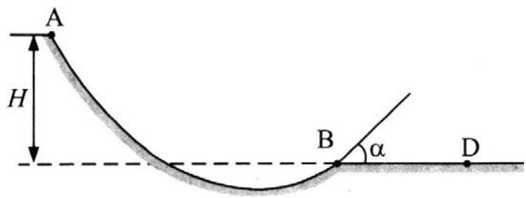
63. При выполнении трюка «Летающий велосипедист» гонщик движется по гладкому трамплину под действием силы тяжести, начиная движение из состояния покоя с высоты H (см. рис.). На краю трамплина скорость гонщика направлена под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. Пролетев по воздуху, он приземляется на горизонтальный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



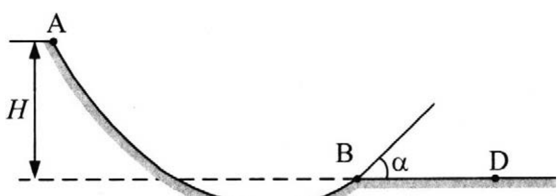
64. При выполнении трюка «Летающий велосипедист» гонщик движется по гладкому трамплину под действием силы тяжести, начиная движение из состояния покоя с высоты H (см. рис.). На краю трамплина скорость гонщика направлена под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. Пролетев по воздуху, он приземляется на горизонтальный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



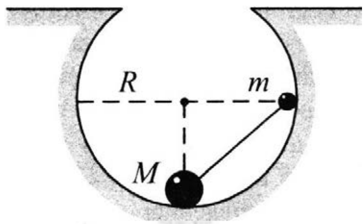
65. Шайба массой $m = 100$ г начинает движение по жёлобу AB из точки A из состояния покоя. Точка A расположена выше точки B на высоте $H = 6$ м. В процессе движения по жёлобу механическая энергия шайбы из-за трения уменьшается на величину ΔE. В точке B шайба вылетает из жёлоба под углом $\alpha = 15°$ к горизонту и падает на землю в точке D, находящейся на одной горизонтали с точкой B (см. рис.). BD = 4 м. Найдите величину ΔE. Сопротивлением воздуха пренебречь.



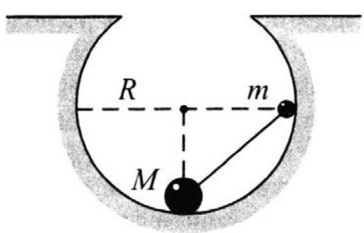
66. Массивная шайба начинает движение по жёлобу AB из точки A из состояния покоя. Точка A расположена выше точки B на высоте $H = 6$ м. В процессе движения по жёлобу механическая энергия шайбы из-за трения уменьшается на $\Delta E = 2$ Дж. В точке B шайба вылетает из жёлоба под углом $\alpha = 15°$ к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



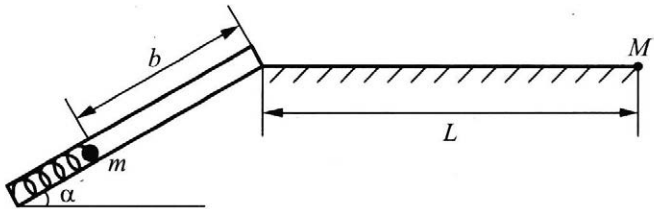
67. Небольшие шарики, массы которых m = 30 г и M = 60 г, соединены лёгким стержнем и помещены в гладкую сферическую выемку. В начальный момент шарики удерживаются в положении, изображённом на рисунке. Когда их отпустили без толчка, шарики стали скользить по поверхности выемки. Максимальная высота подъёма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



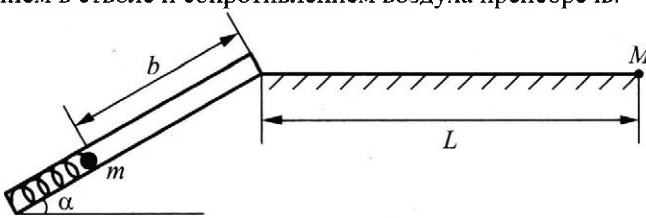
68. Небольшие шарики, массы которых m и M, соединены лёгким стержнем и помещены в гладкую сферическую выемку радиусом R = 20 см. В начальный момент шарики удерживаются в положении, изображённом на рисунке. Когда их отпустили без толчка, шарики стали скользить по поверхности выемки. Минимальная высота,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



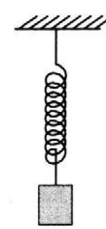
69. Пружинное ружьё наклонено под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Энергия сжатой пружины равна 0,41 Дж. При выстреле шарик массой m = 50 г проходит по стволу ружья расстояние b, вылетает и падает на расстоянии L = 1 м от дула ружья в точку М, находящуюся с ним на одной высоте (см. рис.). Найдите расстояние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



70. Пружинное ружьё наклонено под углом $\alpha = 45°$ 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 М, находящуюся с ним на одной высоте (см. рис.). Определите начальную энергию сжатой пружины. Трением в стволе и сопротивлением воздуха пренебречь.

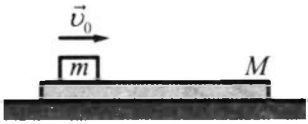


71. От груза, неподвижно висящего на невесомой пружине жёсткостью $k = 200$ Н/м, отделился с начальной скоростью, равной нулю, его фрагмент, после чего оставшаяся часть груза поднялась на максимальную высоту $h = 5$ см относительно первоначального положения. Какова масса m отделившегося от груза фрагмента?



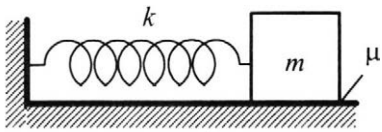
72. От груза, неподвижно висящего на невесомой пружине жёсткостью $k = 150$ Н/м, отделился с начальной скоростью, равной нулю, его фрагмент массой $m = 450$ г, после чего оставшаяся часть груза начала двигаться вверх. На какую максимальную высоту h относительно первоначального положения поднялась оставшаяся часть груза?

73. 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 $\upsilon_0 = 2$ м/с, а доска покоится. В момент $\tau = 0{,}8$ с шайба перестаёт скользить по доске. Чему равна масса шайбы m?

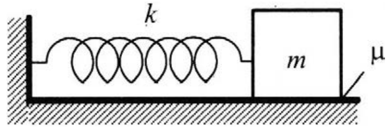


74. На гладкой горизонтальной плоскости находится длинная доска массой M. По доске скользит шайба массой $m = 0{,}5$ кг. Коэффициент трения между шайбой и доской $\mu = 0{,}3$. В начальный момент времени скорость шайбы $\upsilon = 1{,}8$ м/с, а доска покоится. В момент $\tau = 0{,}5$ с шайба перестаёт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

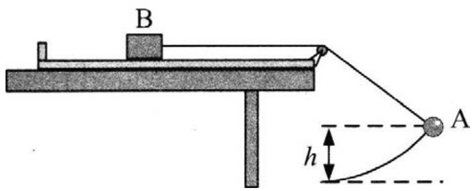
75. К одному концу лёгкой пружины жёсткостью $k = 100$ Н/м прикреплён массивный груз, лежащий на горизонтальной плоскости, другой конец пружины закреплён неподвижно (см. рис.). Коэффициент трения груза по плоскости $\mu = 0{,}2$. Груз смещают по горизонтали, растягивая пружину, затем отпускают с начальной 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.



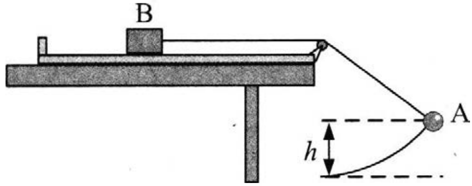
76. К одному концу лёгкой пружины жёсткостью k прикреплён массивный груз массой $m = 2$ кг, лежащий на горизонтальной плоскости, другой конец пружины закреплён неподвижно (см. рис.). Коэффициент трения груза по плоскости $\mu = 0{,}3$. Груз смещают по горизонтали, растягивая пружину, затем отпускают 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 жёсткости пружины k.



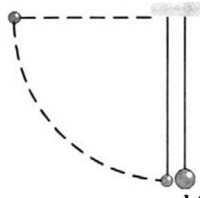
77. В установке, изображённой на рисунке, грузик А соединён перекинутой через блок нитью с бруском В, лежащим на горизонтальной поверхности трибометра, закреплённого на столе. Грузик отводят в сторону, приподнимая его на высоту h, и отпускают. Длина свисающей части нити равна L. Какую величину должна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



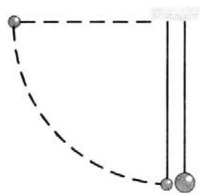
78. В установке, изображённой на рисунке, грузик А массой m соединён перекинутой через блок нитью с бруском В массой M, лежащим на горизонтальной поверхности трибометра, закреплённого на столе. Грузик отводят в сторону, приподнимая его на высоту h, и отпускают. Длина свисающей части нити равна L. На 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 μ. Трением в блоке, а также размерами блока пренебречь.



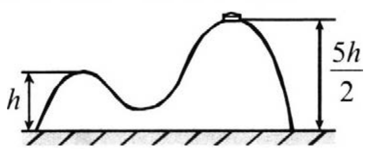
79. Два шарика, массы которых отличаются в 3 раза, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях (см. рис.). Лёгкий шарик отклоняют на угол 90° и отпускают из состояния покоя. Каким будет отношение кинетических энергий тяжёлого и лёгкого шариков тотчас после их абсолютно упругого центрального удара?



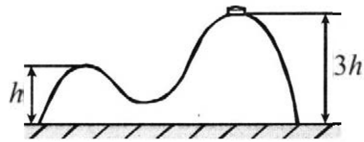
80. Два шарика, массы которых $m = 0{,}1$ кг и $M = 0{,}2$ кг, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях длиной $l = 1{,}5$ м (см. рис.). Левый шарик отклоняют на угол 90° и отпускают из состояния покоя. Какое количество теплоты выделится в результате абсолютно неупругого удара шариков?



81. 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, причём 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 υ. Найдите отношение масс шайбы и горки.



82. 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, причём 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.



83. Снаряд, движущийся со скоростью υ_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 счёт энергии взрыва на величину ΔE. Скорость осколка, движущегося вперёд по направлению движения снаряда, равна υ_1. Найдите массу m осколка.

84. Снаряд массой $2m$ разрывается в полёте 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 счёт энергии взрыва на величину ΔE. Модуль скорости осколка, движущегося по направлению движения снаряда, равен υ_1, а модуль скорости второго осколка равен υ_2. Найдите ΔE.

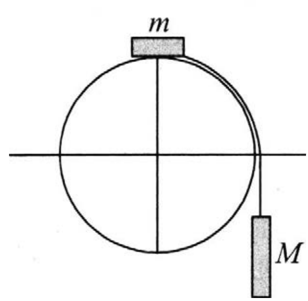
85. Снаряд массой 5 кг, летящий со скоростью 300 м/с, разрывается на две равные части, одна из которых летит в направлении движения снаряда, а другая — в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличилась на ΔE = 0,4 МДж. Найдите скорость осколка, летящего по направлению движения снаряда.

86. Начальная скорость снаряда, выпущенного из пушки вертикально вверх, равна 500 м/с. В точке максимального подъёма 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.

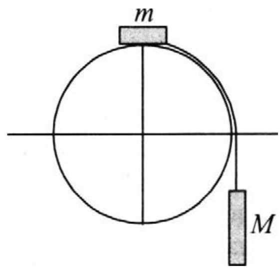
87. С какой начальной скоростью надо бросить вниз с высоты 3,55 м мяч, чтобы он после удара о землю подпрыгнул на высоту 2,7 м, если известно, что при ударе модуль импульса мяча уменьшается на 25%? Сопротивлением воздуха пренебречь.

88. 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.

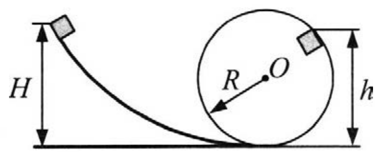
89. Система из грузов m и M и связывающей их лёгкой нерастяжимой нити в начальный момент покоится в вертикальной плоскости, проходящей через центр закреплённой сферы. Груз m находится в точке A на вершине сферы (см. рис.). В ходе возникшего движения груз m отрывается от поверхности сферы, пройдя по ней дугу 30°. 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.



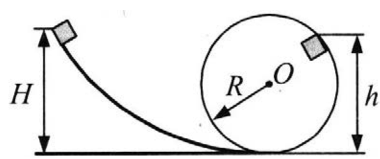
90. Система из грузов m и M и связывающей их лёгкой нерастяжимой нити в начальный момент покоится в вертикальной плоскости, проходящей через центр закреплённой сферы. Груз m находится в точке A на вершине сферы (см. рис.). В ходе возникшего движения груз m отрывается от поверхности сферы, пройдя по ней дугу 30°. 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.



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



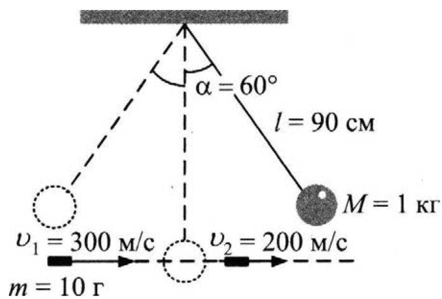
92. Небольшой кубик массой $m = 1$ кг начинает соскальзывать с высоты H по гладкой горке, переходящей в мёртвую петлю радиусом $R = 2{,}5$ м (см. рис.). Определите высоту H, если на высоте $h = 2{,}5$ м от нижней точки петли кубик давит на её стенку с силой $F = 4$ Н. Сделайте рисунок с указанием сил,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



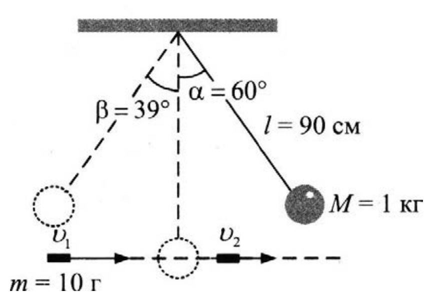
93. Каково среднее давление пороховых газов в стволе орудия, если скорость вылетевшего из него снаряда 1,5 км/с? Длина ствола 3 м, его диаметр 45 мм, масса снаряда 2 кг. (Трение пренебрежимо мало.)

94. 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.)

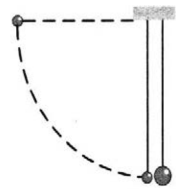
95. Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол 60° и отпускают. В момент прохождения шаром положения равновесия в него попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу шару со скоростью 300 м/с. Она пробивает его и вылетает горизонтально со скоростью 200 м/с, 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.)



96. Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол 60° и отпускают. В момент прохождения шаром положения равновесия в него попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу шару. 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°. (Массу шара считать неизменной, диаметр шара — пренебрежимо малым по сравнению с длиной нити, $\cos 39° = \frac{7}{9}$.)

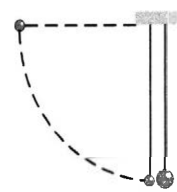


97. Два шарика, массы которых m = 0,1 кг и M = 0,2 кг, висят, соприкасаясь, на нитях. Левый шарик отклоняют на угол 90° и отпускают с начальной скоростью, равной нулю. Каково отношение количества теплоты, выделившегося в результате абсолютно неупругого удара шариков, к кинетической энергии шариков после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



$m\ M$

98. Два шарика висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях (см. рис.). Левый шарик отклоняют на угол 90° 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?



$m\ M$

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

100. С высоты H = 3 м над Землёй начинает свободно падать стальной шарик, который через время t = 0,6 с сталкивается с плитой, наклонённой под углом 30° к горизонту. На какую высоту над Землёй поднимется шарик после абсолютно упругого удара с плитой? Сделайте схематический рисунок, поясняющий решение.

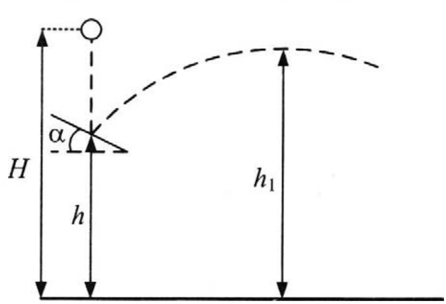
101. На краю стола высотой h = 1,25 м лежит пластилиновый шарик массой m = 100 г. На него со стороны стола налетает по горизонтали другой пластилиновый шарик, имеющий скорость υ = 0,9 м/с. Какой должна быть масса второго шарика, чтобы точка приземления шариков на пол была дальше от стола, чем заданное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

102. 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 υ = 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.)

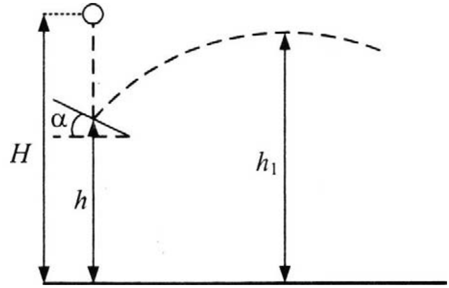
103. Пластилиновый шарик в момент t = 0 бросают с горизонтальной поверхности Земли с начальной скоростью $\upsilon_0 = 16$ м/с, под углом α = 30° к горизонту. Одновременно с некоторой высоты над поверхностью Земли начинает падать из состояния покоя другой такой же шарик. Шарики абсолютно неупруго сталкиваются в воздухе. Сразу после столкновения скорость шариков направлена горизонтально. Определите дальность полёта шариков после их соударения. Сопротивлением воздуха пренебречь.

104. Пластилиновый шарик в момент t = 0 бросают с горизонтальной поверхности Земли с начальной скоростью $\upsilon_0 = 20$ м/с, под углом α = 30° к горизонту. Одновременно с некоторой высоты над поверхностью Земли начинает падать из состояния покоя другой такой же шарик. Шарики абсолютно неупруго сталкиваются в воздухе. Сразу после столкновения скорость шариков направлена горизонтально. В какой момент времени τ шарики упадут на Землю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

105. Шарик падает с высоты H = 3 м над поверхностью Земли из состояния покоя. На высоте h = 1 м он абсолютно упруго ударяется о доску, расположенную под углом к горизонту (см. рис.). После этого удара шарик поднялся на максимальную высоту h_1 = 1,5 м от поверхности Земли. Какой угол α составляет доска с горизонтом? Сопротивлением воздуха пренебречь.



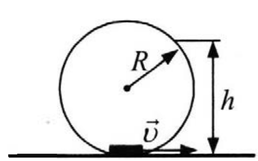
106. Шарик падает с высоты $H = 4$ м над поверхностью Земли из состояния покоя. На высоте $h = 2$ м он абсолютно упруго ударяется о доску, расположенную под углом к горизонту (см. рис.). После этого удара шарик поднялся на максимальную высоту $h_1 = 2{,}5$ м от поверхности Земли. Под каким углом к горизонту будет направлена скорость шарика сразу после его отрыва от доски? Сопротивлением воздуха пренебречь.



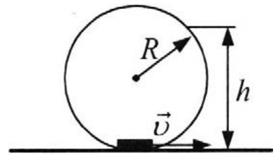
107. Небольшое тело массой $M = 0{,}79$ кг лежит на вершине гладкой полусферы. В тело попадает пуля массой $m = 0{,}01$ кг, летящая горизонтально со скоростью $\upsilon_0 = 160$ м/с, и застревает в нём. Пренебрегая смещением тела за время удара, определите радиус сферы, если высота, на которой тело оторвётся от поверхности полусферы, $h = 0{,}8$ м. Высота отсчитывается от основания полусферы.

108. Небольшое тело массой $M = 890$ г лежит на вершине гладкой полусферы радиуса $R = 70$ см. В тело попадает пуля массой $m = 10$ г, летящая горизонтально со скоростью $\upsilon_0 = 90$ м/с, и застревает в нём. Пренебрегая смещением тела за время удара, определите высоту, на которой тело оторвётся от поверхности полусферы. Высота отсчитывается от основания полусферы.

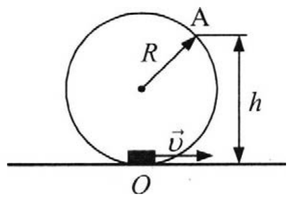
109. Небольшая шайба после толчка приобретает скорость $\upsilon = 2$ м/с и скользит по внутренней поверхности гладкого закреплённого кольца радиусом $R = 0{,}14$ м. На какой высоте h шайба отрывается от кольца и начинает свободно падать?



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



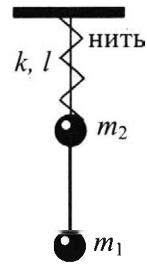
111. Небольшая шайба массой m = 40 г, начав движение из нижней точки закреплённого вертикального гладкого кольца радиусом R = 0,3 м, скользит по его внутренней поверхности. На высоте h = 0,4 м она отрывается от кольца и свободно падает. Какую кинетическую энергию имела шайба в начале движения? Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шайбу в точке А.



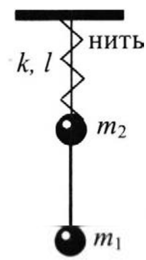
112. На космическом аппарате, находящемся вдали от Земли, начал работать реактивный двигатель. Из сопла двигателя ежесекундно выбрасывается 2 кг газа ($\frac{\Delta m}{\Delta t}$ = 2 кг/с) со скоростью υ = 500 м/с. Исходная масса аппарата M = 500 кг. Какой будет скорость υ_1 аппарата через t = 6 с после старта? Начальную скорость аппарата принять равной нулю. Изменением массы аппарата за время движения пренебречь.

113. На космическом аппарате, находящемся вдали от Земли, начал работать реактивный двигатель. Из сопла двигателя ежесекундно выбрасывается 2 кг газа ($\frac{\Delta m}{\Delta t}$ = 2 кг/с) со скоростью υ = 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.

114. 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 жёсткостью $k = 30$ Н/м, верхний конец которой закреплён. 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.



115. 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 жёсткостью $k = 30$ Н/м, верхний конец которой закреплён. 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.



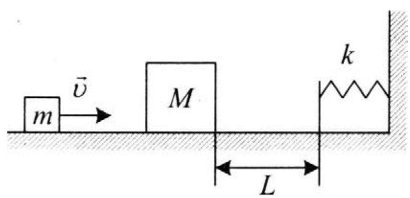
116. В маленький шар массой $M = 140$ г, висящий на нити длиной $l = 72$ см, попадает и застревает в нём горизонтально летящая пуля массой $m = 10$ г. Найдите минимальную возможную скорость пули, при которой шар после удара, двигаясь по окружности в вертикальной плоскости, достигнет верхней точки окружности. Сопротивлением воздуха пренебречь.

117. В маленький шар массой $M = 290$ г, висящий на нити, попадает и застревает в нём горизонтально летящая пуля массой $m = 10$ г. Скорость пули перед попаданием в шар $\upsilon_0 = 150$ м/с. Найдите максимальную возможную длину нити, при которой шар после этого, двигаясь по окружности в вертикальной плоскости, достигнет верхней точки окружности. Сопротивлением воздуха пренебречь.

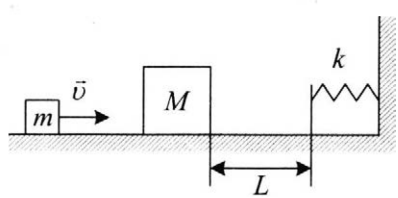
118. Пушка, закреплённая на высоте 5 м, стреляет в горизонтальном направлении снарядами массой 8 кг. Вследствие отдачи её ствол сжимает на 1 м пружину жёсткостью $8 \cdot 10^3$ Н/м, производящую перезарядку пушки. При этом на сжатие пружины идёт относительная доля $\eta = \dfrac{1}{8}$ энергии отдачи. Какова масса ствола, если дальность полёта снаряда равна 800 м? Сопротивлением воздуха при полёте снаряда пренебречь.

119. Пушка, закреплённая на высоте 5 м, стреляет в горизонтальном направлении снарядами массой 9 кг. Вследствие отдачи её ствол сжимает на 1 м пружину жёсткостью $7 \cdot 10^3$ Н/м, производящую перезарядку пушки. При этом на сжатие пружины идёт относительная доля $\eta = \frac{1}{7}$ энергии отдачи. Какова дальность полёта снаряда, если масса ствола равна 810 кг? Сопротивлением воздуха при полёте снаряда пренебречь.

120. Небольшое тело массой m = 150 г, скользящее по гладкой горизонтальной поверхности, абсолютно неупруго сталкивается с неподвижным телом массой $M = 2m$. При дальнейшем поступательном движении тела налетают на недеформированную пружину, одним концом прикреплённую к стене (см. рис.). Через какое время t после абсолютно неупругого удара тела вернутся в точку столкновения? Скорость движения тела до столкновения υ = 4 м/с, жёсткость пружины k = 45 Н/м, а расстояние от точки столкновения до пружины L = 20 см.



121. Небольшое тело массой m = 50 г, скользящее по гладкой горизонтальной поверхности, абсолютно неупруго сталкивается с неподвижным телом массой $M = 4m$. При дальнейшем поступательном движении тела налетают на недеформированную пружину, одним концом прикреплённую к стене (см. рис.). Определите скорость движения тела до столкновения, если после абсолютно неупругого удара тела вернутся в точку столкновения спустя время t = 1,16 с. Жёсткость пружины k = 100 Н/м, а расстояние от точки столкновения до пружины L = 15 см.



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. Масса газа постоянна. 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 объёма. 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 межзвёздного газа составляет около 10 К, а давление газа достигает $1{,}4 \cdot 10^{-12}$ Па. Оцените концентрацию молекул межзвёздного газа. Ответ в 10^9 м$^{-3}$ округлите до целых.

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

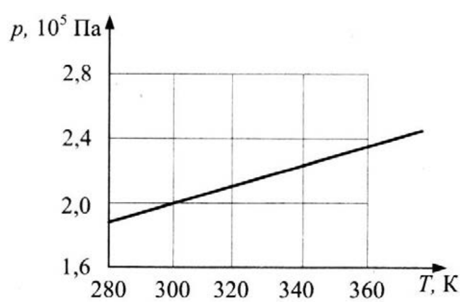
8. На высоте 200 км давление воздуха составляет примерно 10^{-9} от нормального атмосферного давления, а температура воздуха — примерно 1200 К. Оцените плотность воздуха на этой высоте. Ответ в 10^{-10} кг/м^3 округлите до десятых.

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

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

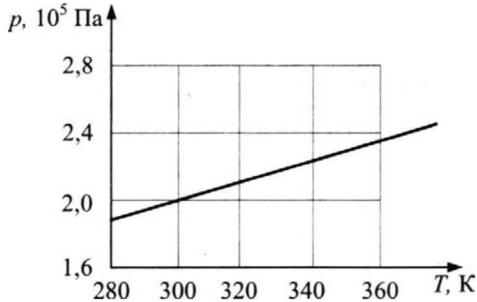
Ответ: ___________ г/моль.

10. На рисунке показан график изменения давления 24 моль разреженного газа при изохорном нагревании. Каков объём газа? Ответ в м^3 округлите до десятых.



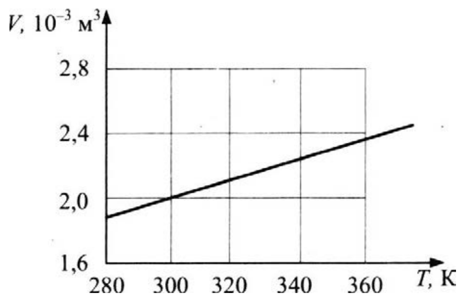
Ответ: ___________ м^3.

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



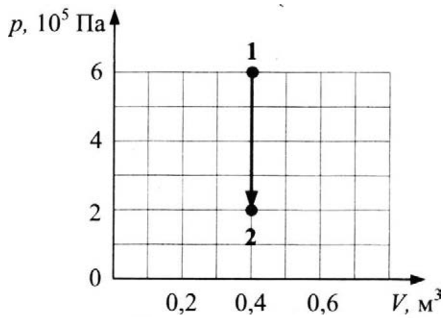
Ответ: ___________ моль.

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.



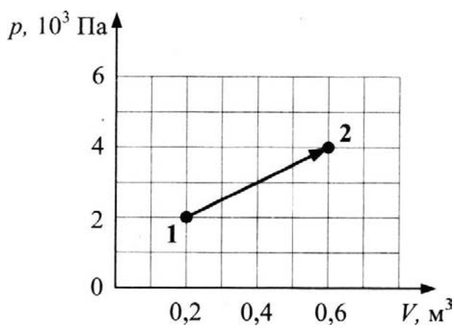
Ответ: ___________ $\cdot$ 10^5 Па.

13. Абсолютная температура воздуха в сосуде понизилась в 1,5 раза, при этом воздух перешёл 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.



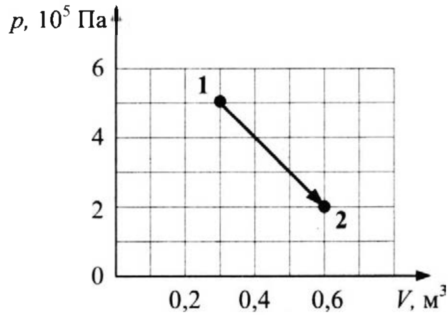
Ответ: ___________ .

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.



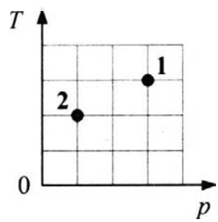
Ответ: ___________ .

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.



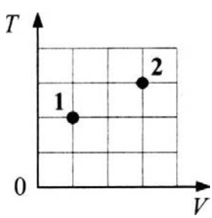
Ответ: ___________ .

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.



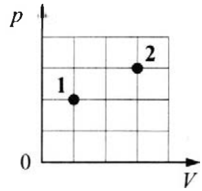
Ответ: ___________ .

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.



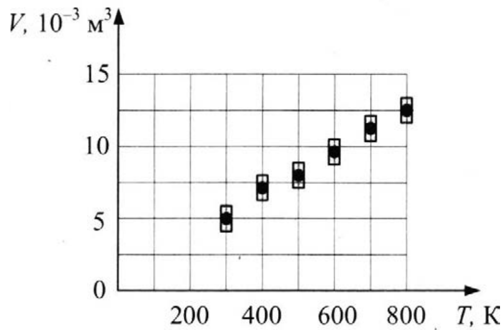
Ответ: ___________ .

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.



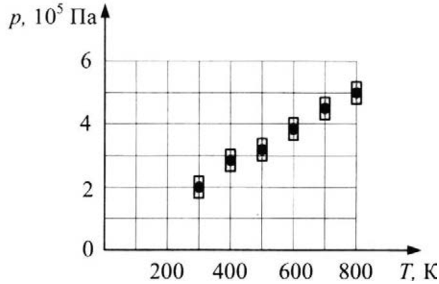
Ответ: ___________ .

19. В цилиндре под поршнем находится 0,4 моль разреженного газа. Результаты измерения объёма газа с повышением температуры при постоянном давлении показаны на рисунке. Погрешность измерения температуры $\Delta T = \pm 10$ К, объёма $\Delta V = \pm 0{,}5$ 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 объём 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. На сколько 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 целых.

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 объёмом 1,2 $м^3$ под давлением $4 \cdot 10^3$ Па. Определите внутреннюю энергию этого газа.

Ответ: ___________ кДж.

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

Ответ: ___________ кПа.

32. Идеальный одноатомный газ находится в сосуде с жёсткими стенками объёмом 0,6 $м^3$. При нагревании его внутренняя энергия увеличилась на 18 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 $S = 25$ $см^2$. Внешнее атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. В результате охлаждения газа поршень опустился на высоту $\Delta h = 4$ см, а температура газа понизилась на $\Delta T = 16$ 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 $m = 5$ кг и площадью $S = 25$ см^2. Трение между поршнем и стенками цилиндра отсутствует. Внешнее атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. В результате нагревания газа поршень поднялся на высоту $\Delta h = 4$ 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^2. Внешнее атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. В результате охлаждения газа поршень сдвинулся вниз на Δh, а температура газа понизилась на $\Delta T = 16$ К. Какова величина Δh? 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.

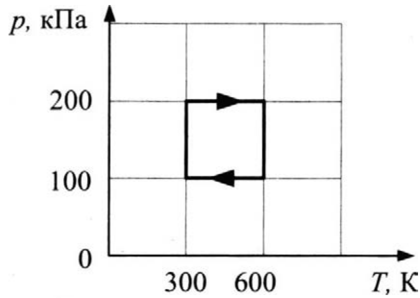
37. У идеального теплового двигателя, работающего по циклу Карно, температура нагревателя 750 К, а температура холодильника 450 К. Рабочее тело за один цикл получает от нагревателя количество теплоты 40 кДж. Какое количество теплоты рабочее тело отдаёт за цикл холодильнику?

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?

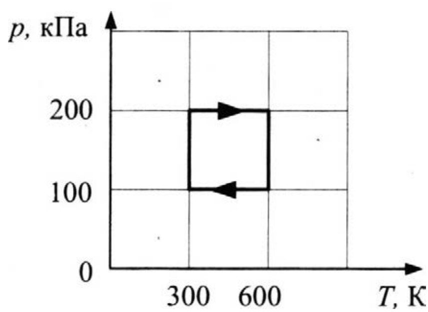
Ответ: ___________ кДж.

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



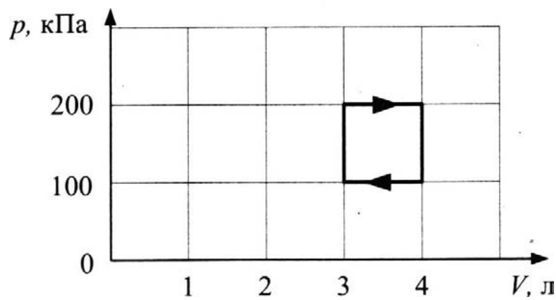
Ответ: ___________ моль.

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



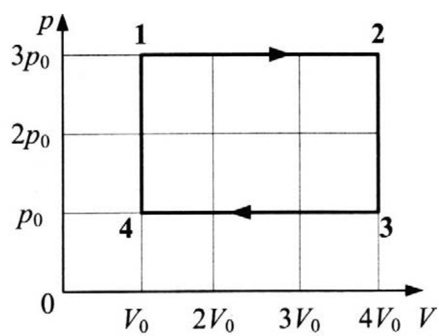
Ответ: ___________ л.

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.



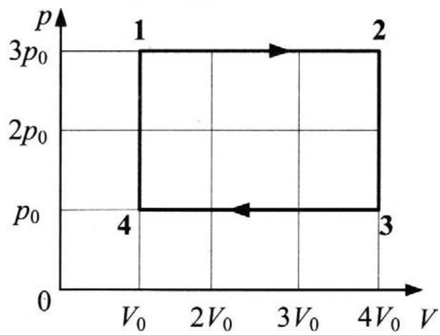
Ответ: ___________ моль.

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 отдаёт холодильнику количество теплоты $|Q_{\text{хол}}| = 7{,}8$ 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, объём 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, объём сосуда уменьшили в 8 раз. Найдите массу пара, оставшегося после этого в сосуде.

Ответ: ___________ г.

46. В сосуде под поршнем при температуре 100 °С находится 2 г водяного пара и такое же количество воды. Не изменяя температуры, объём сосуда увеличили в 2,5 раза. Определите массу воды, перешедшей при этом в пар.

Ответ: ___________ г.

47. В сосуде под поршнем при температуре 100 °С находится 2 г водяного пара и такое же количество воды. Не изменяя температуры, объём сосуда увеличили в 3,5 раза. Определите массу пара в сосуде после изменения объёма.

Ответ: ___________ г.

48. В кубическом метре воздуха в помещении при температуре 18 °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, °C	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ρ, 10^{-2} кг/м^3	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 °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, °C	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ρ, 10^{-2} кг/м^3	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 °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, °C	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ρ, 10^{-2} кг/м^3	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 теплоёмкости алюминия 900 Дж/(кг · К) и железа 450 Дж/(кг · К). Определите отношение масс этих шариков $\frac{m_{Fe}}{m_{Al}}$. Ответ запишите, округлив до целых.

Ответ: ___________ .

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

Ответ: ___________ .

53. Кусок льда, имеющий температуру 0 °С, помещён в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лёд в воду с температурой 20 °С, требуется количество теплоты 100 кДж. Какая температура установится внутри калориметра, если лёд получит от нагревателя количество теплоты 70 кДж? Теплоёмкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

Ответ: ___________ °С.

54. Кусок льда, имеющий температуру 0 °С, помещён в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лед в воду с температурой 16 °С, требуется количество теплоты 80 кДж. Какая температура установится внутри калориметра, если лёд получит от нагревателя количество теплоты 50 кДж? Теплоёмкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

Ответ: ___________ °С.

55. Кусок льда, имеющий температуру 0 °С, помещён в калориметр с электронагревателем. Чтобы превратить этот лёд в воду с температурой 12 °С, требуется количество теплоты 60 кДж. Какая температура установится внутри калориметра, если лёд получит от нагревателя количество теплоты 45 кДж? Теплоёмкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

Ответ: ___________ °С.

56. Кусок льда опустили в термос с водой. Начальная температура льда 0 °С, начальная температура воды 40 °С. Теплоёмкостью термоса можно пренебречь. При переходе к тепловому равновесию часть льда массой 280 г растаяла. Чему равна исходная масса воды в термосе?

Ответ: ___________ кг.

57. Кусок льда опустили в термос с водой. Начальная температура льда 0 °С, начальная температура воды 10 °С. Теплоёмкостью термоса можно пренебречь. При переходе к тепловому равновесию часть льда массой 140 г растаяла. Чему равна исходная масса воды в термосе?

Ответ: ___________ кг.

58. Кусок льда опустили в термос с горячей водой. Начальная температура льда 0 °С, масса горячей воды 550 г. При переходе к тепловому равновесию часть льда массой 420 г растаяла. Чему равна исходная температура горячей воды в термосе? Теплоёмкостью термоса можно пренебречь.

Ответ: ___________ °С.

59. В стакан калориметра налили 150 г воды. Начальная температура калориметра и воды 55 °С. В эту воду опустили кусок льда температурой 0 °С. Когда наступило тепловое равновесие, температура воды в калориметре стала 5 °С. Определите массу льда. Ответ в граммах (г) округлите до целых. Теплоёмкостью калориметра пренебречь.

Ответ: ___________ г.

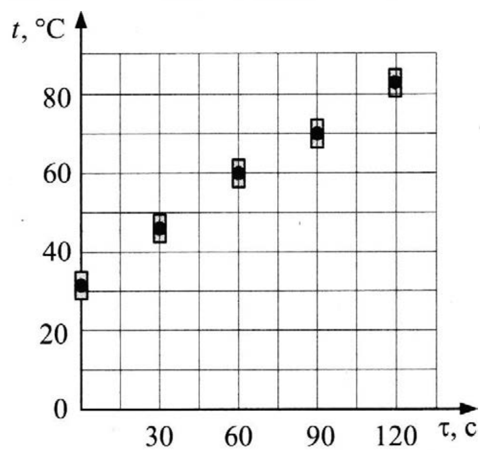
60. В калориметр с водой бросают кусочки тающего льда. В некоторый момент кусочки льда перестают таять. Первоначальная температура воды 22 °С. На сколько увеличилась масса воды? Ответ выразите в процентах от первоначальной массы воды.

Ответ: ___________ %.

61. В калориметре находится вода, масса которой 100 г и температура 0 °С. В него добавляют кусок льда, масса которого 20 г и температура −5 °С. Какой будет температура содержимого калориметра после установления в нём теплового равновесия?

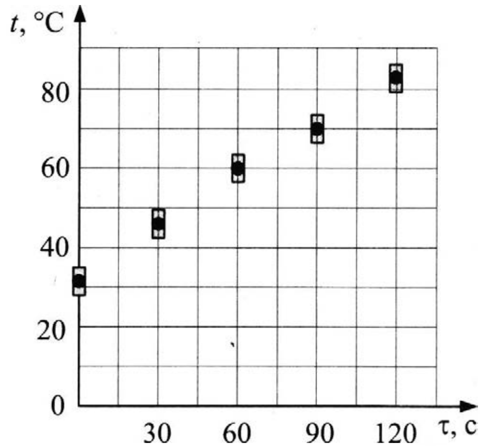
Ответ: ___________ °С.

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 °С. 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 °С. 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 развёрнутым ответом

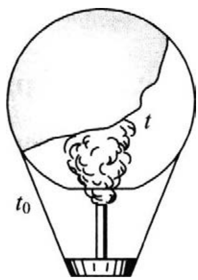
1. Сферическую оболочку воздушного шара делают из материала, квадратный метр которого имеет массу 1 кг. Шар наполняют гелием. Атмосферное давление 10^5 Па равно давлению гелия в шаре. Определите минимальную массу оболочки, при которой шар оторвётся от земли. Температура гелия и окружающего воздуха одинакова и равна 0 °С. (Площадь сферы $S = 4\pi r^2$, объем шара $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.)

2. 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 °С, а давление 10^5 Па. Какова масса гелия в оболочке шара? Оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объёма шара, объём груза пренебрежимо мал по сравнению с объёмом шара.

3. Воздушный шар объёмом V = 2500 м^3 с массой оболочки $m_{об}$ = 400 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 воздухоплавателем) массой $m_г$ = 200 кг? Температура окружающего воздуха t = 7 °С, его плотность ρ = 1,2 кг/м^3. Оболочку шара считать нерастяжимой.

4. Воздушный шар объёмом $V = 2500$ м^3 с массой оболочки $m_{об} = 400$ кг имеет внизу отверстие, через которое воздух в шаре нагревается горелкой. Какова максимальная масса груза $m_г$, который может поднять шар, если воздух в нём нагреть до температуры $t_1 = 77$ °С? Температура окружающего воздуха $t = 7$ °С, его плотность $\rho = 1{,}2$ кг/м^3. Оболочку шара считать нерастяжимой.

5. Воздушный шар, оболочка которого имеет объём $V = 400$ м^3 и массу вместе с корзиной $M = 250$ кг, наполняется при нормальном атмосферном давлении горячим воздухом, нагретым до температуры $t = 300$ °С. Определите максимальную температуру t_0 окружающего воздуха, при которой шар поднимается в воздух. Оболочка шара нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие.



6. Для того чтобы совершить воздушный полёт, отважный мальчик решил использовать воздушные шары объёмом 10 л, наполненные гелием. Определите минимальное количество воздушных шаров, которое потребуется, чтобы поднять в воздух мальчика массой 50 кг при нормальном атмосферном давлении. Температура окружающего воздуха 17 °С. Массой оболочек шаров и их упругостью, а также силой Архимеда, действующей на мальчика, пренебречь.

7. Для того чтобы совершить воздушный полёт, отважный мальчик решил использовать воздушные шары, наполненные гелием, в количестве 4650 штук. До какого минимального объёма потребуется надувать каждый шарик, чтобы поднять в воздух мальчика массой 60 кг при нормальном атмосферном давлении? Температура окружающего воздуха 7 °С. Массой оболочек шаров и их упругостью, а также силой Архимеда, действующей на мальчика, пренебречь.

8. Теплоизолированный цилиндр, расположенный горизонтально, разделён подвижным теплопроводящим поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой — аргон. В начальный момент температура гелия равна 300 К, а аргона — 900 К, объёмы, занимаемые газами, одинаковы, а поршень находится в равновесии. Во сколько раз изменится объём, занимаемый гелием, после установления теплового равновесия, если поршень перемещается без трения? Теплоёмкостью цилиндра и поршня пренебречь.

9. Теплоизолированный цилиндр, расположенный горизонтально, разделён подвижным теплопроводящим поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой — аргон. В начальный момент температура гелия равна 300 К, а аргона — 600 К, объёмы, занимаемые газами, одинаковы, а поршень находится в равновесии. Во сколько раз изменится объём, занимаемый аргоном, после установления теплового равновесия, если поршень перемещается без трения? Теплоёмкостью цилиндра и поршня пренебречь.

10. Сосуд объёмом 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?

11. Сосуд объёмом 10 л содержит смесь водорода и гелия общей массой 2 г при температуре 27 °С. Каково давление смеси, если отношение массы водорода к масее гелия в смеси равно 1,5?

12. Два баллона объёмами 10 и 20 л содержат 2 моль кислорода и 3 моль азота соответственно при температуре 16 °С. Какое давление установится в баллонах, если их соединить между собой? Температуру газов считать неизменной.

13. Два баллона объёмами 15 и 20 л содержат 2 моль углекислого газа и 3 моль кислорода соответственно. Баллоны находятся в помещении, в котором поддерживается постоянная температура. Если баллоны соединить между собой, то спустя длительное время в них установится давление 320 кПа. Определите температуру в помещении.

14. Два одинаковых теплоизолированных сосуда соединены короткой трубкой с краном. Объём каждого сосуда $V = 15$ л. В первом сосуде находится $\nu_1 = 1$ моль неона при температуре $T_1 = 360$ К; во втором — $\nu_2 = 3$ моль гелия при температуре T_2. Кран открывают. После установления равновесного состояния давление в сосудах $p = 341$ кПа. Определите первоначальную температуру гелия T_2.

15. Два одинаковых теплоизолированных сосуда соединены короткой трубкой с краном. В первом сосуде находится $\nu_1 = 2$ моль гелия при температуре $T_1 = 510$ К; во втором — $\nu_2 = 3$ моль аргона при температуре $T_2 = 350$ К. Кран открывают. В установившемся равновесном состоянии давление в сосудах становится $p = 430$ кПа. Определите объём V одного сосуда. Объёмом трубки пренебречь.

16. 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.

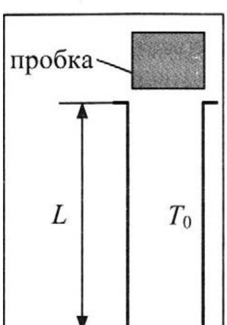


Рис. 1

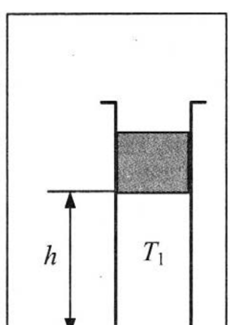


Рис. 2

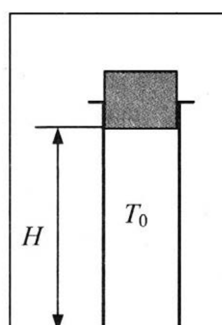


Рис. 3

17. 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.

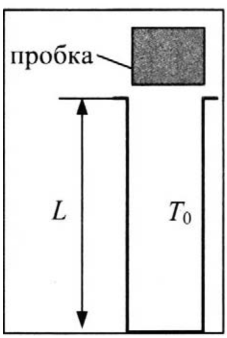


Рис. 1

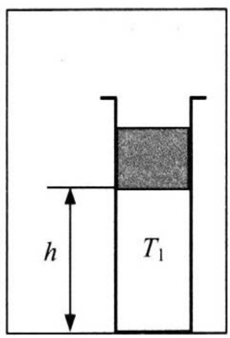


Рис. 2

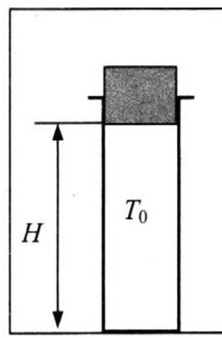


Рис. 3

18. Со дна озера, имеющего глубину H = 15 м, медленно поднимается пузырёк воздуха. У дна озера пузырёк имел объём $V_1 = 2$ мм^3. Определите объём пузырька V_2 на расстоянии h = 1 м от поверхности воды. Давление воздуха на уровне поверхности воды равно нормальному атмосферному давлению. Силы поверхностного натяжения не учитывать, температуры воды и воздуха в пузырьке считать постоянными.

19. Со дна озера, имеющего глубину H = 10 м, медленно поднимается пузырёк воздуха. Определите объём V_1 пузырька у дна озера, если на расстоянии h = 1 м от поверхности воды он имел объём V_2 = 5 мм^3. Давление воздуха на уровне поверхности воды равно нормальному атмосферному давлению. Силы поверхностного натяжения не учитывать, температуры воды и воздуха в пузырьке считать постоянными.

20. В горизонтально расположенной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца, помещён столбик ртути длиной d, который отделяет воздух в трубке от атмосферы (рис. 1). Трубку расположили вертикально запаянным концом вниз и нагрели на 50 °C. В результате объём, занимаемый воздухом, стал прежним (рис. 2). Температура воздуха в лаборатории 27 °C, а атмосферное давление составляет 750 мм рт. ст. Какова длина столбика ртути d?

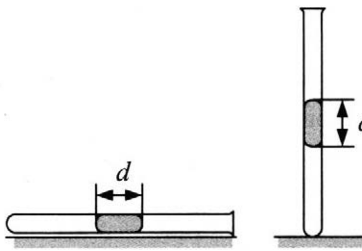


Рис. 1 Рис. 2

21. В горизонтально расположенной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца, помещён столбик ртути длиной 3,8 см, который отделяет воздух в трубке от атмосферы (рис. 1). Трубку расположили вертикально, запаянным концом вниз. На сколько градусов следует нагреть воздух в трубке, чтобы объём, занимаемый воздухом, стал прежним (рис. 2)? Температура воздуха в лаборатории 27 °C, а атмосферное давление составляет 760 мм рт. ст.

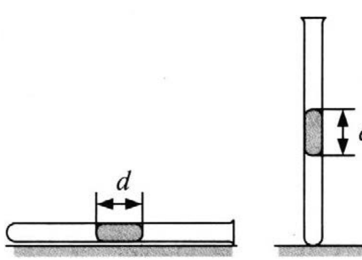
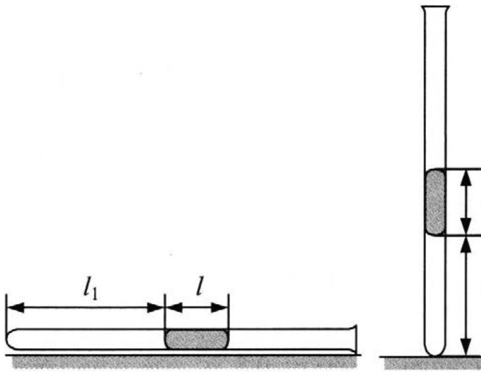


Рис. 1 Рис. 2

22. В запаянной с одного конца длинной горизонтальной стеклянной трубке постоянного сечения (см. рис.) находится столбик воздуха длиной $l_1 = 39$ см, запертый столбиком ртути. Если трубку поставить вертикально отверстием вверх, то длина воздушного столбика под ртутью будет равна l_2 = 35 см. Какова длина l ртутного столбика? Атмосферное давление 744 мм рт. ст. Температуру воздуха в трубке считать постоянной.



23. В запаянной с одного конца стеклянной трубке постоянного сечения, расположенной горизонтально, находится столбик воздуха длиной l_1 = 35 см, запертый столбиком ртути (рис. 1). Если трубку закрепить вертикально отверстием вниз, то длина воздушного столбика над ртутью будет равна l_2 = 42 см (рис. 2). Какова длина l ртутного столбика? Атмосферное давление 750 мм рт. ст. Температуру воздуха в трубке считать постоянной.

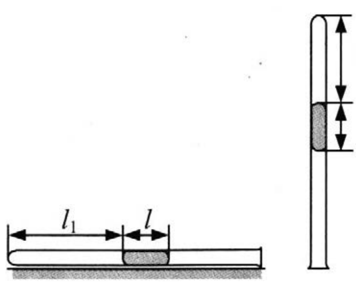
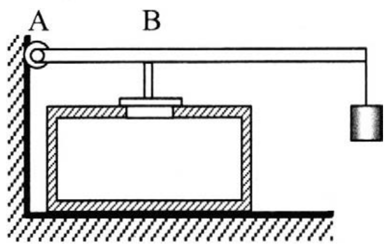


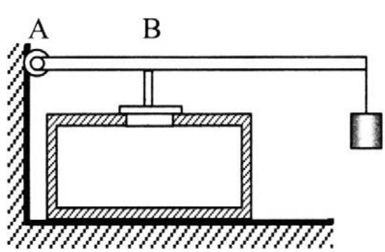
Рис. 1 Рис. 2

24. В цилиндр объёмом 0,5 м^3 насосом закачивается воздух со скоростью 0,002 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 кг. Клапан открывается через 580 с работы насоса, если в начальный момент времени давление воздуха в цилиндре было равно атмосферному. Площадь закрытого клапаном отверстия $5 \cdot 10^{-4}$ м^2, расстояние АВ равно 0,1 м. Температура воздуха в цилиндре и снаружи не меняется и равна 300 К. Определите длину стержня, если его считать невесомым.



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



26. В вертикальном цилиндрическом сосуде с площадью поперечного сечения S = 5 см^2, ограниченном сверху подвижным поршнем массой M = 1 кг, находится воздух при комнатной температуре. Первоначально поршень находился на высоте

$H = 13$ см от дна сосуда. На какой высоте h от дна сосуда окажется поршень, если на него положить груз массой $m = 0{,}5$ кг? Воздух считать идеальным газом, а его температуру — неизменной. Атмосферное давление принять равным 10^5 Па. Трение между стенками сосуда и поршнем не учитывать.

27. В вертикальном цилиндрическом сосуде с площадью поперечного сечения S, ограниченном сверху подвижным поршнем массой $M = 1$ кг, находится воздух при комнатной температуре. 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.

28. Теплоизолированный сосуд разделён тонкой теплоизолирующей перегородкой на две части, отношение объёмов 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?

29. Теплоизолированный сосуд разделён 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 объёмов частей сосуда, если, после того как перегородку убрали, давление в сосуде стало равным $3p_0$.

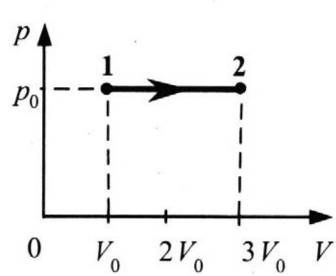
30. Теплоизолированный горизонтальный сосуд разделён пористой перегородкой на две равные части. В начальный момент в левой части сосуда находится $\nu = 2$ моль гелия, а в правой — такое же количество моль аргона. Атомы гелия могут проникать через перегородку, а для атомов аргона перегородка непроницаема.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

31. Теплоизолированный горизонтальный сосуд разделён 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.

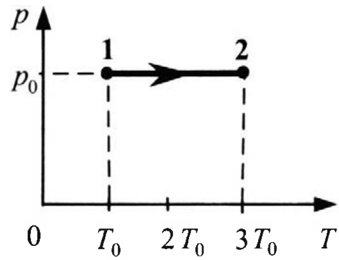
32. Аргон в количестве $\nu = 2$ моль изобарно сжимают, совершая работу $A_1 = 3{,}6$ кДж. При этом температура аргона уменьшается в 4 раза: $T_2 = \frac{T_1}{4}$. Затем газ адиабатически расширяется, при этом его температура изменяется до значения $T_3 = \frac{T_1}{8}$. Найдите работу газа A_2 при адиабатном расширении. Количество вещества в процессах остаётся неизменным.

33. Неон в количестве $\nu = 1{,}5$ моль изобарно сжимают, совершая работу $A_1 = 2$ кДж. При этом температура неона уменьшается в 3 раза: $T_2 = \frac{T_1}{3}$. Затем газ адиабатически расширяется, при этом его температура изменяется до значения $T_3 = \frac{T_1}{6}$. Найдите работу газа A_2 при адиабатном расширении. Количество вещества в процессах остаётся неизменным.

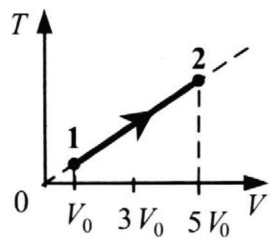
34. На рисунке изображено изменение состояния 1 моль идеального одноатомного газа. Начальная температура газа 27 °С. Какое количество теплоты сообщено газу в этом процессе?



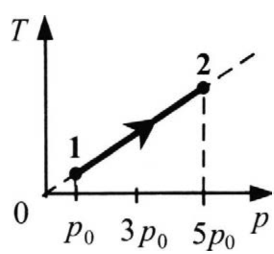
35. На рисунке изображено изменение состояния 2 моль идеального одноатомного газа. Начальная температура газа 27 °C. Какое количество теплоты сообщено газу в этом процессе?



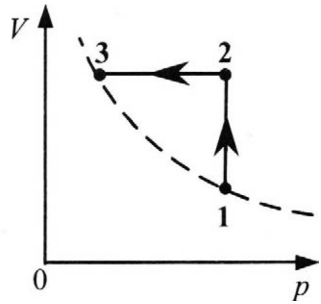
36. На рисунке изображено изменение состояния 1 моль неона. Начальная температура газа 0 °C. Какое количество теплоты сообщено газу в этом процессе?



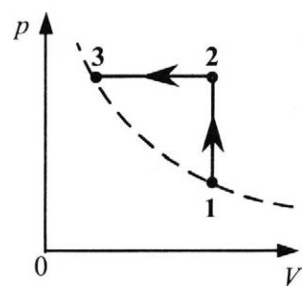
37. На рисунке изображено изменение состояния 1 моль неона. Начальная температура газа 0 °C. Какое количество теплоты сообщено газу в этом процессе?



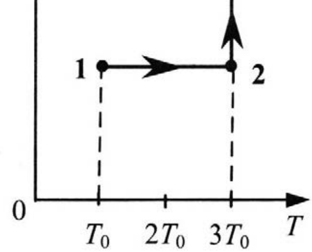
38. Один моль идеального одноатомного газа сначала нагрели, а затем охладили до первоначальной температуры 300 К, уменьшив давление в 3 раза (см. рис.). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 12?



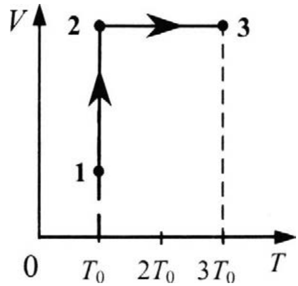
39. Один моль идеального одноатомного газа сначала нагрели, а затем охладили до первоначальной температуры 300 К, уменьшив объём в 3 раза (см. рис.). Какое количество теплоты сообщено газу на участке 12?



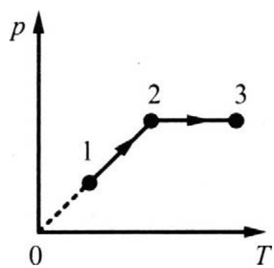
40. Один моль одноатомного идеального газа переходит из состояния 1 в состояние 3 в соответствии с графиком зависимости его объёма V от температуры T (T_0 = 100 К). На участке 2–3 к газу подводят 2,5 кДж теплоты. Найдите отношение работы газа A_{123} ко всему количеству подведённой к газу теплоты Q_{123}.



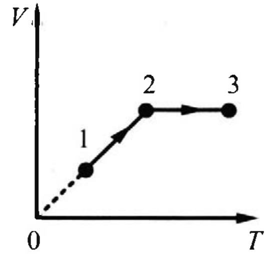
41. Один моль одноатомного идеального газа переходит из состояния 1 в состояние 3 в соответствии с графиком зависимости его объёма V от температуры T (T_0 = 200 К). На участке 1–2 к газу подводят 2,5 кДж теплоты. Найдите отношение работы газа A_{123} ко всему количеству подведённой к газу теплоты Q_{123}.



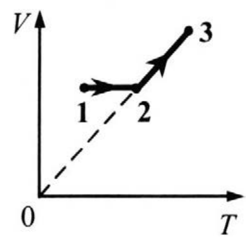
42. Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1–2–3, график которого показан на рисунке в координатах p–T. Известно, что давление газа p в процессе 1–2 увеличилось в 2 раза. Какое количество теплоты было сообщено газу в процессе 1–2–3, если его температура T в состоянии 1 равна 300 К,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



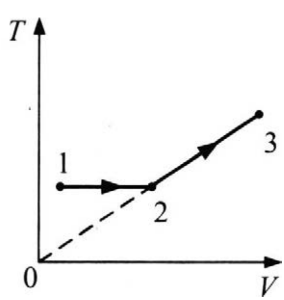
43. Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1–2–3, график которого показан на рисунке в координатах V–T. Известно, что объем газа V в процессе 1–2 увеличился в 2 раза. Какое количество теплоты было сообщено газу в процессе 1–2–3, если его температура T в состоянии 1 равна 300 К, а в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



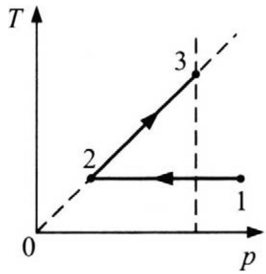
44. Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1–2–3, график которого показан на рисунке в координатах V–T. Известно, что объем газа V в процессе 2–3 увеличился в 2 раза. Какое количество теплоты было сообщено газу в процессе 1–2–3, если его температура T в состоянии 1 равна 200 К, а в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



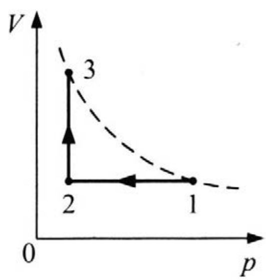
45. Один моль одноатомного идеального газа совершает процесс 1–2–3, график которого показан на рисунке в координатах T–V. Известно, что в процессе 1–2 газ совершил работу 4 кДж, а в процессе 2–3 объём газа V увеличился в 2 раза. Какое количество теплоты было сообщено газу в процессе 1–2–3, если его температура T в состоянии 1 равна 250 К?



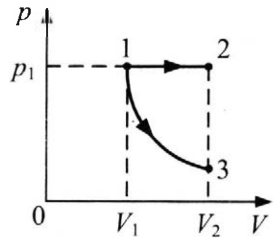
46. Идеальный одноатомный газ в количестве 1,5 моль сначала изотермически расширился ($T_1 = 300$ К). Затем газ изохорно нагрели, повысив его давление в 2 раза (см. рис.). Какое количество теплоты получил газ на участке 2–3?



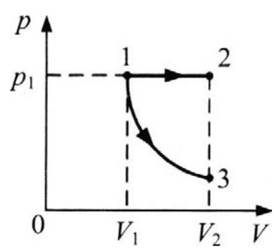
47. Два моль идеального одноатомного газа участвует в процессе 1–2–3, график которого представлен на рисунке в координатах V–p, где V — объём газа, p — его давление. Температуры газа в состояниях 1 и 3 $T_1 = T_3 = 400$ К. В процессе 2–3 газ увеличил свой объём в 2,5 раза. Какое количество теплоты отдал газ в процессе 1–2?



48. Одно и то же постоянное количество одноатомного идеального газа расширяется из одного и того же начального состояния p_1, V_1 до одного и того же конечного объёма V_2 первый раз по изобаре 1–2, а второй — по адиабате 1–3 (см. рис.). Отношение работы газа в процессе 1–2 к работе газа в процессе 1–3 равно $\dfrac{A_{12}}{A_{13}} = k = 2{,}5$. Чему равно отношение x количества теплоты Q_{12}, полученного газом от нагревателя в ходе процесса 1–2, к модулю изменения внутренней энергии газа $\left|U_3 - U_1\right|$ в ходе процесса 1–3?



49. Одно и то же постоянное количество одноатомного идеального газа расширяется из одного и того же начального состояния p_1, V_1 до одного и того же конечного объёма V_2 первый раз по изобаре 1–2, а второй — по адиабате 1–3 (см. рис.). Отношение количества теплоты Q_{12}, полученного газом от нагревателя в ходе процесса 1–2, к модулю изменения внутренней энергии газа $|U_3 - U_1|$ в ходе процесса 1–3 равно $\frac{Q_{12}}{|U_3 - U_1|} = k = 7{,}5$. Чему равно отношение x работы газа A_{12} в процессе 1–2 к работе газа A_{13} в процессе 1–3?



50. Один моль одноатомного идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 таким образом, что в ходе процесса давление газа возрастает прямо пропорционально его объёму. 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?

51. Один моль одноатомного идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2 таким образом, что в ходе процесса давление газа возрастает прямо пропорционально его объёму. В результате плотность газа уменьшается в $\alpha = 2$ раза. Газ в ходе процесса совершает работу $A = 5$ кДж. Какова температура газа в состоянии 2?

52. С разреженным азотом, 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 ΔT. Во втором опыте, предоставив газу возможность изобарно расширяться, сообщили ему количество теплоты $Q_2 = 1039$ Дж, в результате чего его температура изменилась также на ΔT. Каким было изменение температуры ΔT в опытах? Масса газа $m = 1$ кг.

53. 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 $\Delta T = 30$ 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 ΔT. Чему равно количество вещества газа ν?

54. В сосуде объёмом $V = 0{,}02$ м^3 с жёсткими 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.

55. В сосуде объёмом $V = 0{,}1$ м^3 с жёсткими стенками находится одноатомный газ при атмосферном давлении. В крышке сосуда имеется отверстие площадью $S = 5$ см^2, 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.

56. Один моль аргона, находящийся в цилиндре при температуре $T_1 = 600\,\text{K}$ и давлении $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па, расширяется и одновременно охлаждается так, что его давление при расширении обратно пропорционально квадрату объёма. Конечный объём газа вдвое больше начального. Какое количество теплоты газ отдал при расширении, если при этом он совершил работу $A = 2493$ Дж?

57. Один моль аргона, находящийся в цилиндре при температуре $T_1 = 600\,\text{K}$ и давлении $p_1 = 4\cdot 10^5$ Па, расширяется и одновременно охлаждается так, что его давление при расширении обратно пропорционально квадрату объёма. Конечное давление газа $p_2 = 10^5$ Па. Какую работу совершил газ при расширении, если он отдал холодильнику количество теплоты $Q = 1247$ Дж?

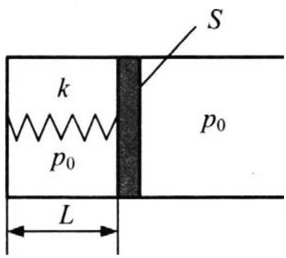
58. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Давление окружающего воздуха $p = 10^5$ Па. Трение между поршнем и стенками сосуда пренебрежимо мало. В процессе медленного охлаждения от газа отведено количество теплоты $|Q| = 75$ Дж. При этом поршень передвинулся на расстояние $x = 10$ см. Чему равна площадь поперечного сечения поршня?

59. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем с площадью поперечного сечения $S = 30$ см^2, находится одноатомный идеальный газ. Давление окружающего воздуха $p = 10^5$ 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 $x = 10$ см. Найдите $|Q|$.

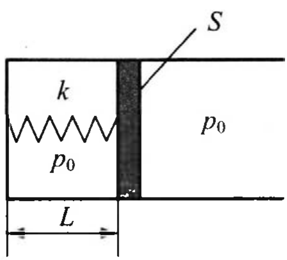
60. В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Первоначальное давление газа $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па. Расстояние от дна сосуда до поршня равно L. Площадь поперечного сечения поршня $S = 25$ см^2. В результате медленного нагревания газ получил количество теплоты $Q = 1{,}65$ кДж, 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 L. Считать, что сосуд находится в вакууме.

61. 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^2. 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 $F_{тр} = 3 \cdot 10^3$ Н. Найдите Q. Считать, что сосуд находится в вакууме.

62. В горизонтальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем с площадью S находится гелий. Поршень соединён с основанием цилиндра пружиной с жёсткостью k. В начальном состоянии расстояние между поршнем и основанием цилиндра равно L, а давление гелия в цилиндре равно внешнему атмосферному давлению p_0 (см. рис.). Какое количество теплоты Q передано затем газу, если в результате поршень медленно переместился вправо на расстояние b?



63. В горизонтальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем с площадью S находится гелий. Поршень соединён с основанием цилиндра пружиной с жёсткостью k. В начальном состоянии расстояние между поршнем и основанием цилиндра равно L, а давление гелия в цилиндре равно внешнему атмосферному давлению p_0 (см. рис.). Какое количество теплоты Q отведено от газа, если в результате поршень медленно переместился влево на расстояние $b < L$?



64. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками, открытом сверху, под поршнем находится одноатомный идеальный газ. В начальном состоянии поршень массой M и площадью основания S покоится на высоте h, опираясь на выступы (см. рис. 1). Давление газа p_0 равно внешнему атмосферному. Какое количество теплоты Q нужно сообщить газу при медленном его нагревании, чтобы поршень оказался на высоте H (см. рис. 2)? Тепловыми потерями пренебречь.

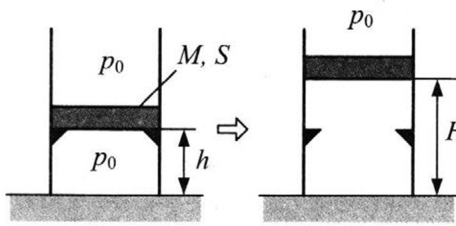


Рис. 1 Рис. 2

65. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками, открытом сверху, под поршнем находится аргон. В начальном состоянии поршень массой $M = 10$ кг и площадью основания $S = 100$ см^2 покоится на высоте $h = 20$ см, опираясь на выступы (см. рис. 1). Давление газа p_0 равно внешнему атмосферному. Какое количество теплоты Q нужно сообщить газу при медленном его нагревании, чтобы поршень оказался на высоте $H = 30$ см (см. рис. 2)? Тепловыми потерями пренебречь.

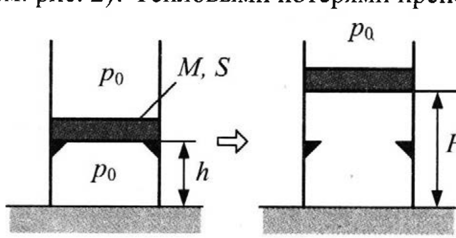
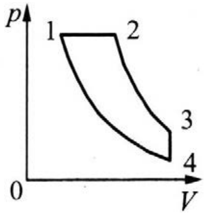


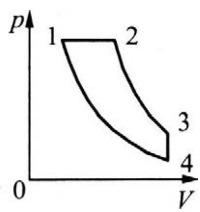
Рис. 1 Рис. 2

66. 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 ΔT, а работа, совершённая газом в изотермическом процессе, равна A. Определите КПД тепловой машины.

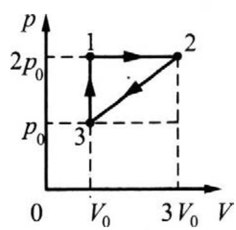
67. Тепловой двигатель использует в качестве рабочего вещества 1 моль идеального одноатомного газа. Цикл работы двигателя изображён на pV-диаграмме и состоит из двух адиабат, изохоры и изобары. Зная, что КПД этого цикла $\eta = 15\%$, а минимальная и максимальная температуры газа при изохорном процессе $t_{\min} = 37$ °C и $t_{\max} = 302$ °C, определите количество теплоты, получаемое газом за цикл.



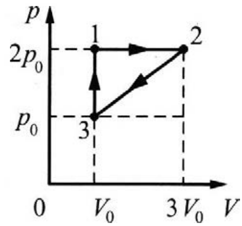
68. Тепловой двигатель использует в качестве рабочего вещества 1 моль идеального одноатомного газа. Цикл работы двигателя изображён на pV-диаграмме и состоит из двух адиабат, изохоры, изобары. Зная, что КПД цикла равен 50%, определите модуль отношения изменения температуры газа при изобарном процессе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



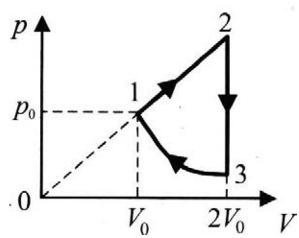
69. Изменение состояния постоянной массы одноатомного идеального газа происходит по циклу, показанному на рисунке. При переходе из состояния 1 в состояние 2 газ совершает работу $A_{12} = 5$ кДж. Какое количество теплоты газ отдаёт за цикл холодильнику?



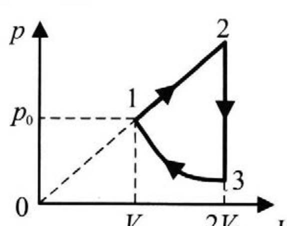
70. Изменение состояния постоянной массы одноатомного идеального газа происходит по циклу, показанному на рисунке. За цикл газ совершает работу $A_ц = 5$ кДж. Какое количество теплоты газ получает за цикл от нагревателя?



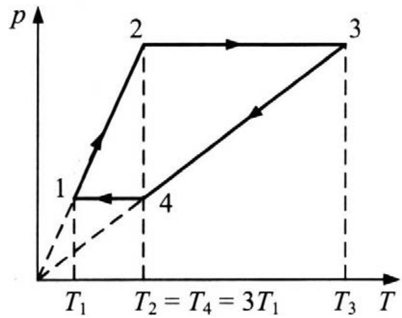
71. Над одноатомным идеальным газом проводится циклический процесс, показанный на рисунке. На участке 1–2 газ совершает работу $A_{12} = 1000$ Дж. На адиабате 3–1 внешние силы сжимают газ, совершая работу $|A_{31}| = 370$ Дж. Количество вещества газа в ходе процесса не меняется. Найдите количество теплоты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



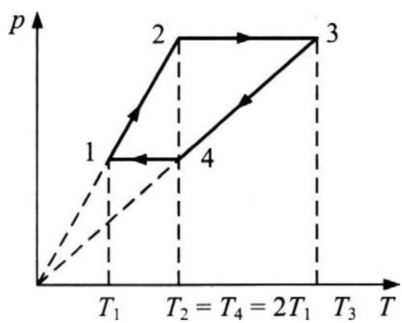
72. Над одноатомным идеальным газом проводится циклический процесс, показанный на рисунке. На участке 1–2 газ совершает работу $A_{12} = 1000$ Дж. Участок 3–1 — адиабата. Количество теплоты, отданное газом за цикл холодильнику, равно $|Q_{хол}| = 3370$ Дж. Количество вещества газа в ходе процесса не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



73. В тепловом двигателе 1 моль гелия совершает цикл 1–2–3–4–1, показанный на графике в координатах p–T, где p — давление газа, T — абсолютная температура. Температуры в точках 2 и 4 равны и превышают температуру в точке 1 в 3 раза. Определите КПД цикла.



74. В тепловом двигателе 2 моль аргона совершает цикл 1–2–3–4–1, показанный на графике в координатах p–T, где p — давление газа, T — абсолютная температура. Температуры в точках 2 и 4 равны и превышают температуру в точке 1 в 2 раза. Определите КПД цикла.



75. Относительная влажность воздуха при $t = 36$ °C составляет 80 %. Давление насыщенного водяного пара при этой температуре $p_н = 5945$ Па. Какая масса пара содержится в 1 м^3 этого воздуха?

76. В 1 м^3 влажного воздуха при $t = 36$ °C содержится 25 г водяного пара. Давление насыщенного водяного пара при этой температуре $p_н = 5945$ Па. Какова относительная влажность воздуха?

77. Два сосуда объёмами 20 л и 30 л, соединённые 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.

78. Два сосуда разного объёма, соединённые 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 объёма второго сосуда к объёму первого. Температуру считать постоянной.

79. В сосуде под поршнем находится воздух с относительной влажностью $\varphi = 40$ %. Объём воздуха изотермически уменьшили в 5 раз. Какая часть α исходного количества водяных паров сконденсировалась при сжатии?

80. 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 объём воздуха?

81. В комнате размерами 4 м × 5 м × 3 м, в которой воздух имеет температуру 15 °C и относительную влажность 30 %, включили увлажнитель воздуха производительностью 0,2 л/ч. Чему станет равна относительная влажность воздуха в комнате через 1,5 ч? Давление насыщенного водяного пара при температуре 15 °C равно 1,71 кПа. Комнату считать герметичным сосудом.

82. В комнате размерами 6 м × 5 м × 3 м, в которой воздух имеет температуру 17 °C и относительную влажность 25 %, включили увлажнитель воздуха производительностью 0,15 кг/ч. Сколько времени необходимо работать увлажнителю, чтобы относительная влажность воздуха в комнате стала равна 60 %? Давление насыщенного водяного пара при температуре 17 °C равно 1,93 кПа. Комнату считать герметичным сосудом.

83. Давление влажного воздуха в сосуде под поршнем при температуре $t = 100$ °С равно $p_1 = 1{,}4 \cdot 10^5$ Па. Объём под поршнем изотермически уменьшили в $k = 4$ раза. При этом давление в сосуде увеличилось в $n = 3$ раза. Найдите относительную влажность φ воздуха в первоначальном состоянии. Утечкой вещества из сосуда пренебречь.

84. Давление влажного воздуха в сосуде под поршнем при температуре $t = 100$ °С равно $p_1 = 1{,}6 \cdot 10^5$ Па, а относительная влажность $\varphi = 60$ %. Объём под поршнем изотермически уменьшили в $k = 3$ раза. Во сколько раз при этом увеличилось давление воздуха в сосуде? Утечкой вещества из сосуда пренебречь.

85. Необходимо расплавить лёд массой 0,2 кг, имеющий температуру 0 °С. Выполнима ли эта задача, если потребляемая мощность нагревательного элемента 400 Вт, тепловые потери составляют 30 %, а время работы нагревателя не должно превышать 5 минут?

86. Необходимо расплавить лёд массой 0,3 кг, имеющий температуру 0 °С. Выполнима ли эта задача, если потребляемая мощность нагревательного элемента 400 Вт, тепловые потери составляют 25 %, а время работы нагревателя не должно превышать 5 минут?

87. 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 °С, удельная теплота сгорания сухих дров $\lambda = 8{,}3 \cdot 10^6$ Дж/кг.

88. 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 °С, удельная теплота сгорания сухих дров $\lambda = 8{,}3 \cdot 10^6$ Дж/кг.

89. В калориметре находится 1 кг льда при температуре –5 °С. Какую массу воды, имеющей температуру 20 °С, нужно добавить в калориметр, чтобы температура его содержимого после установления теплового равновесия оказалась –2 °С? Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра пренебречь.

90. В калориметр, где находится 1 кг льда, добавили 30 г воды, имеющей температуру 40 °С. После установления теплового равновесия температура содержимого калориметра равна –1 °С. Какова первоначальная температура льда? Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра пренебречь.

91. В сосуде лежит кусок льда. Температура льда $t_1 = 0$ °С. Если сообщить ему количество теплоты Q, то весь лёд растает и образовавшаяся вода нагреется до температуры $t_2 = 20$ °С. Какая доля льда k растает, если сообщить ему количество теплоты $q = \frac{Q}{2}$? Тепловыми потерями на нагрев сосуда пренебречь.

92. 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.

93. 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 лёд растаял и образовавшаяся вода нагрелась до температуры $t_2 = 20$ °С? Тепловыми потерями на нагрев сосуда пренебречь.

94. 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? Теплоёмкостью калориметров пренебречь.

95. 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 °C, во втором — лед и 200 г воды при 0 °C. Какова масса льда, если после добавления в первый калориметр всего содержимого второго в нем установилась температура 2 °C? Теплоёмкостью калориметров пренебречь.

96. В стакан с водой, нагретой до температуры t_1 = 60 °C, положили металлический шарик, имеющий температуру t_2 = 25 °C. После установления теплового равновесия температура воды стала t_3 = 45 °C. Определите температуру воды t_4 после того, как в стакан положили ещё один такой же шарик температурой t_2 (первый шарик остался в стакане). Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

97. В стакан с водой, нагретой до температуры t_1, положили металлический шарик, имеющий температуру t_2 = 10 °C. После установления теплового равновесия температура воды стала t_3 = 30 °C. После того, как в стакан положили ещё один такой же шарик температурой t_2 (первый шарик остался в стакане), температуру воды оказалась равной t_3 = 22 °C. Определите начальную температуру воды t_1. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

98. В теплоизолированный сосуд, в котором находится 2 кг льда при температуре –20 °C, налили 0,5 кг воды при температуре 10 °C. Определите массу льда в сосуде после установления теплового равновесия. Теплоёмкостью сосуда и потерями тепла пренебречь.

99. В теплоизолированный сосуд, в котором находится 1 кг льда при температуре –20 °C, налили 0,5 кг воды при температуре 40 °C. Определите массу воды в сосуде после установления теплового равновесия. Теплоёмкостью сосуда и потерями тепла пренебречь.

Ответы

1. Механика

1.1. Задачи с кратким ответом

1.	5 м/с.	**2.**	5 м/с^2.	**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^2.	**14.**	2,5 м/с^2.	**15.**	150 м.	**16.**	11 м/с.
17.	2 м/с^2.	**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^2.
37.	1 м/с^2.	**38.**	4,5 м/с^2.	**39.**	4.	**40.**	4 см.
41.	18 см.	**42.**	1000 Н.	**43.**	1000 Н.	**44.**	3,4 км/с.
45.	4 м/с^2.	**46.**	3400 км.	**47.**	2 м/с^2.	**48.**	1 м/с^2.
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^2.	**60.**	0,4.
61.	25 м/с^2.	**62.**	2 м/с^2.	**63.**	300 г.	**64.**	3 кг.
65.	0,25 кг.	**66.**	0,1.	**67.**	1,6 м/с^2.	**68.**	0,8 кг.
69.	2,7 Н.	**70.**	1 м/с^2.	**71.**	4 м/с^2.	**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^3.	**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^2.
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 развёрнутым ответом

1. *Возможное решение.*

Ускорение на прямолинейном участке определяется по формуле $a_1 = \frac{\upsilon}{t_1}$, где υ — скорость в точке B, а t_1 — время движения по прямолинейному участку. Ускорение при движении по дуге окружности есть центростремительное ускорение и определяется по формуле $a_2 = \frac{\upsilon^2}{R}$, где R — радиус полуокружности. С учётом того, что $\upsilon = \frac{\pi R}{t_2}$, получим $a_2 = \frac{\upsilon \pi}{t_2}$. Приравнивая выражения для ускорений, получим $\frac{\upsilon}{t_1} = \frac{\upsilon \pi}{t_2}$, откуда для искомого отношения имеем $\frac{t_2}{t_1} = \pi$.

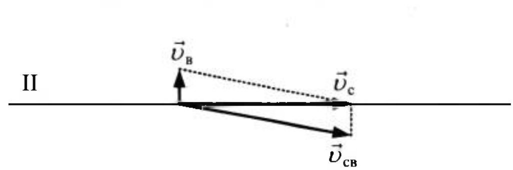
Ответ: $\frac{t_2}{t_1} = \pi$.

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

3. *Возможное решение.*

Уравнение движения для перелёта в первом случае: $s = \upsilon_{\text{св}} t_1$, где $\upsilon_{\text{св}}$ — скорость самолёта относительно воздуха.

Закон сложения скоростей в векторном виде для перелёта во время ветра: $\vec{\upsilon}_{\text{с}} = \vec{\upsilon}_{\text{св}} + \vec{\upsilon}_{\text{в}}$, где $\vec{\upsilon}_{\text{с}}$ — скорость самолёта относительно Земли, $\vec{\upsilon}_{\text{в}}$ — скорость ветра.



Выражение для скорости самолёта относительно Земли во втором случае имеет вид: $\upsilon_{\text{с}} = \sqrt{\upsilon_{\text{св}}^2 - \upsilon_{\text{в}}^2}$.

Тогда уравнение движения для перелёта во втором случае:

$s = \upsilon_{\text{с}} t_2 = \sqrt{\upsilon_{\text{св}}^2 - \upsilon_{\text{в}}^2} \cdot t_2$.

Следовательно, $\upsilon_{\text{св}} t_1 = \sqrt{\upsilon_{\text{св}}^2 - \upsilon_{\text{в}}^2} \cdot t_2$,

Отсюда: $\upsilon_{\text{в}} = \dfrac{\upsilon_{\text{св}} \cdot \sqrt{t_2^2 - t_1^2}}{t_2}$.

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

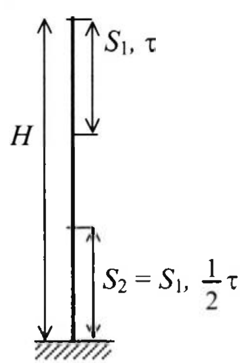
4. *Ответ*: $\upsilon_{\text{СВ}} = \dfrac{\upsilon_{\text{В}} t_2}{\sqrt{t_2^2 - t_1^2}} = 328$ км/ч.

5. *Возможное решение.*

Если t — полное время падения с высоты H, то

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

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



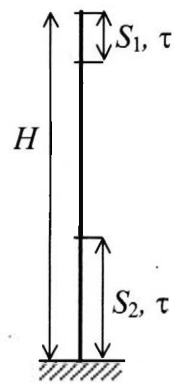
Ответ: $t = 1{,}25$ с.

6. *Возможное решение.*

Если t — полное время падения с высоты H, то

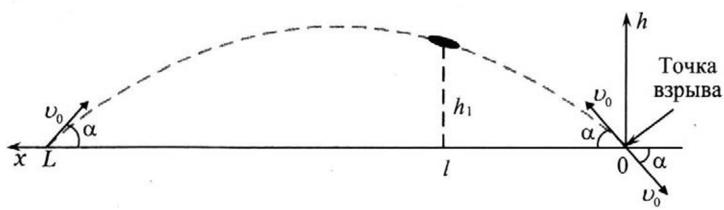
$$\begin{cases} H = \dfrac{gt^2}{2}; \\ S_1 = \dfrac{g\tau^2}{2}. \end{cases} \Rightarrow H - S_2 = H - nS_1 = \frac{g\cdot(t-\tau)^2}{2} \Rightarrow$$

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



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 υ_0, составляющую с горизонталью тот же угол α, что и в точке вылета. Поэтому если из точки взрыва выпустить воображаемый снаряд обратно со скоростью $\vec{\upsilon}_0$, направленной под углом α к горизонту, то он полетит по той же траектории и упадёт на пушку (см. рис.).

Проведём горизонтальную ось $0x$ с началом в точке взрыва, направленную к пушке. На этой оси координата точки, где снаряд был обнаружен, l = 1700 м, а по вертикальной оси её координата $h = h_1$. Время полёта до этой точки t_1 = 3 с. Согласно формулам кинематики имеем:

$$l = \upsilon_0 t_1 \cdot \cos\alpha; \qquad (1)$$

$$h_1 = \upsilon_0 t_1 \cdot \sin\alpha - \frac{1}{2} \cdot g t_1^2. \qquad (2)$$

Из уравнения (1) находим: $\upsilon_0 = \dfrac{l}{t_1 \cdot \cos\alpha}$.

Подставив это выражение в уравнение (2), получаем: $h_1 = \dfrac{l \cdot \sin\alpha}{t_1 \cdot \cos\alpha} \cdot t_1 - \dfrac{1}{2} \cdot g t_1^2 = l \cdot \mathrm{tg}\alpha - \dfrac{1}{2} \cdot g t_1^2$.

Отсюда: $\mathrm{tg}\,\alpha = \dfrac{h_1 + \frac{1}{2} \cdot g t_1^2}{l} = \dfrac{1655 + 5 \cdot 9}{1700} = 1$; $\alpha = 45°$.

Время τ полета снаряда находим из уравнения $h = \upsilon_0 t \cdot \sin\alpha - \dfrac{1}{2} \cdot g t^2$.

При $t = \tau$ $h = 0$.

Следовательно, $0 = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha - \dfrac{1}{2} \cdot g\tau$, $\tau = \dfrac{2\upsilon_o \cdot \sin\alpha}{g} = \dfrac{2 \cdot l}{g t_1} \approx 113$ с.

Ответ: $\tau \approx 113$ с.

8. *Ответ*: $\tau = \dfrac{2\upsilon_0 \cdot \sin\alpha}{g} = \dfrac{2 \cdot 800}{10\sqrt{2}} \approx 114$ с; $L = \upsilon_0 \tau \cdot \cos\alpha \approx 64\,000$ м.

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

Уравнения движения шарика имеют вид:

$$x = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha \cdot t + \frac{g \cdot \sin\alpha \cdot t^2}{2}, \quad y = \upsilon_0 \cdot \cos\alpha \cdot t + \frac{g \cdot \cos\alpha \cdot t^2}{2}.$$

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

$$y = 0, \Rightarrow \begin{cases} S = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha \cdot t + \dfrac{g \cdot \sin\alpha \cdot t^2}{2} & (1) \\ 0 = \upsilon_0 \cdot \cos\alpha \cdot t + \dfrac{g \cdot \cos\alpha \cdot t^2}{2} & (2) \end{cases}$$

Совместное решение (1) и (2) приводит к $t=\dfrac{2\upsilon_0}{g}$ и

$$S=\frac{4\upsilon_0^2\cdot\sin\alpha}{g}.$$

$$L=S\cdot\cos\alpha=\frac{2\upsilon_0^2\cdot\sin 2\alpha}{g}\approx 0{,}173\ \text{м}.$$

Ответ: $L\approx 0{,}173$ м.

10. *Ответ*: $\upsilon=\sqrt{\dfrac{Lg}{2\cdot\sin 2\alpha}}\approx 1$ м/с.

11. *Возможное решение.*

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

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

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

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

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 β к горизонту, делается замена $g\to g\cdot\sin\alpha$):

$$\upsilon_x(t)=\upsilon_0\cdot\cos\beta;\quad x(t)=\upsilon_0\cdot\cos\beta\cdot t;$$

$$\upsilon_y(t)=\upsilon_0\cdot\sin\beta-g\cdot\sin\alpha\cdot t;\quad y(t)=\upsilon_0\cdot\sin\beta\cdot t-\frac{g\cdot\sin\alpha}{2}\cdot t^2.$$

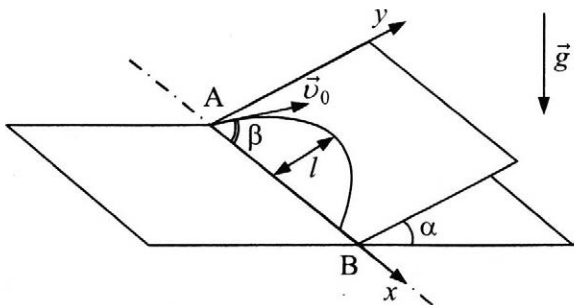
Условие $\upsilon_y=0$ позволяет найти время подъёма, а затем максимальное удаление l от прямой AB на наклонной плоскости:

$$l=\frac{\upsilon_0^2\cdot\sin^2\beta}{2g\cdot\sin\alpha}=0{,}3\ \text{м}.$$

12. *Ответ*: $\text{AB}=\dfrac{2\upsilon_0^2\cdot\sin\beta\cdot\cos\beta}{g\cdot\sin\alpha}=\dfrac{2\sqrt{3}}{5}$ м.

13. *Возможное решение.*

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



Проекции вектора ускорения свободного падения g:

$g_x = 0$; $g_y = -g \cdot \sin\alpha$.

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

Кинематика движения тела в проекциях на оси x и y (в известных уравнениях для тела, брошенного под углом β к горизонту, делается замена $g \to g \cdot \sin\alpha$):

$\upsilon_x(t) = \upsilon_0 \cdot \cos\beta$; $x(t) = \upsilon_0 \cdot \cos\beta \cdot t$;

$\upsilon_y(t) = \upsilon_0 \cdot \sin\beta - g \cdot \sin\alpha \cdot t$; $y(t) = \upsilon_0 \cdot \sin\beta \cdot t - \dfrac{g \cdot \sin\alpha}{2} \cdot t^2$.

Ответ на вопрос задачи находится из этих уравнений при наложении дополнительных условий.

Условие $\upsilon_y = 0$ позволяет найти время подъёма тела до максимальной высоты, а затем его максимальное удаление l от прямой AB: $l = \dfrac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\beta}{2g \cdot \sin\alpha}$.

Из рисунка следует, что искомая величина $h = l \cdot \sin\alpha$, т. е.

$$h = \frac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\beta}{2g} = \frac{16 \cdot \sin^2 45°}{2 \cdot 10} = 0{,}4 \text{ м}.$$

Ответ: $h = 0{,}4$ м.

14. *Возможное решение.*

$$T=\frac{2\pi R}{\upsilon},\ \text{значит,}\ \frac{T_П}{T_З}=\frac{\dfrac{2\pi R_П}{\upsilon_П}}{\dfrac{2\pi R_З}{\upsilon_З}}=\frac{R_П\cdot\upsilon_З}{R_З\cdot\upsilon_П}=\frac{R_П}{2R_З}.$$

Спутники движутся по окружностям под действием силы тяготения

$$G\cdot\frac{M_П\cdot m}{R_П^2}=m\cdot\frac{\upsilon_П^2}{R_П}\ \text{и}\ G\cdot\frac{M_З\cdot m}{R_З^2}=m\cdot\frac{\upsilon_З^2}{R_З},$$

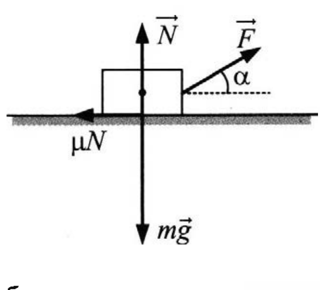
где $M_П$, $M_З$ и m — соответственно, массы Плюка, Земли и спутника.

Отсюда $R_П=\dfrac{GM_П}{\upsilon_П^2}$ и $R_З=\dfrac{GM_З}{\upsilon_З^2}$. Массы планет $M_П=\rho_П\cdot V_П$, $M_З=\rho_З\cdot V_З$. При этом $V\sim R^3$. Следовательно, $\dfrac{\upsilon_П}{\upsilon_З}=\sqrt{\dfrac{\rho_П R_П^2}{\rho_З R_З^2}}$; так как плотности равны, $\dfrac{\upsilon_П}{\upsilon_З}=\dfrac{R_П}{R_З}=2\Rightarrow$ $\dfrac{T_П}{T_З}=1$.

Ответ: $\dfrac{T_П}{T_З}=1$.

15. *Ответ*: $\dfrac{\upsilon_П}{\upsilon_З}=\dfrac{R_П}{R_З}=2.$

16. *Возможное решение.*



Обозначим массу бруска m, а модуль прикладываемой к нему силы F. На брусок при его движении, помимо силы $\vec{F}$, действуют сила тяжести $m\vec{g}$, нормальная составляющая силы реакции опоры $\vec{N}$ и сила сухого трения $\vec{F}_{тр}$ $\left(F_{тр}=\mu N\right)$. Запишем второй закон Ньютона, спроецировав все действующие на брусок силы на направление движения бруска и на нормаль к столу. При равномерном прямолинейном движении бруска получаем:

$F\cdot\cos\alpha=\mu N;\ \ mg=F\cdot\sin\alpha+N$.

Отсюда: $N=mg-F\cdot\sin\alpha$ и $F=\dfrac{\mu mg}{\cos\alpha+\mu\cdot\sin\alpha}$.

При равноускоренном движении бруска система уравнений имеет следующий вид:

$ma=F\cdot\cos\beta-\mu N_1;\ \ mg=F\cdot\sin\beta+N_1$,

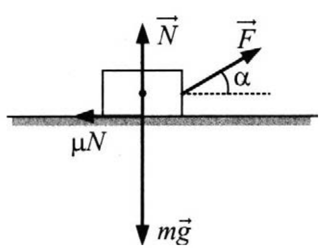
где N_1 – модуль нормальной составляющей силы реакции стола во втором случае. Из этих уравнений имеем: $N_1=mg-F\cdot\sin\beta$ и $a=\dfrac{F(\cos\beta+\mu\cdot\sin\beta)}{m}-\mu g$. Подставляя сюда выражение для F, найдём:

$$a=\frac{\mu g\cdot(\cos\beta+\mu\cdot\sin\beta)}{\cos\alpha+\mu\cdot\sin\alpha}-\mu g=\mu g\cdot\left(\frac{\cos\beta+\mu\cdot\sin\beta}{\cos\alpha+\mu\cdot\sin\alpha}-1\right)=$$

$$=0{,}2\cdot 10\cdot\left(\frac{\cos 45^\circ+0{,}2\cdot\sin 45^\circ}{\cos 60^\circ+0{,}2\cdot\sin 60^\circ}-1\right)\approx 0{,}52\ \text{м/с}^2.$$

Ответ: $a\approx 0{,}52$ м/с^2.

17. *Возможное решение.*



Обозначим массу бруска m, а модуль прикладываемой к нему силы F. На брусок при его движении, помимо силы $\vec{F}$, действуют сила тяжести $m\vec{g}$, нормальная составляющая силы реакции опоры $\vec{N}$ и сила сухого трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ $\left(F_{\text{тр}}=\mu N\right)$. Запишем второй закон Ньютона, спроецировав все действующие на брусок силы на направление движения бруска и на нормаль к столу. При равномерном прямолинейном движении бруска получаем:

$F \cdot \cos\alpha = \mu N$; $mg = F \cdot \sin\alpha + N$.

Отсюда: $N = mg - F \cdot \sin\alpha$ и $F = \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha + \mu \cdot \sin\alpha}$.

При равноускоренном движении бруска система уравнений имеет следующий вид:

$ma = F \cdot \cos\beta - \mu N_1$; $mg = F \cdot \sin\beta + N_1$,

где N_1 — модуль нормальной составляющей силы реакции стола во втором случае. Из этих уравнений имеем: $N_1 = mg - F \cdot \sin\beta$ и $a = \dfrac{F \cdot (\cos\beta + \mu \cdot \sin\beta)}{m} - \mu g$. Подставляя сюда выражение для F, найдём:

$$a = \frac{\mu g \cdot (\cos\beta + \mu \cdot \sin\beta)}{\cos\alpha + \mu \cdot \sin\alpha} - \mu g = \mu g \cdot \left(\frac{\cos\beta + \mu \cdot \sin\beta}{\cos\alpha + \mu \cdot \sin\alpha} - 1 \right) =$$

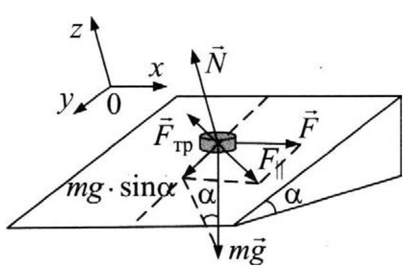
$$= 0{,}3 \cdot 10 \cdot \left(\frac{\cos 30^\circ + 0{,}3 \cdot \sin 30^\circ}{\cos 60^\circ + 0{,}3 \cdot \sin 60^\circ} - 1 \right) \approx 1 \text{м/с}^2.$$

Ответ: $a \approx 1$ м/с^2.

18. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной. Введём декартову систему координат ($0xyz$), как показано на рисунке. На брусок действуют сила трения, сила нормальной реакции опоры и сила тяжести. Поскольку брусок по условию задачи первоначально покоится, он сдвинется в том случае, когда сила трения покоя достигнет своего максимального значения, равного силе трения скольжения:

$$F_{\text{тр}} = \mu N \qquad (1)$$



Поскольку до начала скольжения брусок находился в покое, то согласно второму закону Ньютона

$$\vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = 0. \qquad (2)$$

Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось z:

$$N - mg \cdot \cos\alpha = 0. \qquad (3)$$

Обозначим составляющую равнодействующей двух сил: силы тяжести $m\vec{g}$ и силы $\vec{F}$, направленную вдоль наклонной плоскости, как силу $\vec{F}_{\parallel}$. В случае $\vec{F}_{\min}$ сила $\vec{F}_{\parallel}$ уравновешивает максимальную силу трения покоя. Поэтому сила трения направлена противоположно силе $\vec{F}_{\parallel}$ и, кроме того,

$$F_{\text{тр}} = F_{\parallel}. \qquad (4)$$

Проекция силы тяжести на ось y равна $mg \cdot \sin\alpha$. По теореме Пифагора (см. рис.)

$$F_{\parallel}^2 = (mg \cdot \sin\alpha)^2 + F^2. \qquad (5)$$

Решая систему уравнений (1), (3), (4) и (5), получим:

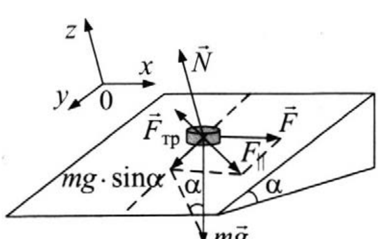
$$F_{\min} = mg \cdot \sqrt{(\mu \cdot \cos\alpha)^2 - (\sin\alpha)^2} =$$
$$= 0{,}3 \cdot 10 \cdot \sqrt{0{,}75 \cdot 0{,}6^2 - 0{,}25} \approx 0{,}4 \text{ Н}.$$

Ответ: $F_{\min} \approx 0{,}4$ Н.

19. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной. Введём декартову систему координат ($0xyz$), как показано на рисунке. На брусок действуют сила трения, сила нормальной реакции опоры и сила тяжести. Поскольку брусок по условию задачи первоначально покоится, это означает, что $\mu > \text{tg}\alpha$. Он сдвинется в том случае, когда сила трения покоя достигнет своего максимального значения, равного силе трения скольжения:

$$F_{\text{тр}} = \mu N \qquad (1)$$



Поскольку до начала скольжения брусок находился в покое, то согласно второму закону Ньютона

$$\vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} = 0. \qquad (2)$$

Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось z:

$$N - mg \cdot \cos\alpha = 0. \qquad (3)$$

Обозначим составляющую равнодействующей двух сил: силы тяжести $m\vec{g}$ и силы $\vec{F}$, направленную вдоль наклонной плоскости, как силу $\vec{F}_{\parallel}$. В случае $\vec{F}_{min}$ сила $\vec{F}_{\parallel}$ уравновешивает максимальную силу трения покоя. Поэтому сила трения направлена противоположно силе $\vec{F}_{\parallel}$ и, кроме того,

$$F_{тр} = \mu N = F_{\parallel}. \qquad (4)$$

Проекция силы тяжести на ось y равна $mg \cdot \sin\alpha$. По теореме Пифагора (см. рис.)

$$F_{\parallel}^2 = (mg \cdot \sin\alpha)^2 + F^2. \qquad (5)$$

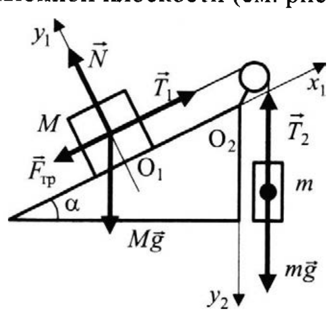
Решая систему уравнений (1), (3), (4) и (5), получим:

$$\mu = \sqrt{\left(\frac{F_{min}}{mg \cdot \cos\alpha}\right)^2 + (\mathrm{tg}\alpha)^2} = \sqrt{\left(\frac{1,7}{0,5 \cdot 10}\right)^2 \cdot \frac{4}{3} + \frac{1}{3}} \approx 0,7.$$

Ответ: $\mu \approx 0,7$.

20. *Возможное решение.*

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



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

$$\left.\begin{array}{ll} O_1x_1: & T_1 - Mg\cdot\sin\alpha - F_{тр} = 0 \\ O_1y_1: & N - Mg\cdot\cos\alpha = 0 \\ O_2y_2: & mg - T_2 = 0 \end{array}\right\}$$

Учтём, что

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

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

Тогда $T = mg$,

$F_{тр} = mg - Mg\cdot\sin\alpha$,

$N = Mg\cos\alpha$,

и мы приходим к неравенству

$mg - Mg\cdot\sin\alpha \le \mu Mg\cdot\cos\alpha$

с решением

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

Таким образом,

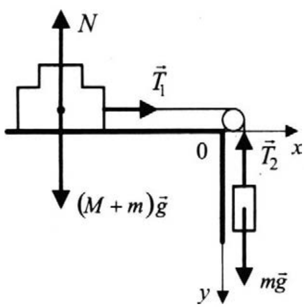
$m_{max} = M\cdot(\sin\alpha + \mu\cdot\cos\alpha) \approx 0{,}76$ кг.

Ответ: $m_{max} \approx 0{,}76$ кг.

21. *Ответ*: $M_{min} = \dfrac{m}{\sin\alpha + \mu\cdot\cos\alpha} \approx 1{,}49$ кг.

22. *Возможное решение.*

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.



Будем считать систему отсчёта, связанную со столом, инерциальной. Запишем второй закон Ньютона для каждого из тел в проекциях на оси $0x$ и $0y$ введённой системы координат:

$$\left.\begin{array}{ll} 0x: & (M+m)\cdot a_1 = T_1 \\ 0y: & ma_2 = mg - T_2 \end{array}\right\}$$

Учтём, что

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

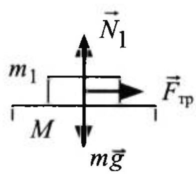
$a_1 = a_2 = a$ (нить нерастяжима), и сложим уравнения.

Получим:

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

Рассмотрим груз m_1 отдельно. Запишем для него второй закон Ньютона в проекциях на оси $0x$ и $0y$ и учтём, что груз m_1 покоится относительно груза M:

$$\left.\begin{array}{l} 0x\!: \quad ma = F_{\text{тр}} \\ 0y\!: \quad mg - N_1 = 0 \\ F_{\text{тр}} \le \mu N_1 \end{array}\right\}$$



Получим:

$ma \le \mu N_1 = \mu mg$, откуда $a = g \cdot \dfrac{m}{M + 2m} \le \mu g$.

Решая неравенство $\dfrac{m}{M + 2m} \le \mu$ относительно m, получим:

$m \le \dfrac{\mu M}{1 - 2\mu} = 0{,}4$ кг.

Ответ: при $m \le 0{,}4$ кг.

23. *Ответ*: $M \ge \dfrac{m \cdot (1 - 2\mu)}{\mu} = 1{,}5$ кг.

24. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной. Тогда при равномерном движении тележки сила сопротивления уравновешена силой натяжения нити: $F_{\text{сопр}} = T$, которая равна по модулю силе тяжести груза: $T = mg$. Отсюда $F_{\text{сопр}} = mg$.

Согласно второму закону Ньютона ускорение груза и тележки после толчка влево соответственно:

$$a_г = \frac{mg - T}{m}, \quad a_т = \frac{T + F_{сопр}}{M}.$$

Нить нерастяжима, следовательно,

$$a_г = a_т \text{ и } \frac{T + F_{сопр}}{M} = \frac{mg - T}{m},$$

откуда: $T = \dfrac{mMg - mF_{сопр}}{m + M}$.

Учитывая, что $F_{сопр} = mg$, получаем: $T = \dfrac{M - m}{M + m} \cdot mg = 0,6mg$.

Тогда $a_т = \dfrac{2mg}{m + M} = \dfrac{2mg}{5m} = 0,4g = 4$ м/с^2.

Ответ: $a_т = 4$ м/с^2.

25. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной. Тогда при равномерном движении тележки сила сопротивления уравновешена силой натяжения нити: $F_{сопр} = T$, которая равна по модулю силе тяжести груза: $T = mg$.

Отсюда $F_{сопр} = mg$.

Согласно второму закону Ньютона ускорение груза и тележки после толчка влево соответственно:

$ma_г = mg - T, \quad Ma_т = T + F_{сопр}$.

Сложим эти уравнения. Нить нерастяжима, следовательно, $a_г = a_т$, а значит, $a_т \cdot (m + M) = mg + F_{сопр} = 2mg$.

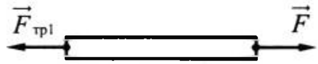
Отсюда: $\dfrac{m + M}{m} = 1 + \dfrac{M}{m} = \dfrac{2g}{a_т}$.

Тогда $\dfrac{M}{m} = \dfrac{2g}{a_т} - 1 = \dfrac{2 \cdot 10}{5} - 1 = 3$.

Ответ: $\dfrac{M}{m} = 3$.

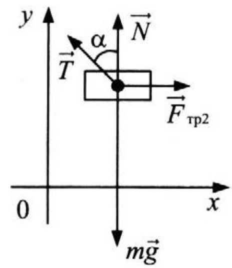
26. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Относительно неё доска по условию движется поступательно с постоянной скоростью. Поэтому, в частности, сумма горизонтальных сил $\vec{F}$ и $\vec{F}_{тр1}$, приложенных к доске, равна нулю. Отсюда получаем: $F = F_{тр1}$.



На рисунке справа показаны силы, приложенные к бруску. По третьему закону Ньютона $\vec{F}_{тр2} = -\vec{F}_{тр1}$, поэтому

$$F_{тр2} = F_{тр1} = F. \qquad (1)$$



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

$$\begin{cases} F_{тр2} - T \cdot \sin\alpha = 0, \\ N + T \cdot \cos\alpha - mg = 0. \end{cases} \qquad (2)$$

Доска движется относительно стержня, поэтому

$$F_{тр2} = \mu N. \qquad (3)$$

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

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

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

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

Отсюда: $N = \dfrac{mg \cdot \operatorname{tg}\alpha}{\mu + \operatorname{tg}\alpha}$,

$$F = F_{тр2} = \mu N = \frac{\mu mg \cdot \operatorname{tg}\alpha}{\mu + \operatorname{tg}\alpha} = \frac{0{,}2 \cdot 1 \cdot 10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{3}}{0{,}2 + \frac{\sqrt{3}}{3}} \approx 1{,}5 \text{ Н}.$$

Ответ: $F \approx 1{,}5$ Н.

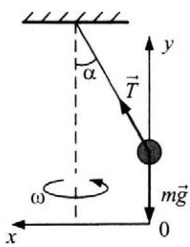
27. *Ответ*: $m \approx 1$кг.

28. *Возможное решение.*

На груз действуют сила натяжения нити $\vec{T}$ и сила тяжести $m\vec{g}$, как указано на рисунке. В инерциальной системе отсчёта, связанной с Землёй, ускорение тела определяется вторым законом Ньютона, что приводит к уравнениям для проекций сил и ускорений на оси $0x$ и $0y$:

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

Здесь $a_x = \dfrac{\upsilon^2}{l \cdot \sin\alpha}$ — центростремительное ускорение.



Поскольку $\alpha = 60°$, то $\cos\alpha = \dfrac{1}{2}$,

и из второго уравнения $T = 2mg$.

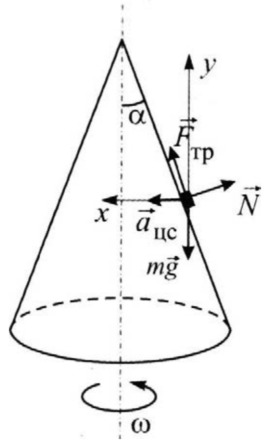
Тогда из первого уравнения получим: $\dfrac{\upsilon^2}{l \cdot \sin\alpha} = 2g \cdot \sin\alpha$,

следовательно, $\upsilon = \sqrt{2gl \cdot \sin^2\alpha} = \sqrt{\dfrac{3}{2} \cdot gl}$.

Подставляя значения физических величин,
получим $\upsilon = 1{,}5$ м/с.
Ответ: $\upsilon = 1{,}5$ м/с.

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

30. *Возможное решение.*
В инерциальной системе отсчёта, связанной с Землёй, 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 $0x$ и $0y$ получим:

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

Поскольку $F_{тр} = F_{тр.покоя}$; $F_{тр.max} = \mu N$, система уравнений принимает вид $\begin{cases} N\cdot(\mu\cdot\sin\alpha - \cos\alpha) = ma_{цс}, \\ N\cdot(\mu\cdot\cos\alpha + \sin\alpha) - mg = 0, \end{cases}$ откуда

$a_{цс} = \dfrac{g\cdot(\mu\cdot\sin\alpha - \cos\alpha)}{\mu\cdot\cos\alpha + \sin\alpha}$. Но $a_{цс} = \omega^2 r = \omega^2 L\cdot\sin\alpha$.

Следовательно,

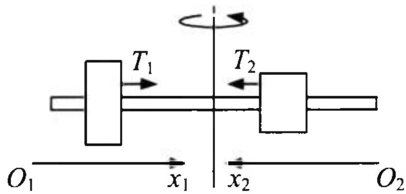
$$L = \frac{a_{цс}}{\omega^2\cdot\sin\alpha} = \frac{g\cdot(\mu\cdot\sin\alpha - \cos\alpha)}{\omega^2\cdot(\sin\alpha + \mu\cdot\cos\alpha)\cdot\sin\alpha} =$$

$$= \frac{g\cdot(\mu - \mathrm{ctg}\alpha)}{\omega^2\cdot(\sin\alpha + \mu\cdot\cos\alpha)}.$$

31. *Ответ*: $\omega = \sqrt{\dfrac{g\cdot(\mu - \mathrm{ctg}\,\alpha)}{L\cdot(\sin\alpha + \mu\cdot\cos\alpha)}}$.

32. *Возможное решение.*

Для каждого груза выберем инерциальную систему отсчёта, ось которой направлена вдоль штанги к оси вращения (см. рис.), и запишем в проекциях второй закон Ньютона для грузов:



$$\begin{cases} m_1 a_1 = T_1; \\ m_2 a_2 = T_2, \end{cases}$$

где $a_1 = \omega^2 R_1$, $a_2 = \omega^2 R_2$ — центростремительные ускорения грузов, $\omega = 2\pi\nu$ — угловая скорость вращения, R_1 и R_2 — радиусы окружностей.

Учитывая, что $T_1 = T_2 = T$ и $R_1 + R_2 = l$, из второго закона Ньютона получим:

$$R_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot l, \quad T_1 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot (2\pi\nu)^2 \cdot l = T.$$

Подставляя значения физических величин, найдём силу натяжения нити:

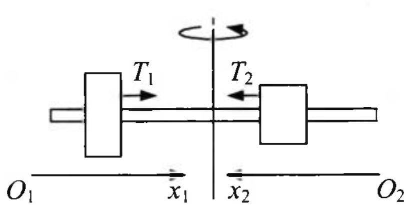
$$T = T_1 = T_2 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot (2\pi\nu)^2 \cdot l =$$

$$= \frac{0,1 \cdot 0,3}{0,4} \cdot \left(6,28 \cdot \frac{600}{60}\right)^2 \cdot 0,4 \approx 118 \text{ Н}.$$

Ответ: $T \approx 118$ Н.

33. *Возможное решение.*

Для каждого груза выберем инерциальную систему отсчёта, ось которой направлена вдоль штанги к оси вращения (см. рис.), и запишем в проекциях второй закон Ньютона для грузов:



$$\begin{cases} m_1 a_1 = T_1; \\ m_2 a_2 = T_2, \end{cases}$$

где $a_1 = \omega^2 R_1$, $a_2 = \omega^2 R_2$ — центростремительные ускорения грузов, $\omega = 2\pi\nu$ — угловая скорость вращения, R_1 и R_2 — радиусы окружностей.

Учитывая, что $T_1 = T_2 = T$ и $R_1 + R_2 = l$, из второго закона Ньютона получим:

$$R_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot l, \quad T_1 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot (2\pi\nu)^2 \cdot l = T.$$

Подставляя значения физических величин, найдём частоту вращения штанги:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{T \cdot (m_1 + m_2)}{m_1 m_2 l}} = \frac{1}{6{,}28} \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot (0{,}1 + 0{,}4)}{0{,}1 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}5}} \approx 8 \text{ об/с}.$$

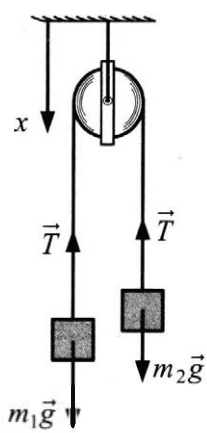
Ответ: $\nu \approx 8$ об/с.

34. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной. Направим ось x декартовой системы координат, как показано на рисунке.

Запишем в первом случае второй закон Ньютона для грузов в проекциях на ось x, а также уравнение кинематической связи:

$$\begin{cases} m_1 a_1 = m_1 g - T \\ m_2 a_2 = m_2 g - T \\ a_1 = -a_2 \end{cases} \qquad (1)$$



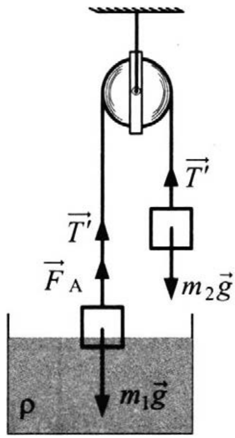
Решая полученную систему уравнений с учётом того, что по условию задачи $a_1 = a$, определим массу второго тела:

$$m_2 = \frac{m_1 \cdot (g - a)}{g + a}. \qquad (2)$$

Во втором случае система находится в равновесии за счёт появления силы Архимеда, следовательно:

$$\begin{cases} m_2 g - T' = 0 \\ m_1 g - T' - F_A = 0 \end{cases} \qquad (3)$$

где $F_A = \rho g V$. (4)



Решая систему уравнений (3) с учётом (2) и (4), получим:

$$a = \frac{\rho g V}{2m_1 - \rho V} = \frac{800 \cdot 10 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0{,}3 - 800 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-4}} = 2{,}5 \text{ м/с}^2.$$

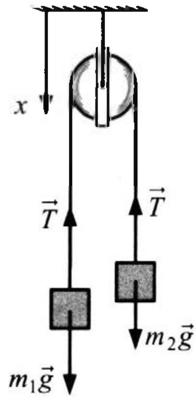
Ответ: $a = 2{,}5$ м/с^2.

35. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, считаем инерциальной. Направим ось x декартовой системы координат, как показано на рисунке.

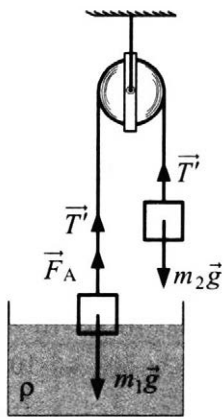
Запишем в первом случае второй закон Ньютона для грузов в проекциях на ось x, а также уравнение кинематической связи:

$$\begin{cases} m_1 a_1 = m_1 g - T \\ m_2 a_2 = m_2 g - T \\ a_1 = -a_2 \end{cases}. \qquad (1)$$



Решая полученную систему уравнений с учётом того, что по условию задачи $a_2 = a$, определим массу первого тела:

$$m_1 = \frac{m_2 \cdot (g + a)}{g - a}. \qquad (2)$$



Во втором случае система находится в равновесии за счёт появления силы Архимеда, следовательно:

$$\begin{cases} m_2 g - T' = 0 \\ m_1 g - T' - F_A = 0 \end{cases} \qquad (3)$$

где $F_A = \rho g V$. (4)

Решая систему уравнений (3) с учётом (2) и (4), получим:

$$a = \frac{\rho g V}{2m_2 + \rho V} = \frac{800 \cdot 10 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0{,}4 + 800 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-4}} = 2 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a = 2$ м/с^2.

36. *Возможное решение.*

Условие равновесия шара в первом случае:

$$F_{A1} = T + mg, \tag{1}$$

где $F_{A1} = \rho V_1 g$ — сила Архимеда, действующая на шар в первом случае, V_1 — объём части шара, погружённой в воду в первом случае (в данной задаче это объём всего шара), m — масса шара и ρ — плотность воды.

Условие равновесия шара во втором случае:

$$F_{A2} = mg, \tag{2}$$

где $F_{A2} = \rho V_2 g$ — сила Архимеда, действующая на шар во втором случае, V_2 — объём части шара, погружённой в воду во втором случае.

Вычтем из уравнения (1) уравнение (2) и, учитывая, что $V_1 - V_2 = Sh$, получим:

$$T = \rho g \cdot (V_1 - V_2) = \rho g S h = 10^3 \cdot 10 \cdot 150 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}06 = 9 \text{ Н}.$$

Ответ: $T = 9$ Н.

37. *Возможное решение.*

Условие равновесия шара в первом случае:

$$F_{A1} = T + mg, \tag{1}$$

где $F_{A1} = \rho V_1 g$ — сила Архимеда, действующая на шар в первом случае, V_1 — объём части шара, погружённой в воду в первом случае (в данной задаче это объём всего шара), m — масса шара и ρ — плотность керосина.

Условие равновесия шара во втором случае:

$$F_{A2} = mg, \tag{2}$$

где $F_{A2} = \rho V_2 g$ — сила Архимеда, действующая на шар во втором случае, V_2 — объём части шара, погружённой в воду во втором случае.

Вычтем из уравнения (1) уравнение (2) и, учитывая, что $V_1 - V_2 = Sh$, получим:

$$T = \rho g \cdot (V_1 - V_2) = \rho g S h.$$

В итоге имеем: $h = \dfrac{T}{\rho g S} = \dfrac{9}{800 \cdot 10 \cdot 150 \cdot 10^{-4}} = 0{,}075 \text{ м} = 7{,}5 \text{ см}.$

Ответ: $h = 7{,}5$ см.

38. *Возможное решение.*

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

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

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

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

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

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

Ответ: $\rho = 700$ кг/м^3.

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

40. *Возможное решение.*

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

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

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

$$mg - T_2 - \rho V g = 0. \qquad (2)$$

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

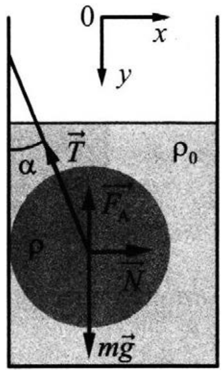
Ответ: $\Delta T = -\rho V g$.

41. *Ответ*: $\rho = \Delta T / Vg$.

42. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, 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 $0x$ и $0y$ второй закон Ньютона запишем в виде:

$$\left.\begin{aligned} &0x: N - T\cdot\sin\alpha = 0; \quad (1)\\ &0y: mg - T\cdot\cos\alpha - F_A = 0. \quad (2)\end{aligned}\right\}$$

Объём шара $V = \dfrac{m}{\rho}$.

Величина выталкивающей силы F_A определяется по закону Архимеда:

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

где ρ_0 — плотность воды.

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

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

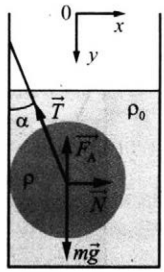
Ответ: $T \approx 42$ Н.

43. *Ответ*: $m = \dfrac{T\cdot\rho\cos\alpha}{g\cdot(\rho - \rho_0)} \approx 4$ кг.

44. *Возможное решение.*

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.



Второй закон Ньютона в проекциях на оси $0xy$ имеет вид:

$0x: N - T \cdot \sin\alpha = 0;$ (1)

$0y: mg - T \cdot \cos\alpha - F_A = 0.$ (2)

Объём шара $V = \dfrac{m}{\rho}$.

Величина выталкивающей силы F_A определяется по закону Архимеда:

$F_A = \rho_0 g V = \dfrac{mg\rho_0}{\rho}.$ (3)

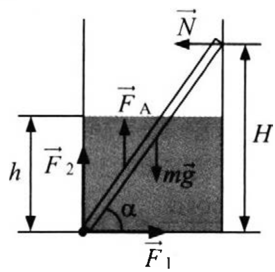
Выполняя математические преобразования с формулами (2) и (3), получим:

$$T = \frac{mg \cdot (\rho - \rho_0)}{\rho \cdot \cos\alpha} = \frac{5 \cdot 10 \cdot (7800 - 800)}{7800 \cdot 0{,}866} \approx 52 \text{ Н}.$$

По третьему закону Ньютона модуль силы, с которым шар действует на нить, $F = T \approx 52$ Н.

Ответ: $F \approx 52$ Н.

45. *Возможное решение.*



Высота конца палочки относительно дна сосуда $H=\sqrt{l^2-4R^2}=\sqrt{0,2^2-4\cdot 0,08^2}=0,12$ м, где l — длина палочки, R — радиус сосуда.

Сила Архимеда $F_{\text{A}}=\rho_{\text{ж}}\cdot\left(\frac{h}{H}V\right)\cdot g=\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho}\cdot\frac{h}{H}mg$,

где V — объём палочки, ρ — её плотность, $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости.

Поскольку палочка покоится, сумма приложенных к ней сил равна нулю. Поэтому можно записать правило моментов так, чтобы исключить из него упоминание неизвестных сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, т. е. записать это правило относительно оси, проходящей перпендикулярно рисунку через нижний конец палочки:

$mgR-F_{\text{A}}\cdot\left(\frac{h}{2}\cdot\text{ctg}\,\alpha\right)-NH=0$, где $\text{ctg}\,\alpha=\frac{2R}{H}$.

Отсюда:

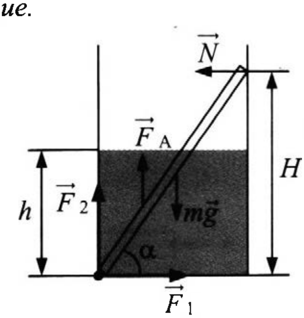
$$N=mg\cdot\frac{R}{H}-F_{\text{A}}\cdot\left(\frac{h}{2H}\cdot\text{ctg}\,\alpha\right)=mg\cdot\frac{R}{H}\cdot\left(1-\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho}\cdot\left(\frac{h}{H}\right)^2\right)=$$

$$=27\cdot 10^{-4}\cdot 10\cdot\frac{0,08}{0,12}\left(1-0,75\cdot\frac{0,08^2}{0,12^2}\right)=12\cdot 10^{-3}\ \text{Н}.$$

По третьему закону Ньютона $N=F$, поэтому $F=12\cdot 10^{-3}$ Н.

Ответ: $F=12\cdot 10^{-3}$ Н.

46. *Возможное решение.*



Высота конца палочки относительно дна сосуда $H=\sqrt{l^2-4R^2}=\sqrt{0,2^2-4\cdot 0,06^2}=0,16$ м, где l — длина палочки, R — радиус сосуда.

Сила Архимеда $F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} \cdot \left(\dfrac{h}{H} V\right) \cdot g = \dfrac{\rho_{\text{ж}}}{\rho} \cdot \dfrac{h}{H} mg,$

где V — объём палочки, ρ — её плотность, $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости.

Поскольку палочка покоится, сумма приложенных к ней сил равна нулю. Поэтому можно записать правило моментов так, чтобы исключить из него упоминание неизвестных сил $\vec{F_1}$ и $\vec{F_2}$, т. е. записать это правило относительно оси, проходящей перпендикулярно рисунку через нижний конец палочки:

$mgR - F_{\text{А}} \cdot \left(\dfrac{h}{2} \cdot \text{ctg}\,\alpha\right) - NH = 0$, где $\text{ctg}\,\alpha = \dfrac{2R}{H}$.

Отсюда:

$$N = mg \cdot \frac{R}{H} - F_{\text{А}} \cdot \left(\frac{h}{2H} \cdot \text{ctg}\,\alpha\right) = mg \cdot \frac{R}{H} \cdot \left(1 - \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho} \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2\right) =$$

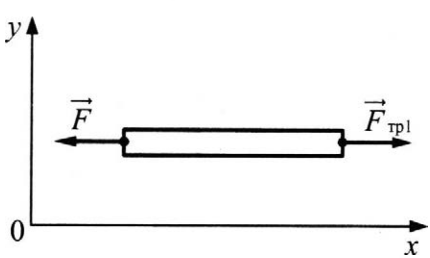
$$= 64 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot \frac{0{,}06}{0{,}16}\left(1 - \frac{900}{2700} \cdot \frac{0{,}12^2}{0{,}16^2}\right) = 0{,}0195 \text{ Н}.$$

По третьему закону Ньютона $N = F$, поэтому $F = 0{,}0195$ Н.

Ответ: $F = 0{,}0195$ Н

47. *Возможное решение.*

В инерциальной системе отсчёта $0xy$, связанной с Землёй, доска движется поступательно с постоянной скоростью. Поэтому сумма проекций на ось $0x$ всех сил, приложенных к доске, равна нулю (рис. *а*)

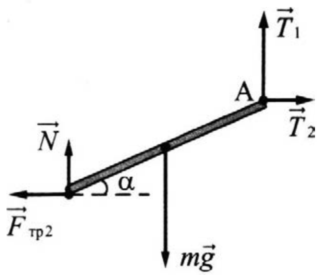


а)

$F_{\text{тр1}} - F = 0.$

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 $\vec{R} = \vec{N} + \vec{F}_{тр2}$ соответственно. По третьему закону Ньютона $\vec{F}_{тр2} = -\vec{F}_{тр1}$, поэтому

$$F_{тр2} = F_{тр1} = F. \quad (1)$$



б)

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

$$mg \cdot \frac{L}{2} \cdot \cos\alpha - F_{тр2} \cdot L\sin\alpha - NL \cdot \cos\alpha = 0. \quad (2)$$

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

$$F_{тр2} = \mu N. \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), получим уравнение

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

позволяющее найти нормальную составляющую силы реакции доски $N = \dfrac{mg}{2 \cdot (1 + \mu \cdot \mathrm{tg}\,\alpha)}$.

Отсюда:

$$F = F_{тр2} = \mu N = \frac{\mu mg}{2 \cdot (1 + \mu \cdot \mathrm{tg}\,\alpha)} = \frac{0{,}2 \cdot 1 \cdot 10}{2 \cdot \left(1 + 0{,}2 \cdot \dfrac{\sqrt{3}}{3}\right)} \approx 0{,}9 \text{ Н}.$$

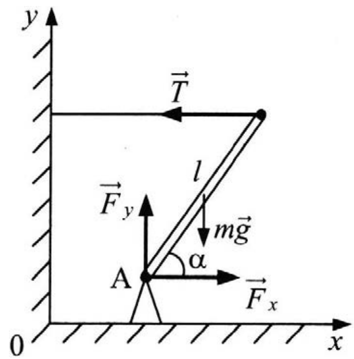
Ответ: $F \approx 0{,}9$ Н.

48. *Ответ*: $m = \dfrac{2F \cdot (1 + \mu \cdot \mathrm{tg}\,\alpha)}{\mu g} \approx 1$ кг.

49. *Возможное решение.*

Изобразим на рисунке силы, действующие на стержень, и систему координат $0xy$.

Здесь $\vec{T}$ — сила натяжения нити, $m\vec{g}$ — сила тяжести, $\vec{F}_x$ и $\vec{F}_y$ — горизонтальная и вертикальная составляющие силы, действующей на стержень со стороны шарнира.



В положении равновесия равны нулю сумма моментов сил, действующих на стержень, относительно оси, проходящей через точку А перпендикулярно плоскости рисунка, сумма горизонтальных и сумма вертикальных составляющих сил, действующих на стержень:

$mg \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos\alpha - T \cdot l \cdot \sin\alpha = 0$, где l — длина стержня. (1)

$F_x - T = 0;$ (2)

$F_y - mg = 0.$ (3)

Модуль силы реакции шарнира $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{T^2 + (mg)^2}$.

Из (1) получим $T = \frac{mg}{2} \cdot \operatorname{ctg}\alpha$. Окончательно

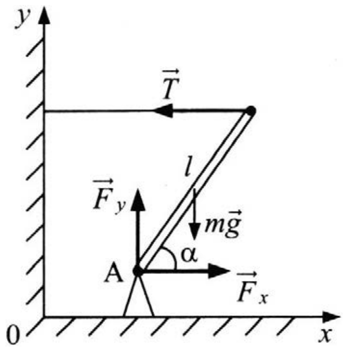
$$F = mg \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\operatorname{ctg}\alpha}{2}\right)^2} = 5 \cdot 10 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} \approx 66 \text{ Н}.$$

Ответ: $F \approx 66$ Н.

50. *Возможное решение.*

Изобразим на рисунке силы, действующие на стержень, и систему координат $0xy$.

Здесь $\vec{T}$ — сила натяжения нити, $m\vec{g}$ — сила тяжести, $\vec{F}_x$ и $\vec{F}_y$ — горизонтальная и вертикальная составляющие силы, действующей на стержень со стороны шарнира.



В положении равновесия равны нулю сумма моментов сил, действующих на стержень, относительно оси, проходящей через точку А перпендикулярно плоскости рисунка, сумма горизонтальных и сумма вертикальных составляющих сил, действующих на стержень:

$mg \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos\alpha - T \cdot l \cdot \sin\alpha = 0$, где l — длина стержня. (1)

$F_x - T = 0;$ (2)

$F_y - mg = 0.$ (3)

Модуль силы реакции шарнира $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{T^2 + (mg)^2}$.

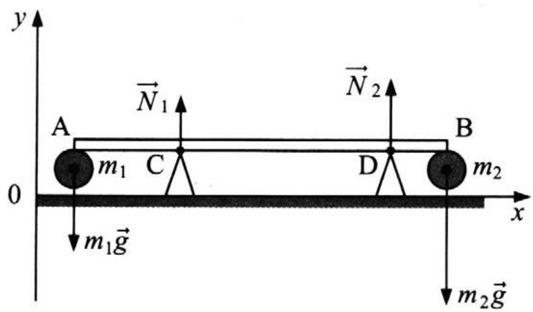
Из (1) получим $T = \frac{mg}{2} \cdot \operatorname{ctg}\alpha$. Окончательно

$$F = mg \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\operatorname{ctg}\alpha}{2}\right)^2} = 2{,}5 \cdot 10 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\sqrt{3}}\right)^2} \approx 26 \text{ Н}.$$

Ответ: $F \approx 26$ Н.

51. *Возможное решение.*

На твёрдое тело, образованное стержнем и двумя шарами, действуют силы тяжести $m_1\vec{g}$ и $m_2\vec{g}$, приложенные к центрам шаров, и силы реакции опор $\vec{N}_1$ и $\vec{N}_2$. По третьему закону Ньютона модули сил реакции равны соответствующим модулям сил давления стержня на опоры, поэтому $N_2 = 2N_1$ (в соответствии с условием задачи).



В инерциальной системе отсчёта $0xy$, связанной с Землёй, условия равновесия твёрдого тела приводят к системе уравнений:

$$\begin{cases} N_1 + N_2 - m_1g - m_2g = 0 \\ N_1x + N_2\cdot(l+x) - m_2gL = 0 \end{cases}$$

— нет поступательного движения тела вдоль оси $0y$;

— нет вращения вокруг оси, проходящей перпендикулярно рисунку через точку A.

Здесь $x = \text{AC} = 0{,}3$ м — плечо силы реакции N_1.

С учётом условия $N_2 = 2N_1$ приведём систему уравнений к виду:

$$\begin{cases} 3N_1 = (m_1+m_2)\cdot g; \\ (3x+2l)\cdot N_1 = m_2gL. \end{cases}$$

Поделив второе уравнение на первое, получим:

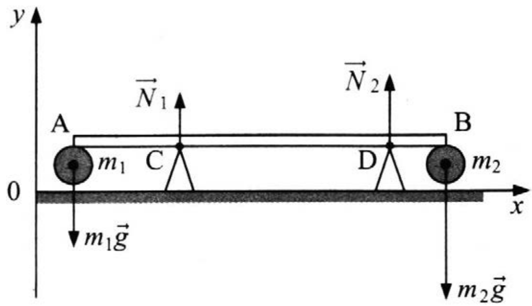
$L\cdot\dfrac{m_2}{m_1+m_2} = x + \dfrac{2}{3}\cdot l$, откуда:

$$L = \left(1+\frac{m_1}{m_2}\right)\cdot\left(x+\frac{2}{3}\cdot l\right) = \left(1+\frac{0{,}4}{0{,}6}\right)\cdot\left(0{,}3+\frac{2}{3}\cdot 0{,}9\right) = 1{,}5 \text{ м}.$$

Ответ: $L = 1{,}5$ м.

52. *Возможное решение.*

На твёрдое тело, образованное стержнем и двумя шарами, действуют силы тяжести $m_1\vec{g}$ и $m_2\vec{g}$, приложенные к центрам шаров, и силы реакции опор $\vec{N}_1$ и $\vec{N}_2$. По третьему закону Ньютона модули сил реакции равны соответствующим модулям сил давления стержня на опоры, поэтому $N_2 = 3N_1$ (в соответствии с условием задачи).



В инерциальной системе отсчёта $0xy$, связанной с Землёй, условия равновесия твёрдого тела приводят к системе уравнений:

$$\begin{cases} N_1 + N_2 - m_1 g - m_2 g = 0 \\ N_1 x + N_2 \cdot (l + x) - m_2 gL = 0 \end{cases}$$

— нет поступательного движения тела вдоль оси $0y$;

— нет вращения вокруг оси, проходящей перпендикулярно рисунку через точку A.

Здесь $x = AC = 0{,}3$ м — плечо силы реакции N_1.

С учётом условия $N_2 = 3N_1$ приведём систему уравнений к виду:

$$\begin{cases} 4N_1 = (m_1 + m_2) \cdot g; \\ (4x + 3l) \cdot N_1 = m_2 gL. \end{cases}$$

Поделив второе уравнение на первое, получим:

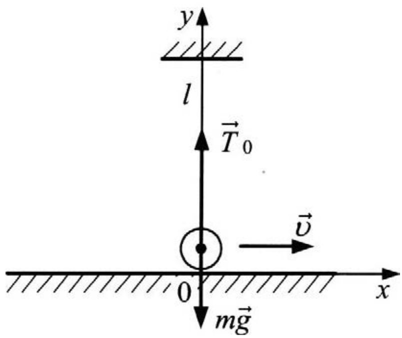
$L \cdot \dfrac{m_2}{m_1 + m_2} = x + \dfrac{3}{4} \cdot l$, откуда:

$$l = \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{Lm_2}{m_1 + m_2} - x \right) = \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{1{,}5 \cdot 0{,}6}{0{,}2 + 0{,}6} - 0{,}3 \right) = 1{,}1 \text{ м}.$$

Ответ: $l = 1{,}1$ м.

53. *Возможное решение.*

Непосредственно перед обрывом нити в момент прохождения положения равновесия шарик движется по окружности радиусом l со скоростью $\vec{\upsilon}$. В этот момент действующие на шарик сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}_0$ направлены по вертикали и вызывают центростремительное ускорение шарика (см. рис.).



Запишем второй закон Ньютона в проекциях на ось $0y$ инерциальной системы отсчёта $0xy$, связанной с Землёй:

$$\frac{m\upsilon^2}{l} = T_0 - mg \text{, откуда: } \upsilon = \sqrt{\left(\frac{T_0}{m} - g\right) \cdot l}.$$

При прохождении положения равновесия нить обрывается, и шарик, движущийся горизонтально со скоростью $\vec{\upsilon}$, абсолютно неупруго сталкивается с покоящимся бруском. При столкновении сохраняется импульс системы «шарик + брусок». В проекциях на ось $0x$ получаем:

$$m\upsilon = (M + m) \cdot u,$$

где u — проекция скорости бруска с шариком после удара на эту ось. Отсюда:

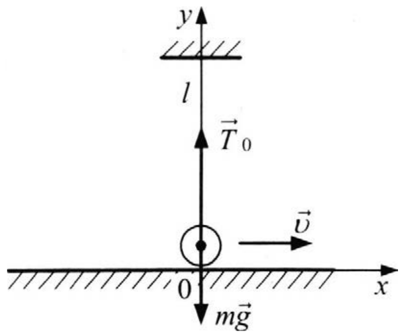
$$u = \frac{m}{M + m} \cdot \upsilon = \frac{m}{M + m} \cdot \sqrt{\left(\frac{T_0}{m} - g\right) \cdot l} =$$

$$= \frac{0{,}1}{1{,}9 + 0{,}1} \cdot \sqrt{\left(\frac{5}{0{,}1} - 10\right) \cdot 0{,}9} = \frac{1}{20} \cdot 6 = 0{,}3 \text{ м / с}.$$

Ответ: $u = 0{,}3$ м/с.

54. *Возможное решение.*

Непосредственно перед обрывом нити в момент прохождения положения равновесия шарик движется по окружности радиусом l со скоростью $\vec{\upsilon}$. В этот момент действующие на шарик сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}_0$ направлены по вертикали и вызывают центростремительное ускорение шарика (см. рис.).



Запишем второй закон Ньютона в проекциях на ось $0y$ инерциальной системы отсчёта $0xy$, связанной с Землёй:

$$\frac{m\upsilon^2}{l} = T_0 - mg \text{, откуда: } \upsilon = \sqrt{\left(\frac{T_0}{m} - g\right) \cdot l}.$$

При прохождении положения равновесия нить обрывается, и шарик, движущийся горизонтально со скоростью $\vec{\upsilon}$, абсолютно неупруго сталкивается с покоящимся бруском. При столкновении сохраняется импульс системы «шарик + брусок». В проекциях на ось $0x$ получаем:

$$m\upsilon = (M + m) \cdot u,$$

где u — проекция скорости бруска с шариком после удара на ось $0x$. Отсюда:

$$u = \frac{m}{M + m} \cdot \upsilon = \frac{m}{M + m} \cdot \sqrt{\left(\frac{T_0}{m} - g\right) \cdot l}$$

и $$M = \frac{\sqrt{ml \cdot (T_0 - mg)}}{u} - m = \frac{\sqrt{0,3 \cdot 1,2(7 - 0,3 \cdot 10)}}{0,5} - 0,3 = 2,1 \text{ кг}.$$

Ответ: $M = 2,1$ кг.

55. *Возможное решение.*

Пусть u_0 — начальная скорость брусков после соударения. Согласно закону сохранения импульса при ударе

$$m\upsilon_0 + 5m \cdot \frac{1}{2} \cdot \upsilon_0 = (5m + m) \cdot u_0 \Rightarrow$$

$\Rightarrow m\upsilon_0 + \frac{5}{2} \cdot m\upsilon_0 = 6mu_0 \Rightarrow u_0 = \frac{7}{12} \cdot \upsilon_0$. По условию после перемещения на расстояние s конечная скорость движения брусков $u = \frac{1}{12} \cdot \upsilon_0$.

Изменение кинетической энергии слипшихся брусков равно работе силы трения:

$$\Delta E_К = A_{тр}, \quad A_{тр} = -F_{тр}s, \quad F_{тр} = \mu \cdot (5m + m) \cdot g.$$

Отсюда: $\frac{(5m + m) \cdot u^2}{2} - \frac{(5m + m) \cdot u_0^2}{2} = -\mu \cdot (5m + m) \cdot gs \Rightarrow$

$$\Rightarrow \left(\frac{7}{12} \cdot \upsilon_0\right)^2 - \left(\frac{1}{12} \cdot \upsilon_0\right)^2 = 2\mu gs \Rightarrow \frac{\upsilon_0^2}{3} = 2\mu gs \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s = \frac{1}{6} \cdot \frac{\upsilon_0^2}{\mu g} = \frac{6^2}{6 \cdot 0{,}3 \cdot 10} = 2 \text{ м}.$$

Ответ: $s = 2$ м.

56. *Возможное решение.*

Пусть u_0 — начальная скорость брусков после соударения. Согласно закону сохранения импульса при ударе

$$5m \cdot \frac{1}{2} \cdot \upsilon_0 - m\upsilon_0 = (5m + m) \cdot u_0 \Rightarrow$$

$\Rightarrow \frac{5}{2} \cdot m\upsilon_0 - m\upsilon_0 = 6mu_0 \Rightarrow u_0 = \frac{1}{4} \cdot \upsilon_0$. По условию после перемещения на расстояние s конечная скорость движения брусков $u = \frac{1}{8} \cdot \upsilon_0$.

Изменение кинетической энергии слипшихся брусков равно работе силы трения:

$$\Delta E_К = A_{тр}, \quad A_{тр} = -F_{тр}s, \quad F_{тр} = \mu \cdot (5m + m) \cdot g.$$

Отсюда: $\frac{(5m + m) \cdot u^2}{2} - \frac{(5m + m) \cdot u_0^2}{2} = -\mu \cdot (5m + m) \cdot gs \Rightarrow$

$$\Rightarrow\left(\frac{1}{4}\cdot\upsilon_0\right)^2-\left(\frac{1}{8}\cdot\upsilon_0\right)^2=2\mu gs\Rightarrow\frac{3\upsilon_0^2}{64}=2\mu gs\Rightarrow$$

$$\Rightarrow\mu=\frac{3}{128}\cdot\frac{\upsilon_0^2}{sg}=\frac{3\cdot 8^2}{128\cdot 0{,}5\cdot 10}=0{,}3.$$

Ответ: $\mu=0{,}3$.

57. *Возможное решение.*

Найдём скорость υ_1, которую брусок приобрёл, пройдя путь x. Используем закон сохранения механической энергии:

$$Mgx\sin\alpha=\frac{M\upsilon_1^2}{2},\ \ \upsilon_1=\sqrt{2gx\cdot\sin\alpha}. \qquad (1)$$

Учитывая абсолютно неупругий удар пули и бруска, запишем закон сохранения импульса для этих тел:

$$m\upsilon-M\upsilon_1=(M+m)\cdot\upsilon_2, \qquad (2)$$

где υ — скорость пули, υ_2 — скорость, которую приобретут тела после неупругого удара.

После удара пули по закону сохранения механической энергии получим для бруска, поднявшегося по наклонной плоскости на расстояние s:

$$\frac{(M+m)\cdot\upsilon_2^2}{2}=(M+m)\cdot gs\cdot\sin\alpha,\ \ \upsilon_2=\sqrt{2gs\cdot\sin\alpha}. \qquad (3)$$

Тогда $\upsilon=\frac{M}{m}\cdot\sqrt{2gx\cdot\sin\alpha}+\left(\frac{M}{m}+1\right)\cdot\sqrt{2gs\cdot\sin\alpha}$,

$\upsilon=50\cdot\sqrt{2\cdot10\cdot1{,}6\cdot0{,}5}+51\cdot\sqrt{2\cdot10\cdot0{,}9\cdot0{,}5}=353$ м/с.

Ответ: $\upsilon=353$ м/с.

58. *Возможное решение.*

Найдём скорость υ_1, которую брусок приобрёл, пройдя путь x. Используем закон сохранения механической энергии:

$$Mgx\cdot\sin\alpha=\frac{M\upsilon_1^2}{2},\ \ \upsilon_1=\sqrt{2gx\cdot\sin\alpha}. \qquad (1)$$

Учитывая абсолютно неупругий удар пули и бруска, запишем закон сохранения импульса для этих тел:

$$m\upsilon-M\upsilon_1=(M+m)\cdot\upsilon_2, \qquad (2)$$

где υ — скорость пули, υ_2 — скорость, которую приобретут тела после неупругого удара.

После удара пули по закону сохранения механической энергии получим для бруска, поднявшегося по наклонной плоскости на расстояние s:

$$\frac{(M+m)\cdot\upsilon_2^2}{2}=(M+m)\cdot gs\cdot\sin\alpha,\ \Rightarrow\ s=\frac{\upsilon_2{}^2}{2g\cdot\sin\alpha}. \qquad (3)$$

Тогда $s=\dfrac{\left(m\upsilon-M\cdot\sqrt{2gx\cdot\sin\alpha}\right)^2}{(M+m)^2\cdot 2g\cdot\sin\alpha}=$

$$=\frac{\left(0{,}008\cdot354-0{,}4\sqrt{2\cdot10\cdot0{,}9\cdot0{,}5}\right)^2}{(0{,}4+0{,}008)^2\cdot2\cdot10\cdot0{,}5}=1{,}6\text{ м}.$$

Ответ: $s = 1{,}6$ м.

59. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения механической энергии имеем два равенства:

$$\frac{kx^2}{2}=\frac{m\upsilon_0^2}{2},\quad \frac{m\upsilon_0^2}{2}+mgh=\frac{m\upsilon_1^2}{2},$$

где υ_0 и υ_1 — скорости летящей пули соответственно на высоте h и непосредственно перед мишенью.

Вся энергия подлетевшей к мишени пули потрачена на механическую работу, так что $\dfrac{m\upsilon_1^2}{2}=A.$

Решая полученную систему уравнений, находим массу пули:

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

Ответ: 5 г.

60. *Ответ*: $k=\dfrac{2\cdot(A-mgh)}{x^2}\approx100$ Н/м.

61. *Возможное решение.*

Изменение механической энергии шайбы равно работе силы трения:

$$\frac{m\upsilon_\text{B}^2}{2}+mgL\cdot\sin\alpha-\frac{m\upsilon_0^2}{2}=-\mu mgL\cdot\cos\alpha. \qquad (1)$$

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

$$\frac{\upsilon_B^2}{R} = g \cdot \cos\alpha, \Rightarrow \upsilon_B^2 = gR \cdot \cos\alpha. \qquad (2)$$

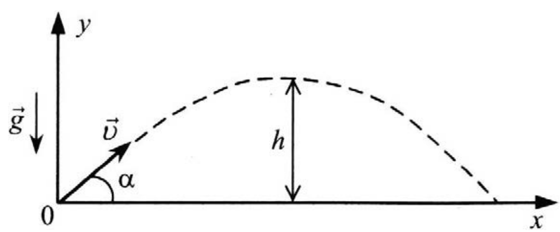
Из (1) и (2) находим внешний радиус трубы R:

$$R = \frac{\upsilon_0^2}{g \cdot \cos\alpha} - 2L \cdot (\mu + \mathrm{tg}\,\alpha) \approx 0{,}3 \text{ м.}$$

Ответ: $R \approx 0{,}3$ м.

62. *Ответ*: $L \approx 1$ м.

63. *Возможное решение.*



Модель гонщика — материальная точка. Считаем полёт свободным падением с начальной скоростью υ, направленной под углом α к горизонту. Дальность полёта при этом $s = \upsilon t \cdot \cos\alpha$, время полёта $t = \dfrac{2\upsilon \cdot \sin\alpha}{g}$.

Следовательно, $s = 2 \cdot \dfrac{\upsilon^2}{g} \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha$. Модуль начальной скорости определяется из закона сохранения энергии: $\dfrac{m\upsilon^2}{2} = mgH$, так что $\dfrac{\upsilon^2}{g} = 2H$. Отсюда: $s = 2H \cdot \sin 2\alpha$. Отсюда: дальность полёта $s_{\max} = H \cdot \sqrt{3}$.

Ответ: $s_{\max} = H \cdot \sqrt{3}$.

64. *Ответ*: $h = H \cdot \sin^2\alpha = \dfrac{3}{4} \cdot H$.

65. *Возможное решение.*

Скорость шайбы υ в точке B найдём из баланса энергии шайбы в точках A и B с учётом потерь на трение: $\frac{m\upsilon^2}{2} = mgH - \Delta E.$

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

Определим время полёта t шайбы из точки B в точку D из соотношения

$y = \upsilon \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 0,$ где y — вертикальная координата шайбы в системе отсчёта с началом координат в точке B. Отсюда: $t = \frac{2\upsilon \cdot \sin\alpha}{g}.$

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

Подставляя в выражение для BD значение υ^2, получаем:

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

Ответ: $\Delta E = 2$ Дж.

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

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

67. *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 подъёма на максимальную высоту H кинетическая энергия системы равна нулю, поэтому её потенциальная энергия в эти моменты времени одинакова:

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

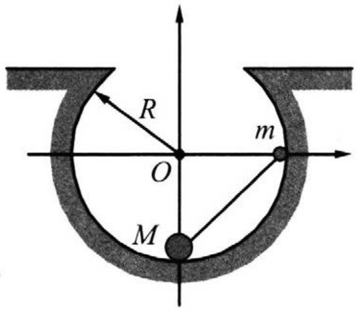


Рис. 1

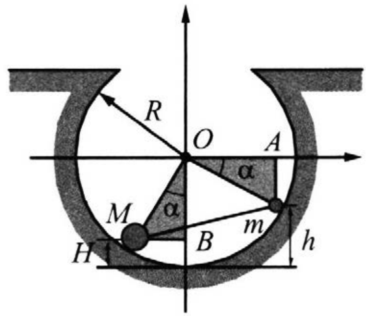


Рис. 2

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 её конечная потенциальная энергия $E_{\text{пот}}^{\text{конечн}} = mgh + MgH$. Закон сохранения энергии приводит к уравнению

$mgR = mgh + MgH$, из которого следует, что $(R-h) = \dfrac{M}{m} \cdot H$.

При движении гантели по поверхности выемки высота подъёма 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: $(R-h)^2 = H \cdot (2R-H)$.

Подставим сюда выражение $(R-h) = \dfrac{M}{m} \cdot H$, полученное из закона сохранения энергии, и получим:

$$R = \frac{H}{2} \cdot \left(1 + \frac{M^2}{m^2}\right).$$

Подставляя сюда значения физических величин, получим:

$R = 6 \cdot (1+4) = 30$ см.

Ответ: $R = 30$ см.

68. *Ответ*: $\dfrac{M}{m} = 2.$

69. *Возможное решение.*

По закону сохранения энергии

$$E_0 = \frac{m\upsilon_0^2}{2} + mgb \cdot \sin\alpha, \qquad (1)$$

где E_0 — энергия сжатой пружины, а υ_0 — скорость шарика в момент вылета из дула ружья.

Согласно формулам кинематики тела, брошенного под углом к горизонту, $L = \upsilon_0 t \cdot \cos\alpha$; $t = \dfrac{2\upsilon_0 \cdot \sin\alpha}{g}$, где t — время полёта. Следовательно, расстояние

$$L = \frac{\upsilon_0^2}{g} \cdot \sin 2\alpha. \qquad (2)$$

Из формулы (2) находим, что $\upsilon_0^2 = \dfrac{gL}{\sin 2\alpha}$, и, подставляя в (1), получаем:

$$b = \frac{1}{mg \cdot \sin\alpha} \cdot \left(E_0 - \frac{mgL}{2 \cdot \sin 2\alpha} \right) =$$

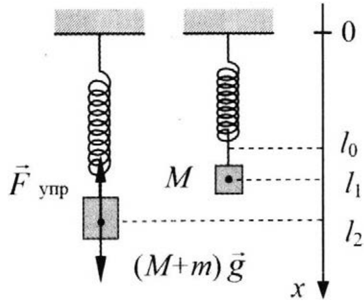
$$= \frac{1}{5 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \sin 30^\circ} \cdot \left(0{,}41 - \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 1}{2 \cdot \sin 60^\circ} \right) \approx 0{,}5 \text{ м}.$$

Ответ: $b \approx 0{,}5$ м.

70. *Ответ*: $E_0 = mg \cdot \left(\dfrac{L}{2 \cdot \sin 2\alpha} + b \cdot \sin\alpha \right) \approx 0{,}5$ Дж.

71. *Возможное решение.*

На систему тел «груз + пружина» действует внешняя сила — сила тяжести, работа которой определяет изменение потенциальной энергии груза в поле силы тяжести. Силы трения в системе отсутствуют, следовательно, их работа равна нулю, и полная механическая энергия системы тел, равная сумме кинетической и потенциальной энергии, сохраняется. Нулевое значение потенциальной энергии в поле тяжести выбираем в начальном состоянии системы, нулевое значение потенциальной энергии деформации пружины — в положении нерастянутой пружины.



В начальном состоянии и на максимальной высоте кинетическая энергия системы «пружина + оставшаяся часть груза» равна нулю. Тогда в соответствии с законом сохранения механической энергии

$$\frac{k\cdot(l_2-l_0)^2}{2}=\frac{k\cdot(l_1-l_0)^2}{2}+Mg\cdot(l_2-l_1), \qquad (1)$$

где M — масса оставшейся части груза, l_0 — длина пружины в нерастянутом состоянии, l_2 — длина пружины в исходном состоянии, l_1 — длина пружины в состоянии максимального подъёма оставшейся части груза.

В исходном состоянии груз находится в равновесии:

$$(M+m)\cdot g=k\cdot(l_2-l_0). \qquad (2)$$

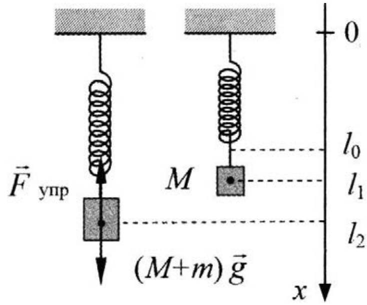
Из (1) и (2) с учётом того, что $l_2-l_1=h$ и $l_1-l_0=(l_2-l_0)-h$,

получим: $m=\dfrac{hk}{2g}=\dfrac{0{,}05\cdot 200}{2\cdot 10}=0{,}5$ кг.

Ответ: $m=0{,}5$ кг.

72. *Возможное решение.*

На систему тел «груз + пружина» действует внешняя сила — сила тяжести, работа которой определяет изменение потенциальной энергии груза в поле силы тяжести. Силы трения в системе отсутствуют, следовательно, их работа равна нулю, и полная механическая энергия системы тел, равная сумме кинетической и потенциальной энергии, сохраняется. Нулевое значение потенциальной энергии в поле тяжести выбираем в начальном состоянии системы, нулевое значение потенциальной энергии деформации пружины — в положении нерастянутой пружины.



В начальном состоянии и на максимальной высоте кинетическая энергия системы «пружина + оставшаяся часть груза» равна нулю. Тогда в соответствии с законом сохранения механической энергии

$$\frac{k\cdot(l_2-l_0)^2}{2}=\frac{k\cdot(l_1-l_0)^2}{2}+Mg\cdot(l_2-l_1), \quad (1)$$

где M — масса оставшейся части груза, l_0 — длина пружины в нерастянутом состоянии, l_2 — длина пружины в исходном состоянии, l_1 — длина пружины в состоянии максимального подъёма оставшейся части груза.

В исходном состоянии груз находится в равновесии:

$$(M+m)\cdot g=k\cdot(l_2-l_0). \quad (2)$$

Из (1) и (2) с учётом того, что $l_2-l_1=h$ и $l_1-l_0=(l_2-l_0)-h$,

получим: $h=\dfrac{2mg}{k}=\dfrac{2\cdot 0{,}45\cdot 10}{150}=0{,}06$ м.

Ответ: $h=0{,}06$ м.

73. *Возможное решение.*

Внешние силы, действующие на систему тел «доска — шайба», направлены по вертикали и в сумме равны нулю. Импульс системы тел «доска — шайба» относительно Земли сохраняется: $m\upsilon_0=(M+m)\cdot\upsilon$,

где υ — скорость шайбы и доски после того, как шайба перестала скользить по доске.

Сила трения, действующая на доску со стороны шайбы, постоянна:

$F_{тр}=\mu mg.$

Под действием этой силы доска движется с ускорением $a = \mu \cdot \frac{m}{M} \cdot g$ и достигает скорости υ за время $\tau = \frac{\upsilon}{a} = \frac{M\upsilon}{\mu m g} = \frac{M\upsilon_0}{\mu g \cdot (M + m)}$.

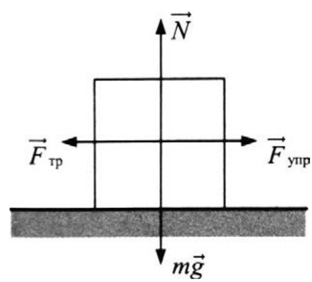
Отсюда: $m = M \cdot \left(\frac{\upsilon_0}{\mu g \tau} - 1 \right) = 2 \cdot \left(\frac{2}{0{,}2 \cdot 10 \cdot 0{,}8} - 1 \right) = 0{,}5$ кг.

Ответ: $m = 0{,}5$ кг.

74. *Ответ*: $M = \dfrac{m}{\dfrac{\upsilon}{\mu g \tau} - 1} = 2{,}5$ кг.

75. *Возможное решение.*

Найдем максимальное сжатие пружины b, при котором груз ещё 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:



$kb = \max F_{\text{тр. покоя}} = \mu N = \mu m g.$

Отсюда: $b = \frac{\mu m g}{k}$.

Изменение механической энергии системы тел «груз + пружина» при переходе из начального состояния в конечное равно работе силы трения скольжения:

$$\frac{kb^2}{2} - \frac{kd^2}{2} = -\mu m g \cdot (d + b).$$

По условию задачи пройденный грузом путь $d + b > 0$. Поэтому, сократив на $(d + b)$, приходим к уравнению:

$$\frac{k}{2} \cdot (b - d) = -\mu m g.$$

Учтя, что $\frac{\mu m g}{k} = b$, получим уравнение относительно d:

$b - d = -2b$ с решением $d = 3b$. Таким образом, $d = \dfrac{3\mu mg}{k}$.

Отсюда: $m = \dfrac{kd}{3\mu g} = 2{,}5$ кг.

Ответ: $m = 2{,}5$ кг.

76. *Ответ*: $k = \dfrac{3\mu mg}{d} = 90$ Н/м.

77. *Возможное решение.*

Брусок сдвигается с места при условии, что сила, действующая на него со стороны нити, станет больше максимальной силы трения покоя:

$T > F_{\text{тр. макс.}}$, $T > \mu Mg$.

Второй закон Ньютона для грузика в нижнем положении:

$$\frac{m\upsilon^2}{L} = T - mg. \qquad (1)$$

Закон сохранения механической энергии:

$$mgh = \frac{m\upsilon^2}{2}, \quad \frac{2mgh}{L} = \frac{m\upsilon^2}{L}. \qquad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получим:

$$T = \frac{m\upsilon^2}{L} + mg = \frac{2mgh}{L} + mg = mg \cdot \left(\frac{2h}{L} + 1\right) > \mu Mg,$$

откуда $m > \dfrac{\mu M}{\dfrac{2h}{L} + 1}$.

Ответ: $m > \dfrac{\mu M}{\dfrac{2h}{L} + 1}$.

Допускается ответ в виде равенства.

78. *Ответ*: $h > \dfrac{L}{2} \cdot \left(\dfrac{\mu M}{m} - 1\right)$.

79. *Возможное решение.*

Закон сохранения механической энергии при ударе:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{MV^2}{2} + \frac{m \cdot (\upsilon')^2}{2}. \qquad (1)$$

Закон сохранения импульса при ударе:

$$m\vec{\upsilon} = m\vec{\upsilon}' + M\vec{V}. \qquad (2)$$

Решая систему уравнений (1) – (2) с учётом условия $M = 3m$, получаем: $\dfrac{W_M}{W_m} = 3$.

Ответ: $\dfrac{W_M}{W_m} = 3$.

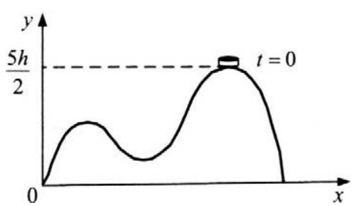
80. *Ответ*: $Q = \dfrac{mMgl}{m+M} = 1$ (Дж).

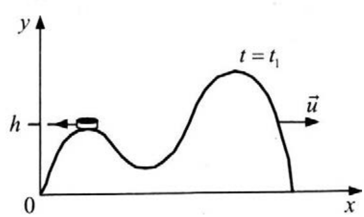
81. *Возможное решение.*

На систему тел «шайба + горка» действуют внешние силы (тяжести и реакции стола), направленные по вертикали, поэтому проекция импульса системы на горизонтальную ось $0x$ системы отсчёта, связанной со столом, сохраняется. В начальный момент $p_x(0) = 0$, а в момент t_1 $p_x(1) = Mu - m\upsilon$.

Из закона сохранения импульса $p_x(0) = p_x(1)$ получим: $Mu - m\upsilon = 0$, 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:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} + mgh = \frac{5}{2} \cdot mgh.$$

Решение системы дает отношение масс $\dfrac{m}{M} = \dfrac{3gh}{\upsilon^2} - 1$.

Ответ: $\dfrac{m}{M} = \dfrac{3gh}{\upsilon^2} - 1$.

82. *Ответ*: $u=\sqrt{\dfrac{gh}{39}}$.

83. *Возможное решение.*

Введём обозначение:

υ_2 — модуль скорости летящего назад осколка снаряда.

Система уравнений для решения задачи:

$$\begin{cases} 2m\upsilon_0 = m\upsilon_1 - m\upsilon_2; \\ m\upsilon_0^2 + \Delta E = \dfrac{m\upsilon_1^2}{2} + \dfrac{m\upsilon_2^2}{2}. \end{cases}$$

Выразим υ_2 из первого уравнения: $\upsilon_2 = \upsilon_1 - 2\upsilon_0$ — и подставим во второе уравнение. Получим:

$$\upsilon_1^2 - 2\upsilon_0\upsilon_1 + \upsilon_0^2 - \frac{\Delta E}{m} = 0.$$

Отсюда следует: $m = \dfrac{\Delta E}{(\upsilon_1 - \upsilon_0)^2}$.

Ответ: $m = \dfrac{\Delta E}{(\upsilon_1 - \upsilon_0)^2}$.

84. *Ответ*: $\Delta E = \dfrac{m\cdot(\upsilon_1 + \upsilon_2)^2}{4}$.

85. *Возможное решение.*

Запишем закон сохранения импульса и закон сохранения энергии для снаряда:

$$2m\cdot\upsilon_0 = m\upsilon_1 - m\upsilon_2; \tag{1}$$

$$2m\cdot\frac{\upsilon_0^2}{2} + \Delta E = \frac{m\upsilon_1^2}{2} + \frac{m\upsilon_2^2}{2}, \tag{2}$$

где

$2m$ — масса снаряда до взрыва;

υ_0 — модуль скорости снаряда до взрыва;

υ_1 — модуль скорости осколка, летящего вперёд;

υ_2 — модуль скорости осколка, летящего назад.

Выразим υ_2 из первого уравнения: $\upsilon_2 = \upsilon_1 - 2\upsilon_0$ и подставим во второе уравнение. Получим: $\upsilon_1^2 - 2\upsilon_0\upsilon_1 + \upsilon_0^2 - \dfrac{\Delta E}{m} = 0$.

Из двух корней этого уравнения $(\upsilon_1)_{1,2} = \upsilon_0 \pm \sqrt{\frac{\Delta E}{m}}$ выбираем бóльший, что соответствует условию задачи $\upsilon_1 > \upsilon_0$.

Отсюда следует: $\upsilon_1 = \upsilon_0 + \sqrt{\frac{\Delta E}{m}} = 300 + \sqrt{\frac{0{,}4 \cdot 10^6}{2{,}5}} = 700$ м/с.

Ответ: $\upsilon_1 = 700$ м/с.

86. *Возможное решение.*

Согласно закону сохранения энергии высоту подъёма снаряда можно рассчитать по формуле: $mgh = \frac{m\upsilon_0^{\ 2}}{2} \Rightarrow h = \frac{\upsilon_0^{\ 2}}{2g}$.

Из закона сохранения энергии определяем начальную скорость первого осколка:

$$\frac{m_1 \cdot (2\upsilon_0)^2}{2} = m_1 gh + \frac{m_1 \upsilon_1^2}{2} \Rightarrow \upsilon_1 = \sqrt{4\upsilon_0^{\ 2} - 2gh} =$$

$$= \sqrt{4\upsilon_0^2 - \upsilon_0^2} = \sqrt{3}\upsilon_0.$$

Начальная скорость второго осколка после разрыва снаряда может быть определена по формуле:

$$y = h + \upsilon_2 t - \frac{gt^2}{2} \Rightarrow 0 = \frac{\upsilon_0^{\ 2}}{2g} + \upsilon_2 t - \frac{gt^2}{2} \Rightarrow \upsilon_2 = \frac{g^2 t^2 - \upsilon_0^{\ 2}}{2gt},$$

где t — время полёта второго осколка.

Согласно закону сохранения импульса

$$m_1 \upsilon_1 = m_2 \upsilon_2; \ \frac{m_1}{m_2} = \frac{\upsilon_2}{\upsilon_1};$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{g^2 t^2 - \upsilon_0^{\ 2}}{2gt\upsilon_0 \cdot \sqrt{3}}; \ \frac{m_1}{m_2} \approx 0{,}43.$$

Ответ: $\frac{m_1}{m_2} \approx 0{,}43$.

87. *Возможное решение.*

При движении мяча вниз его полная механическая энергия сохраняется:

$$mgh_0 + \frac{mV_0^{\ 2}}{2} = \frac{mV_1^{\ 2}}{2}, \qquad (1)$$

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

$$V_2 = V_1 \cdot (1-n). \qquad (2)$$

При движении мяча вверх после удара о землю его полная механическая энергия сохраняется:

$$\frac{mV_2^2}{2} = mgh. \qquad (3)$$

Выполняя математические преобразования с формулами (1) – (3), получим:

$$V_0 = \sqrt{2g \cdot \left(\frac{h}{(1-n)^2} - h_0\right)} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot \left(\frac{2{,}7}{(1-0{,}25)^2} - 3{,}55\right)} = 5 \text{ м/с}.$$

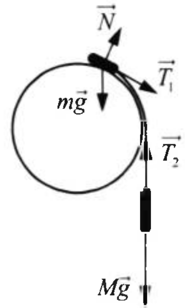
Ответ: $V_0 = 5$ м/с.

88. *Ответ*: с высоты 3,55 м.

89. *Возможное решение.*

Будем считать систему отсчёта, связанную с Землёй, инерциальной.

На рисунке показан момент, когда груз m ещё 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 лёгкая и трения нет, $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$. Сила $\vec{T}_1$ направлена по скорости $\vec{\upsilon}_1$ груза m, а сила $\vec{T}_2$ — противоположно скорости $\vec{\upsilon}_2$ 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 $\vec{N} \perp \vec{\upsilon}_1$.



Таким образом, сумма работ всех непотенциальных сил, действующих на грузы m и M, равна нулю. Поэтому в инерциальной системе отсчёта, связанной с Землёй, механическая энергия системы этих грузов сохраняется.

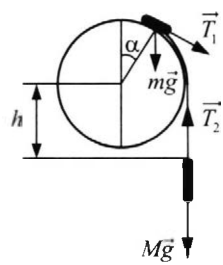
Найдём модуль скорости груза m в точке его отрыва от поверхности сферы. Для этого приравняем друг другу значения механической энергии системы грузов в начальном состоянии и в состоянии, когда груз m находится в точке отрыва (потенциальную энергию грузов в поле тяжести отсчитываем от уровня центра сферы, в начальном состоянии груз M находится ниже центра сферы на величину h_0):

$$mgR - Mgh_0 = \frac{m\upsilon^2}{2} + mgR\cdot\cos\alpha + \frac{M\upsilon^2}{2} + Mg\cdot(-h),$$

где R — радиус трубы, $h - h_0 = R\alpha$.

Отсюда $\upsilon = \sqrt{\dfrac{2gR\cdot\left[m\cdot(1-\cos\alpha)+M\alpha\right]}{m+M}}$.

Груз m в точке отрыва ещё 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.): $m\cdot\dfrac{\upsilon^2}{R} = mg\cdot\cos\alpha$.



Подставляя сюда значение υ, получим:

$$\frac{2}{m+M}\cdot\left[m\cdot(1-\cos\alpha)+M\alpha\right]=\cos\alpha.$$

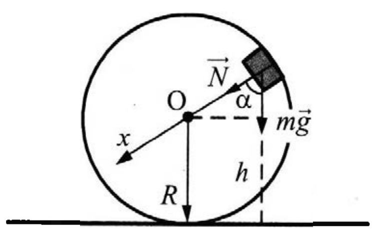
Отсюда $M=\dfrac{m\cdot(3\cdot\cos\alpha-2)}{2\alpha-\cos\alpha}=100\text{ г}\cdot\dfrac{3\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}-2}{2\alpha-\frac{\sqrt{3}}{2}}\approx 330\text{ г}.$

Ответ: $M\approx 330$ г.

90. *Ответ*: $m=\dfrac{M\cdot\left(\frac{\pi}{3}-\cos\alpha\right)}{3\cdot\cos\alpha-2}\approx 0{,}3$ кг.

91. *Возможное решение.*

Пусть скорость кубика на высоте h равна υ, а в нижней точке петли потенциальная энергия кубика равна нулю. Тогда по закону сохранения механической энергии $mgH=\dfrac{m\upsilon^2}{2}+mgh$, откуда $\upsilon^2=2g\cdot(H-h)$.



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): $mg\cdot\cos\alpha+N=\dfrac{m\upsilon^2}{R}$, где $\dfrac{\upsilon^2}{R}=a_n$ — центростремительное ускорение кубика в этой точке.

По третьему закону Ньютона $N=F$.

Из рисунка видно, что $\cos\alpha=\dfrac{h-R}{R}$.

Из выражений п. 2 получим: $R = \frac{m \cdot (gh - \upsilon^2)}{mg - F}$.

Подставив полученное значение υ^2 из п. 1, найдём:

$$R = \frac{mg \cdot (3h - 2H)}{mg - F} = \frac{1 \cdot 10 \cdot (3 \cdot 2{,}5 - 2 \cdot 3)}{1 \cdot 10 - 4} = 2{,}5 \text{ м.}$$

Ответ: $R = 2{,}5$ м.

92. *Ответ*: $H = 3$ м.

93. *Возможное решение.*

Кинетическая энергия вылетевшего снаряда:

$$W = \frac{m\upsilon^2}{2}, \qquad (1)$$

где m — масса снаряда, υ — его скорость.

Сила давления пороховых газов:

$$F = pS, \qquad (2)$$

где p — среднее давление пороховых газов, $S = \frac{\pi d^2}{4}$ — площадь поперечного сечения ствола, d — диаметр ствола.

Работа силы давления пороховых газов:

$$A = Fl, \qquad (3)$$

где l — длина ствола.

Снаряд приобрёл кинетическую энергию за счёт работы силы давления пороховых газов:

$$W = A. \qquad (4)$$

Объединяя соотношения (1) – (4), получаем:

$$p = \frac{2m\upsilon^2}{\pi d^2 l}.$$

Ответ: $p = 4{,}7 \cdot 10^8$ Па.

94. *Ответ*: $\upsilon = d \cdot \sqrt{\frac{\pi l p}{2m}} \approx 1380$ м/с.

95. *Возможное решение.*

Из закона сохранения механической энергии находится скорость шара в нижней точке до попадания пули: $u = \sqrt{2gl \cdot (1 - \cos\alpha)}$.

Из закона сохранения импульса определяется скорость шара в нижней точке после попадания и вылета пули:

$$Mu - m\upsilon_1 = Mu' - m\upsilon_2 \Rightarrow u' = u + \frac{m}{M}\cdot(\upsilon_2 - \upsilon_1).$$

Закон сохранения механической энергии для шара после попадания и вылета пули: $\frac{Mu'^2}{2} = Mgl\cdot(1-\cos\beta)$.

Следовательно, угол отклонения определяется равенством:

$$\cos\beta = 1 - \frac{u'^2}{2gl} = 1 - \frac{1}{2gl}\cdot\left(\sqrt{2gl\cdot(1-\cos\alpha)} + \frac{m}{M}\cdot(\upsilon_2 - \upsilon_1)\right)^2 = \frac{7}{9}$$

или $\beta = \arccos(7/9) \approx 39°$.

Ответ: $\approx 39°$.

96. *Ответ*: $|\Delta\upsilon| = \left|\frac{M}{m}\cdot\left(\sqrt{2gl\cdot(1-\cos\beta)} - \sqrt{2gl\cdot(1-\cos\alpha)}\right)\right| = 100$ м/с.

97. *Возможное решение.*

Шарик m перед ударом имеет скорость υ.

Закон сохранения импульса при ударе:

$$m\upsilon = (m+M)\cdot V, \qquad (1)$$

где V — скорость шаров после удара.

Количество теплоты, выделившееся при ударе,

$$Q = \frac{m\upsilon^2}{2} - W'_{кин} = \frac{m\upsilon^2}{2} - \frac{(m+M)\cdot V^2}{2}. \qquad (2)$$

Решая систему уравнений (1) – (2), получаем: $\frac{Q}{W'_{кин}} = \frac{M}{m} = 2$.

Ответ: $\frac{Q}{W'_{кин}} = 2$.

98. *Возможное решение.*

Закон сохранения импульса при ударе:

$$m\upsilon = (m+M)\cdot V, \qquad (1)$$

где υ — скорость левого шарика перед ударом, V — скорость шаров после неупругого удара.

Количество теплоты, выделившееся при ударе:

$$Q = \frac{m\upsilon^2}{2} - \frac{(m+M)\cdot V^2}{2}. \qquad (2)$$

По условию задачи

$$Q=\frac{m\upsilon^2}{4}. \qquad (3)$$

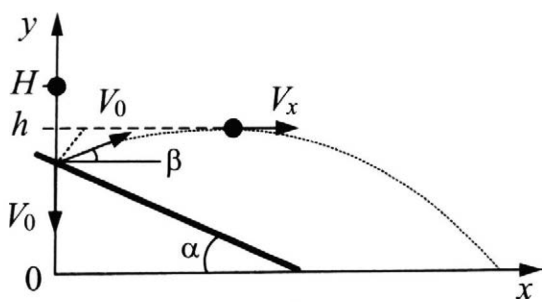
Решая систему уравнений (1) – (3), получаем: $\upsilon = 2V$; $m = M$.

Следовательно, $\frac{M}{m}=1$.

Ответ: $\frac{M}{m}=1$.

99. *Возможное решение.*

Перед столкновением с плитой скорость шарика направлена вертикально вниз и равна $V_0 = gt$, а после упругого соударения с плитой её 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.)



При движении после соударения горизонтальная составляющая скорости не изменяется, так как шарик находится в свободном падении, а сила тяжести направлена вертикально, т. е. $\upsilon_x = V_0 \cdot \cos\beta = \text{const}$.

Так как при упругом ударе энергия шарика сохраняется, его механическая энергия в течение всего времени движения остаётся постоянной. В начальный момент времени $E_0 = mgH$, а в момент наибольшего подъёма после соударения с плитой $E_1 = mgh + \frac{m\upsilon_x^2}{2}$. Сохранение энергии $E_1 = E_0$ приводит к уравнению $mgh + \frac{m\upsilon_x^2}{2} = mgH$.

Учитывая условие $\upsilon_x = V_0 \cdot \cos\beta = gt \cdot \cos\beta = gt \cdot \sin 2\alpha$, получим отсюда высоту падения $H = h + \dfrac{gt^2 \cdot \sin^2 2\alpha}{2}$.

Подставляя сюда значения величин, получаем ответ: $H = 2$ м.
Ответ: 2 м.

100. *Ответ*: $h = H - \dfrac{g \cdot (t \cdot \sin 2\alpha)^2}{2} = 1{,}65$ м.

101. *Возможное решение.*
В соответствии с законом сохранения импульса
$M\upsilon = (m + M) \cdot V.$ (1)
Время полёта тела массой $(m + M)$, падающего с высоты h,
$t = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}.$ (2)
За это время тело массой $(m + M)$ сместится по горизонтали на расстояние
$L = Vt.$ (3)
Решая систему уравнений (1) – (3), будем иметь:

$$M = \frac{m}{\left(\dfrac{\upsilon}{L} \cdot \sqrt{\dfrac{2h}{g}} - 1\right)},$$

откуда получаем искомый результат:

$$M > \frac{m}{\left(\dfrac{\upsilon}{L} \cdot \sqrt{\dfrac{2h}{g}} - 1\right)} \approx 200 \text{ г}.$$

Ответ: $M > 200$ г.

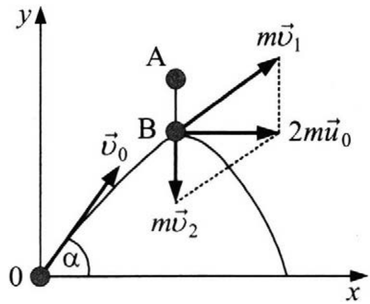
102. *Ответ*: $m < M \cdot \left(\dfrac{\upsilon}{L} \cdot \sqrt{\dfrac{2h}{g}} - 1\right) = 150$ г.

103. *Возможное решение.*
Первый шарик начинает движение из начала координат, а второй — из точки А. До и после столкновения (в точке В) шарики свободно падают. Поэтому до столкновения для первого шарика

$$y_1(t) = \upsilon_{0y}t - \frac{gt^2}{2} = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2},$$

$$\upsilon_{1y}(t) = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha - gt,$$

а для второго шарика $\upsilon_{2y}(t) = -gt$.



Шарики сталкиваются в момент t_1, при этом импульс системы двух шариков сохраняется: $m\vec{\upsilon}_1 + m\vec{\upsilon}_2 = 2m\vec{u}_0$, а скорость $\vec{u}_0$ шариков после удара согласно условию горизонтальна. Поэтому $\upsilon_{1y}(t_1) + \upsilon_{2y}(t_1) = 0$, или $(\upsilon_0 \cdot \sin\alpha - gt_1) + (-gt_1) = 0$, откуда $t_1 = \frac{\upsilon_0 \cdot \sin\alpha}{2g}$.

Кроме того, $\upsilon_{1x}(t_1) = 2u_0(t_1) \Rightarrow u_0 = \frac{\upsilon_0 \cdot \cos\alpha}{2}$.

Столкновение шариков происходит на высоте

$$h = y_1(t_1) = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha \cdot t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = \frac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\alpha}{2g} - \frac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\alpha}{8g} =$$

$$= \frac{3}{8} \cdot \frac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\alpha}{g}.$$

Поскольку скорость $\vec{u}_0$ шариков после удара горизонтальна, интервал времени t_2 от столкновения шариков до их падения на Землю находится из условия $h = \frac{gt_2^2}{2}$,

откуда $t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{3} \cdot \frac{\upsilon_0 \cdot \sin\alpha}{2g}$.

Дальность полёта шариков после соударения

$$s = u_0 t_2 = \frac{\upsilon_0 \cdot \cos\alpha}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}\upsilon_0 \cdot \sin\alpha}{2g} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot \upsilon_0{}^2 \cdot \sin 2\alpha}{8g} = \frac{\sqrt{3} \cdot 16^2 \cdot \sqrt{3}}{8 \cdot 10 \cdot 2} = 4{,}8 \text{ м.}$$

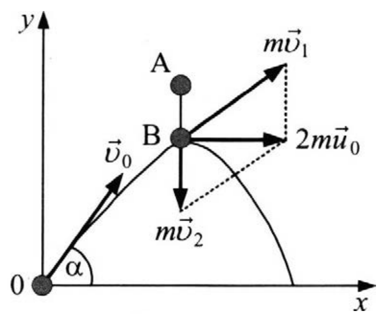
Ответ: $s = 4{,}8$ м.

104. *Возможное решение.*

Первый шарик начинает движение из начала координат, а второй — из точки A. До и после столкновения (в точке B) шарики свободно падают. Поэтому до столкновения для первого шарика

$$y_1(t) = \upsilon_{0y} t - \frac{gt^2}{2} = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}, \quad \upsilon_{1y}(t) = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha - gt,$$

а для второго шарика $\upsilon_{2y}(t) = -gt$.



Шарики сталкиваются в момент t_1, при этом импульс системы двух шариков сохраняется: $m\vec{\upsilon}_1 + m\vec{\upsilon}_2 = 2m\vec{u}_0$, а скорость $\vec{u}_0$ шариков после удара согласно условию горизонтальна. Поэтому $\upsilon_{1y}(t_1) + \upsilon_{2y}(t_1) = 0$, или $(\upsilon_0 \cdot \sin\alpha - gt_1) + (-gt_1) = 0$, откуда $t_1 = \dfrac{\upsilon_0 \cdot \sin\alpha}{2g}$.

Столкновение шариков происходит на высоте

$$h = y_1(t_1) = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha \cdot t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = \frac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\alpha}{2g} - \frac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\alpha}{8g} =$$

$$= \frac{3}{8} \cdot \frac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\alpha}{g}.$$

Поскольку скорость $\vec{u}_0$ шариков после удара горизонтальна, интервал времени t_2 от столкновения шариков до их падения на землю находится из условия

$$h = \frac{gt_2^2}{2},$$

откуда $t_2 = \sqrt{\dfrac{2h}{g}} = \sqrt{3} \cdot \dfrac{\upsilon_0 \cdot \sin\alpha}{2g}$.

Шарики упадут на Землю в момент

$$\tau = t_1 + t_2 = \frac{\upsilon_0 \cdot \sin\alpha}{2g} \cdot \left(1 + \sqrt{3}\right) = \frac{20 \cdot 0{,}5}{2 \cdot 10} \cdot \left(1 + \sqrt{3}\right) \approx 1{,}4 \text{ с}.$$

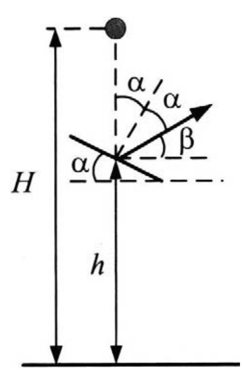
Ответ: $\tau \approx 1{,}4$ с.

105. *Возможное решение.*

Модуль скорости шарика υ_0 непосредственно перед ударом о доску можно найти из закона сохранения механической энергии: $mg \cdot (H - h) = \dfrac{m\upsilon_0^2}{2}$.

После абсолютно упругого удара о доску модуль скорости шарика не изменится, а направление изменится. При таком ударе угол падения равен углу отражения, и скорость шарика после удара направлена под углом $\beta = 90^\circ - 2\alpha$ к горизонту (см. рис.). Максимальная высота подъёма шарика относительно точки удара о доску

$$\Delta h = \frac{0 - \upsilon_{0y}^2}{-2g} = \frac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\beta}{2g}.$$



Относительно поверхности Земли шарик поднимется на высоту

$$h_1 = h + \frac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\beta}{2g} = h + (H - h) \cdot \sin^2(90 - 2\alpha) =$$
$$= h + (H - h) \cdot \cos^2 2\alpha.$$

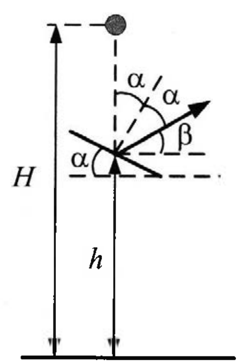
Откуда получим: $\cos 2\alpha = \sqrt{\dfrac{h_1 - h}{H - h}} = \sqrt{\dfrac{0,5}{2}} = 0,5.$

Так, $2\alpha = 60°$, а $\alpha = 30°$.
Ответ: $\alpha = 30°$.

106. *Возможное решение.*

Модуль скорости шарика υ_0 непосредственно перед ударом о доску можно найти из закона сохранения механической энергии: $mg \cdot (H - h) = \dfrac{m\upsilon_0^2}{2}$.

После абсолютно упругого удара о доску модуль скорости шарика не изменится, а направление изменится. При таком ударе угол падения равен углу отражения, и скорость шарика после удара направлена под углом $\beta = 90° - 2\alpha$ к горизонту (см. рис.). Максимальная высота подъёма шарика относительно точки удара о доску $\Delta h = \dfrac{0 - \upsilon_{0y}^2}{-2g} = \dfrac{\upsilon_0^2 \cdot \sin^2\beta}{2g}$.



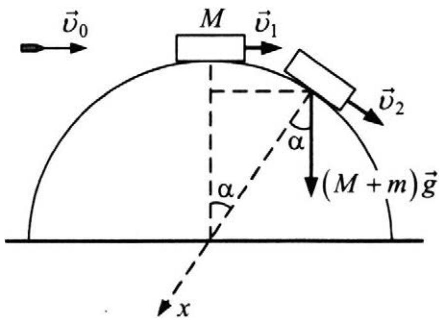
Относительно поверхности Земли шарик поднимется на высоту $h_1 = h + \dfrac{\upsilon_0^2}{2g} \cdot \sin^2\beta = h + \left(H - h\right) \cdot \sin^2\beta.$

Откуда получим: $\sin\beta = \sqrt{\dfrac{h_1 - h}{H - h}} = \sqrt{\dfrac{2{,}5 - 2}{4 - 2}} = \sqrt{\dfrac{0{,}5}{2}} = 0{,}5$,

то есть $\beta = 30°$.

Ответ: $\beta = 30°$.

107. *Возможное решение.*



Закон сохранения импульса связывает скорость пули перед ударом со скоростью составного тела массой $m + M$ сразу после удара:

$m\upsilon_0 = (m + M)\cdot\upsilon_1$,

а закон сохранения механической энергии — скорость составного тела сразу после удара с его скоростью в момент отрыва от полусферы:

$$\frac{(m+M)\cdot\upsilon_1^2}{2} + (m+M)\cdot gR = \frac{(m+M)\cdot\upsilon_2^2}{2} + (m+M)\cdot gR\cdot\cos\alpha,$$

где υ_2 — скорость составного тела в момент отрыва, $h = R\cdot\cos\alpha$ — высота точки отрыва (см. рис.). В момент отрыва обращается в нуль сила реакции опоры $\vec{N}$, и поэтому второй закон Ньютона в проекции на ось x (направленную в центр полусферы) в этот момент принимает вид:

$$(m+M)\cdot g\cdot\cos\alpha = \frac{(m+M)\cdot\upsilon_2^2}{R}.$$

Объединяя второе и третье уравнения, получим:

$$\frac{\upsilon_1^2}{2} + gR = \frac{3}{2}\cdot gh.$$

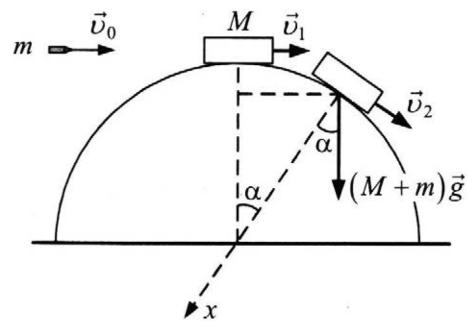
Из первого уравнения следует, что

$$\upsilon_1 = \frac{m\upsilon_0}{M+m} = \frac{0,01 \cdot 160}{0,79+0,01} = 2 \text{ м/с}.$$

Тогда $R = \frac{3}{2} \cdot h - \frac{\upsilon_1^2}{2g} = \frac{3}{2} \cdot 0,8 - \frac{4}{2 \cdot 10} = 1$ м.

Ответ: $R = 1$ м.

108. *Возможное решение.*



Закон сохранения импульса связывает скорость пули перед ударом со скоростью составного тела массой $m + M$ сразу после удара: $m\upsilon_0 = (m+M) \cdot \upsilon_1$,

а закон сохранения механической энергии — скорость составного тела сразу после удара с его скоростью в момент отрыва от полусферы:

$$\frac{(m+M) \cdot \upsilon_1^2}{2} + (m+M) \cdot gR = \frac{(m+M) \cdot \upsilon_2^2}{2} + (m+M) \cdot gR \cdot \cos\alpha,$$

где υ_2 — скорость составного тела в момент отрыва, $h = R \cdot \cos\alpha$ — высота точки отрыва (см. рис.). В момент отрыва обращается в нуль сила реакции опоры $\vec{N}$, и поэтому второй закон Ньютона в проекции на ось x (направленную в центр полусферы) в этот момент принимает вид:

$$(m+M) \cdot g \cdot \cos\alpha = \frac{(m+M) \cdot \upsilon_2^2}{R}.$$

Объединяя второе и третье уравнения, получим:

$$\frac{\upsilon_1^2}{2} + gR = \frac{3}{2} \cdot gh.$$

Из первого уравнения следует, что

$$\upsilon_1 = \frac{m\upsilon_0}{M+m} = \frac{0{,}01\cdot 90}{0{,}89+0{,}01} = 1 \text{ м/с}.$$

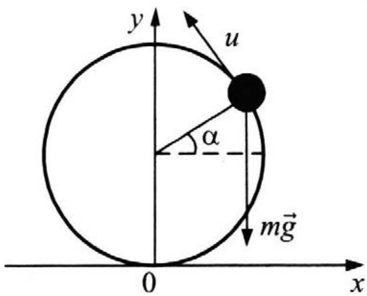
Тогда $h = \dfrac{2Rg+\upsilon_1^2}{3g} = \dfrac{2\cdot 0{,}7\cdot 10+1}{3\cdot 10} = 0{,}5$ м.

Ответ: $h = 1$ м.

109. *Возможное решение.*

В момент отрыва от кольца на высоте h шайба имела скорость u, определяемую из закона сохранения энергии:

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



При этой скорости её центростремительное ускорение $a_{цс} = \dfrac{u^2}{R}$ в инерциальной системе отсчёта $0xy$, связанной с Землёй, в соответствии со вторым законом Ньютона обеспечивалось составляющей силы тяжести, действующей на шайбу и направленной к центру кольца:

$$ma_{цс} = mg\cdot\sin\alpha.$$

Учитывая, что $\sin\alpha = \dfrac{h-R}{R}$, исключим из системы уравнений $a_{цс}$ и u: $\upsilon^2 = g\cdot(h-R)+2gh$.

Отсюда: $h = \dfrac{R}{3} + \dfrac{\upsilon^2}{3g} \approx 0{,}18$ м.

Ответ: $h = 0{,}18$ м.

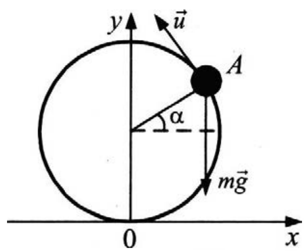
110. *Ответ*: $\upsilon = \sqrt{g\cdot(3h-R)} = 4$ м/с.

111. *Возможное решение.*

В момент отрыва от кольца на высоте h шайба имела скорость u, определяемую из закона сохранения механической энергии:

$$E_{\text{мех}} = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{mu^2}{2} + mgh.$$

При этой скорости её центростремительное ускорение в инерциальной системе отсчёта $0xy$, связанной с Землёй, $a_{\text{цс}} = \frac{u^2}{R}$.



В момент отрыва шайбы сила нормальной реакции опоры равна нулю. Поэтому в соответствии со вторым законом Ньютона центростремительное ускорение обеспечивалось составляющей силы тяжести, действующей на шайбу в направлении к центру кольца:

$$ma_{\text{цс}} = mg\cdot\sin\alpha.$$

Учитывая, что $\sin\alpha = \frac{h-R}{R}$, исключим из системы уравнений $a_{\text{цс}}$ и u:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{mg}{2}\cdot(h-R) + mgh.$$

Отсюда: $E_{\text{кин}} = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{mg\cdot(3h-R)}{2}$.

Подставляя значения физических величин, получим:

$$E_{\text{кин}} = \frac{0{,}04\cdot10\cdot(3\cdot0{,}4-0{,}3)}{2} = 0{,}18 \text{ Дж}.$$

Ответ: $E_{\text{кин}} = 0{,}18$ Дж.

112. *Возможное решение.*

Закон сохранения импульса для системы «аппарат + газ, выброшенный за интервал времени Δt»:

$$0 = M \cdot \Delta\upsilon' - \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot \upsilon \cdot \Delta t;$$

формула для ускорения: $a = \dfrac{\Delta\upsilon'}{\Delta t}$;

формула для скорости движения аппарата: $\upsilon_1 = at$.

Выполнив математические преобразования, получим ответ в общем виде: $\upsilon_1 = \dfrac{\Delta m}{\Delta t} \cdot \dfrac{\upsilon t}{M}$.

Ответ: 12 м/с.

113. *Ответ*: $V = \sqrt{\dfrac{2S\upsilon \cdot \dfrac{\Delta m}{\Delta t}}{M}} = 12$ м/с.

114. *Возможное решение.*

В момент пережигания нити на стержень с грузами вниз действуют силы тяжести m_1g, m_2g и пружина с силой $F = k\,(l_0 - l)$.

Движение стержня с грузами в инерциальной системе отсчёта под действием приложенных сил происходит с ускорением a, определяемым вторым законом Ньютона:

$(m_1 + m_2) \cdot a = (m_1 + m_2) \cdot g + F$,

откуда $a = g + k \cdot \dfrac{l_0 - l}{m_1 + m_2}$.

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

$$T = m_1 \cdot (a - g) = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot k \cdot (l_0 - l).$$

Подставляя значения масс, жёсткости и удлинения пружины, получим: $T = \dfrac{0{,}1}{0{,}1 + 0{,}2} \cdot 30 \cdot (0{,}2 - 0{,}1) = 1\ (\text{Н})$.

Ответ: 1 Н.

115. *Возможное решение.*

В момент пережигания нити на стержень с грузами вниз действуют силы тяжести m_1g, m_2g и пружина с силой $F = k \cdot (l_0 - l)$. Движение системы в инерциальной системе отсчёта под действием приложенных сил происходит с ускорением a, определяемым вторым законом Ньютона: $(m_1 + m_2) \cdot a = (m_1 + m_2) \cdot g + F$,

откуда $a = g + k \cdot \dfrac{l_0 - l}{m_1 + m_2}$.

Движение груза m_2 с этим ускорением происходит под действием приложенных к нему сил — силы тяжести m_2g, силы упругости пружины $F = k \cdot (l_0 - l)$ и силы реакции стержня T и подчиняется второму закону Ньютона: $m_2a = m_2g + F - T$.

Из этого уравнения определяется реакция стержня

$$T = m_2 \cdot (g - a) + F = -\frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot k \cdot (l_0 - l) + k \cdot (l_0 - l) =$$

$$= \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot k \cdot (l_0 - l).$$

Подставляя значения масс, жёсткости и удлинения пружины, получим: $T = \dfrac{0{,}1}{0{,}1 + 0{,}2} \cdot 30 \cdot (0{,}2 - 0{,}1) = 1\ (\text{Н})$.

Ответ: 1 Н.

116. *Возможное решение.*

Закон сохранения импульса связывает скорость пули υ_0 перед ударом со скоростью υ_1 составного тела массой $m + M$ сразу после удара:

$m\upsilon_0 = (m + M) \cdot \upsilon_1$,

а закон сохранения механической энергии — скорость составного тела сразу после удара с его скоростью υ_2 в верхней точке: $\dfrac{(m + M) \cdot \upsilon_1^2}{2} = \dfrac{(m + M) \cdot \upsilon_2^2}{2} + (m + M) \cdot g \cdot 2l$.

Условие минимальности υ_0 означает, что шар совершает полный оборот в вертикальной плоскости, но при этом натяжение нити в верхней точке окружности (и только в ней!) обращается в нуль. Второй закон Ньютона в проекциях на радиальное направление в этот момент принимает вид:

$$(m+M)\cdot a_{\text{ц}}=(m+M)\cdot g=\frac{(m+M)\cdot \upsilon_2^2}{l}.$$

Выразив отсюда υ_2^2 и подставив этот результат в закон сохранения энергии, получим:

$\upsilon_1=\sqrt{5gl}.$

Подставив выражение для υ_1 в закон сохранения импульса, получим:

$$\upsilon_0=\left(1+\frac{M}{m}\right)\cdot\sqrt{5gl}=\left(1+\frac{0,14}{0,01}\right)\cdot\sqrt{5\cdot 10\cdot 0,72}=90 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\upsilon_0=90$ м/с.

117. *Возможное решение.*

Закон сохранения импульса связывает скорость пули υ_0 перед ударом со скоростью υ_1 составного тела массой $m + M$ сразу после удара:

$m\upsilon_0=(m+M)\cdot\upsilon_1,$

а закон сохранения механической энергии — скорость составного тела сразу после удара с его скоростью υ_2 в верхней точке: $\dfrac{(m+M)\cdot\upsilon_1^2}{2}=\dfrac{(m+M)\cdot\upsilon_2^2}{2}+(m+M)\cdot g\cdot 2l.$

Условие υ_0 максимальности длины нити l означает, что шар совершает полный оборот в вертикальной плоскости, но при этом натяжение нити в верхней точке окружности (и только в ней!) обращается в нуль. Второй закон Ньютона в проекциях на радиальное направление в этот момент принимает вид:

$$(m+M)\cdot a_{\text{ц}}=(m+M)\cdot g=\frac{(m+M)\cdot \upsilon_2^2}{l}.$$

Выразив отсюда υ_2^2 и подставив этот результат в закон сохранения энергии, получим:

$\upsilon_1=\sqrt{5gl}.$

Подставив выражение для υ_1 в закон сохранения импульса, получим: $\upsilon_0=\left(1+\dfrac{M}{m}\right)\cdot\sqrt{5gl}.$

Откуда $$l=\frac{\upsilon_0{}^2}{5g\cdot\left(1+\dfrac{M}{m}\right)^2}=\frac{150^2}{5\cdot10\cdot\left(1+\dfrac{0{,}29}{0{,}01}\right)^2}=0{,}5\ \text{м}.$$

Ответ: $l = 0{,}5$ м.

118. *Возможное решение.*

Применяем закон сохранения импульса для системы «снаряд–ствол пушки» во время выстрела, пока пружина ещё не сжата и систему можно считать замкнутой:

$$0 = MV - m\upsilon, \qquad (1)$$

здесь M и V — соответственно масса ствола и его скорость, а m и υ — соответственно масса и скорость снаряда.

Заданное в условии соотношение для преобразования механической энергии в системе «ствол пушки–пружина» можно записать так:

$$\eta\cdot\frac{MV^2}{2}=\frac{k\cdot(\Delta x)^2}{2}. \qquad (2)$$

Время t полёта снаряда, вылетевшего горизонтально с высоты h, определяется соотношением

$$h=\frac{gt^2}{2}, \qquad (3)$$

дальность полёта

$$s=\upsilon t. \qquad (4)$$

Таким образом, из (1) – (4) получаем:

$$M=\frac{\eta g}{2kh}\cdot\left(\frac{sm}{\Delta x}\right)^2=\frac{\frac{1}{8}\cdot10}{2\cdot8\cdot10^3\cdot5}\cdot\left(\frac{800\cdot8}{1}\right)^2=640\ \text{кг}.$$

Ответ: $M = 640$ кг.

119. *Возможное решение.*

Применяем закон сохранения импульса для системы «снаряд–ствол пушки» во время выстрела, пока пружина ещё не сжата и систему можно считать замкнутой:

$$0 = MV - m\upsilon, \qquad (1)$$

здесь M и V — соответственно масса ствола и его скорость, а m и υ — соответственно масса и скорость снаряда.

Заданное в условии соотношение для преобразования механической энергии в системе «ствол пушки–пружина» можно записать так:

$$\eta\cdot\frac{MV^2}{2}=\frac{k\cdot(\Delta x)^2}{2}. \qquad (2)$$

Время t полёта снаряда, вылетевшего горизонтально с высоты h, определяется соотношением

$$h=\frac{gt^2}{2}, \qquad (3)$$

дальность полёта

$$s=\upsilon t. \qquad (4)$$

Таким образом, из (1) – (4) получаем:

$$s=\frac{\Delta x}{m}\cdot\sqrt{\frac{2khM}{\eta g}}=\frac{1}{9}\cdot\sqrt{\frac{2\cdot7\cdot10^3\cdot5\cdot810}{\frac{1}{7}\cdot10}}=700 \text{ м}.$$

Ответ: s = 700 м.

120. *Возможное решение.*

В процессе абсолютно неупругого столкновения сохраняется суммарный импульс системы тел: $m\upsilon=(m+M)\upsilon_1$, где υ_1 — скорость тел после столкновения.

Так как поверхность гладкая, то трения нет, и движение тел от момента удара до момента касания свободного конца пружины будет равномерным: $L=\upsilon_1 t_1$, где t_1 — время движения на этом участке.

После касания пружины и до отрыва от неё тела будут двигаться, совершая гармоническое колебание. До отрыва пройдёт время $t_2=\frac{T}{2}$, где T — период колебаний груза на пружине: $T=2\pi\cdot\sqrt{\frac{m+M}{k}}$.

Отрыв тел от пружины произойдёт в точке, где тела первоначально коснулись пружины. По закону сохранения механической энергии при гармонических колебаниях скорость тел в точке отрыва равна υ_1. Дальнейшее движение тел будет равномерным. Поэтому полное время движения тел до точки столкновения

$$t = 2t_1 + t_2 = \frac{2L}{\upsilon_1} + \frac{T}{2} = \frac{2L\cdot(m+M)}{m\upsilon} + \pi\cdot\sqrt{\frac{m+M}{k}}.$$

Учитывая, что $M = 2m$, получим

$$t = \frac{6L}{\upsilon} + \pi\cdot\sqrt{\frac{3m}{k}} = \frac{6\cdot 0,2}{4} + 3,14\cdot\sqrt{\frac{3\cdot 0,15}{45}} = 0,614 \text{ с.}$$

Ответ: $t = 0,614$ с.

121. *Возможное решение.*

В процессе абсолютно неупругого столкновения сохраняется суммарный импульс системы тел: $m\upsilon = (m+M)\upsilon_1$, где υ_1 — скорость тел после столкновения.

Так как поверхность гладкая, то трения нет, и движение тел от момента удара до момента касания свободного конца пружины будет равномерным: $L = \upsilon_1 t_1$, где t_1 — время движения на этом участке.

После касания пружины и до отрыва от неё тела будут двигаться, совершая гармоническое колебание. До отрыва пройдёт время $t_2 = \frac{T}{2}$, где T — период колебаний груза на пружине: $T = 2\pi\cdot\sqrt{\frac{m+M}{k}}$.

Отрыв тел от пружины произойдёт в точке, где тела первоначально коснулись пружины. По закону сохранения механической энергии при гармонических колебаниях скорость тел в точке отрыва равна υ_1. Дальнейшее движение тел будет равномерным. Поэтому полное время движения тел до точки столкновения

$$t = 2t_1 + t_2 = \frac{2L}{\upsilon_1} + \frac{T}{2} = \frac{2L\cdot(m+M)}{m\upsilon} + \pi\cdot\sqrt{\frac{m+M}{k}}.$$

Учитывая, что $M = 4m$, получим

$$\upsilon = \frac{10L}{t - \pi\cdot\sqrt{\frac{5m}{k}}} = \frac{10\cdot 0,15}{1,16 - 3,14\cdot\sqrt{\frac{5\cdot 0,05}{100}}} \approx 1,5 \text{ м/с.}$$

Ответ: $\upsilon \approx 1,5$ м/с.

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.**	$10 \cdot 10^9$ м$^{-3}$.	**8.**	$2{,}9 \cdot 10^{-10}$ кг/м^3.
9.	59 г/моль.	**10.**	0,3 м^3.	**11.**	16 моль.	**12.**	$2{,}5 \cdot 10^5$ Па.
13.	0,5.	**14.**	3.	**15.**	0,4.	**16.**	2.
17.	0,5.	**18.**	4,5.	**19.**	$2 \cdot 10^5$ Па.	**20.**	4 л.
21.	60 Дж.	**22.**	125 Дж.	**23.**	80 Дж.	**24.**	60 К.
25.	30 г.	**26.**	4155 Дж.	**27.**	1 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 °С.	**54.**	0 °С.	**55.**	0 °С.	**56.**	0,55 кг.
57.	1,1 кг.	**58.**	60 °С.	**59.**	90 г.	**60.**	28 %.
61.	0 °С.	**62.**	1,3 кВт.	**63.**	1,2 кг.		

2.2. Задания с развёрнутым ответом

1. *Возможное решение.*

Запишем для шара второй закон Ньютона в проекциях на вертикальную ось в момент его отрыва от земли: $F_A = m_{He}g + m_{об}g$, где F_A — сила Архимеда, действующая на шар.

Выразим силы через радиус шара r:

$\rho_в g \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi r^3 = b \cdot 4\pi r^2 \cdot g + \rho_{He} g \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi r^3$, где $\rho_в$ — плотность атмосферного воздуха, ρ_{He} — плотность гелия, $b = 1\,\frac{кг}{м^2}$ — отношение массы одного квадратного метра оболочки шара к его площади.

Отсюда найдём радиус шара $r = \frac{3b}{\rho_в - \rho_{He}}$.

Плотности гелия и воздуха найдём из уравнения

Клапейрона—Менделеева $pV = \frac{m}{M} \cdot RT \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{Mp}{RT}$,

$\rho_{He} = \frac{M_{He}p}{RT}$, $\rho_в = \frac{M_в p}{RT}$.

Объединяя полученные выражения, найдём радиус:

$r = \frac{3bRT}{p \cdot (M_в - M_{He})} \approx 2{,}7$ м,

а искомая масса оболочки равна $m = 4\pi r^2 \cdot b$.

Ответ: $m \approx 92$ кг.

2. *Ответ:* $m_г = 100$ кг.

3. *Возможное решение.*

Шар взлетает, когда сила тяжести, действующая на него, равна силе Архимеда

$$(m_{об} + m_г + m) \cdot g = \rho g V, \qquad (1)$$

где m — масса воздуха в шаре.

Из уравнения Клапейрона—Менделеева следует:

$$m = \frac{pV\mu}{RT_1}, \quad p = \frac{\rho RT}{\mu}, \tag{2}$$

где $T = t + 273$; $T_1 = t_1 + 273$, μ — молярная масса воздуха.

Объединяя (1) и (2), получим:

$$T_1 = \frac{\rho VT}{\rho V - m_{об} - m_г} = 350 \text{ К}, \ t_1 = 77 \text{ °C}.$$

Ответ: $T_1 = \dfrac{\rho VT}{\rho V - m_{об} - m_г} = 350$ К.

4. *Ответ:* $m_г = 200$ кг.

5. *Возможное решение.*

Условие, соответствующее подъёму шара: $F_{Арх} \geq Mg + mg$,

где M — масса оболочки, m — масса воздуха внутри оболочки, или

$$\rho_0 gV \geq Mg + \rho gV \Rightarrow \rho_0 V \geq M + \rho V,$$

где ρ_0 — плотность окружающего воздуха, ρ — плотность воздуха внутри оболочки, V — объём шара.

Для воздуха внутри шара: $pV = \dfrac{m}{\mu} \cdot RT$, или $\dfrac{m}{V} = \dfrac{p \cdot \mu}{R \cdot T} = \rho$, где p — атмосферное давление, T — температура воздуха внутри шара. Соответственно, плотность воздуха снаружи: $\rho_0 = \dfrac{\mu p}{RT_0}$,

где T_0 — температура окружающего воздуха.

$$\frac{p \cdot \mu \cdot V}{R \cdot T_0} \geq M + \frac{p \cdot \mu \cdot V}{R \cdot T} \Rightarrow \frac{p \cdot \mu \cdot V}{R \cdot T_{0max}} = M + \frac{p \cdot \mu \cdot V}{R \cdot T} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{T_{0max}} = \frac{1}{T} + \frac{M \cdot R}{p \cdot \mu \cdot V}$$

$$T_{0\,max} = \frac{\mu pVT}{\mu Vp + MRT} = \frac{29 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5 \cdot 400 \cdot 573}{29 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^5 + 250 \cdot 8{,}31 \cdot 573} \approx$$

$$\approx 283 \text{ К} = 10 \text{ °C}$$

Ответ: $T_{0\,max} \approx 283$ К $= 10$ °C.

6. *Возможное решение.*

Для того чтобы шарики подняли в воздух мальчика, необходимо, чтобы сила Архимеда, действующая на шарики, превышала силу тяжести, действующую на мальчика и на гелий в шариках:

$$F_{\text{Арх}} \geq Mg + m_{Г}g,$$

где $F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{В}} N V_0 g = m_{\text{В}} g$ — сила Архимеда, действующая на шарики: N — количество шариков, V_0 — объём одного шарика, $\rho_{\text{В}}$ и $m_{\text{В}}$ — соответственно плотность и масса вытесненного шариками атмосферного воздуха, $m_{\text{Г}}$ — масса гелия в шариках, M — масса мальчика.

Для атмосферного воздуха и гелия справедливо уравнение Менделеева—Клапейрона:

$p_0 N V_0 = \dfrac{m_B}{\mu_B} \cdot RT$ и $p_0 N V_0 = \dfrac{m_Г}{\mu_Г} \cdot RT$, где p_0 — атмосферное давление, $\mu_{\text{В}}$ и $\mu_{\text{Г}}$ — молярные массы соответственно воздуха и гелия.

Выражая массы газов, окончательно получим:

$$N = \frac{MRT}{p_0 V_0 \cdot (\mu_B - \mu_Г)} = \frac{50 \cdot 8{,}31 \cdot 290}{10^5 \cdot 0{,}01 \cdot (0{,}029 - 0{,}004)} \approx 4820 \text{ шт.}$$

Ответ: $N \approx 4820$ шт.

7. *Возможное решение.*

Для того чтобы шарики подняли в воздух мальчика, необходимо, чтобы сила Архимеда, действующая на шарики, превышала силу тяжести, действующую на мальчика и на гелий в шариках:

$$F_{\text{Арх}} \geq Mg + m_{Г}g,$$

где $F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{В}} N V_0 g = m_{\text{В}} g$ — сила Архимеда, действующая на шарики: N — количество шариков, V_0 — объём одного шарика, $\rho_{\text{В}}$ и $m_{\text{В}}$ — соответственно плотность и масса вытесненного шариками атмосферного воздуха, $m_{\text{Г}}$ — масса гелия в шариках, M — масса мальчика.

Для атмосферного воздуха и гелия справедливо уравнение Менделеева—Клапейрона:

$p_0NV_0 = \frac{m_B}{\mu_B} \cdot RT$ и $p_0NV_0 = \frac{m_Г}{\mu_Г} \cdot RT$, где p_0 — атмосферное давление, $\mu_В$ и $\mu_Г$ — молярные массы соответственно воздуха и гелия.

Выражая массы газов, окончательно получим:

$$V_0 = \frac{MRT}{Np_0 \cdot (\mu_B - \mu_Г)} = \frac{60 \cdot 8{,}31 \cdot 280}{4650 \cdot 10^5 \cdot (0{,}029 - 0{,}004)} \approx$$

$\approx 12 \cdot 10^{-3} м^3 = 12$ л.

Ответ: $V_0 \approx 12$ л.

8. *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 объёмы 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 ν_1 и ν_2:

$\nu_1 T_1 = \nu_2 T_2$.

После установления теплового равновесия температура газов равна T, а объёмы 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 объём цилиндра остался неизменным: $V_1 + V_2 = 2V$, получаем, что $\frac{V_1}{V} = \frac{2}{1 + \frac{\nu_2}{\nu_1}}$.

Учитывая, что $\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{T_1}{T_2}$, получим $\frac{V_1}{V} = 2 \cdot \frac{T_2}{T_1 + T_2} = \frac{3}{2} = 1{,}5$.

Ответ: $V_{He}/V = 1{,}5$.

9. *Ответ:* $V_{Ar}/V = 2/3$.

10. *Возможное решение.*

Запишем уравнение Клапейрона—Менделеева для водорода и гелия в смеси:

$$p_{H_2}V = \frac{m_{H_2}}{\mu_{H_2}} \cdot RT; \qquad (1)$$

$$p_{He}V = \frac{m_{He}}{\mu_{He}} \cdot RT. \qquad (2)$$

Согласно закону Дальтона давление смеси:

$$p = p_{H_2} + p_{He}. \qquad (3)$$

Кроме того, масса смеси

$$m = m_{H_2} + m_{He}. \qquad (4)$$

Решая систему уравнений (1) – (4), получаем:

$$\frac{m_{H_2}}{m_{He}} = \frac{\frac{pV}{RT} - \frac{m}{\mu_{He}}}{\frac{m}{\mu_{H_2}} - \frac{pV}{RT}} = \frac{\frac{200 \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{8{,}31 \cdot 300} - \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-3}}}{\frac{2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} - \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 10^{-2}}{8{,}31 \cdot 300}} \approx 1{,}5.$$

Ответ: $\frac{m_{H_2}}{m_{He}} \approx 1{,}5$.

11. *Ответ:* $p = 200$ кПа.

12. *Возможное решение.*

При соединении баллонов с каждым газом происходит изотермический процесс.

Результирующее давление в соединённых баллонах определяется согласно закону Дальтона:

$$p = p_1 + p_2. \qquad (1)$$

Согласно уравнению Менделеева—Клапейрона

$$p_1(V_1 + V_2) = \nu_1 RT; \qquad (2)$$

$$p_2(V_1 + V_2) = \nu_2 RT. \qquad (3)$$

Выполняя математические преобразования с формулами (1) – (3), в итоге получаем:

$$p = p_1 + p_2 = \frac{(\nu_1 + \nu_2) \cdot RT}{V_1 + V_2} = \frac{(2+3) \cdot 8{,}31 \cdot 289}{(10+20) \cdot 10^{-3}} \approx 400 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p \approx 400$ кПа.

13. *Возможное решение.*

При соединении баллонов с каждым газом происходит изотермический процесс.

Результирующее давление в соединённых баллонах определяется согласно закону Дальтона:

$$p = p_1 + p_2. \tag{1}$$

Согласно уравнению Менделеева—Клапейрона

$$p_1 \cdot (V_1 + V_2) = \nu_1 RT; \tag{2}$$

$$p_2 \cdot (V_1 + V_2) = \nu_2 RT. \tag{3}$$

Выполняя математические преобразования с формулами (1)–(3), в итоге получаем:

$$p = p_1 + p_2 = \frac{(\nu_1 + \nu_2) \cdot RT}{V_1 + V_2} \Rightarrow$$

$$T = \frac{p \cdot (V_1 + V_2)}{(\nu_1 + \nu_2) \cdot R_2} = \frac{320 \cdot 10^3 \cdot (15+20) \cdot 10^{-3}}{(2+3) \cdot 8{,}31} \approx 270 \text{ К}.$$

Ответ: $T \approx 270$ К.

14. *Возможное решение.*

Поскольку в указанном процессе газ не совершает работы и система является теплоизолированной, то в соответствии с первым законом термодинамики суммарная внутренняя энергия газов сохраняется:

$$\frac{3}{2} \cdot \nu_1 RT_1 + \frac{3}{2} \cdot \nu_2 RT_2 = \frac{3}{2} \cdot (\nu_1 + \nu_2) \cdot RT,$$

где T — температура в объединённом сосуде в равновесном состоянии после открытия крана.

В соответствии с уравнением Клапейрона—Менделеева для конечного состояния можно записать:

$$p \cdot (2V) = (\nu_1 + \nu_2) RT.$$

Исключая из двух записанных уравнений конечную температуру T, получаем искомое выражение для начальной температуры аргона:

$$T_2 = \frac{2Vp}{\nu_2 R} - \frac{\nu_1}{\nu_2} \cdot T_1 = \frac{2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 341 \cdot 10^3}{3 \cdot 8{,}31} - \frac{1}{3} \cdot 360 \approx 290\,\text{К}.$$

Ответ: $T_2 \approx 290$ К.

15. *Возможное решение.*

Поскольку в указанном процессе газ не совершает работы и система является теплоизолированной, то в соответствии с первым законом термодинамики суммарная внутренняя энергия газов сохраняется:

$$\frac{3}{2} \cdot \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \cdot \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} \cdot (\nu_1 + \nu_2) \cdot RT,$$

где T — температура в объединённом сосуде в равновесном состоянии после открытия крана.

В соответствии с уравнением Клапейрона—Менделеева для конечного состояния можно записать:

$$p \cdot (2V) = (\nu_1 + \nu_2) \cdot RT.$$

Исключая из двух записанных уравнений конечную температуру T, получаем искомое выражение для объёма:

$$V = \frac{(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) \cdot R}{2p} = \frac{(2 \cdot 510 + 3 \cdot 350) \cdot 8{,}31}{2 \cdot 430 \cdot 10^3} \approx 20 \cdot 10^{-3}\,\text{м}^3 = 20\,\text{л}.$$

Ответ: $V \approx 20$ л.

16. *Возможное решение.*

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.

Параметры азота в сосуде в первоначальном состоянии и при температуре T_1 связаны равенством, следующим из уравнения Клапейрона—Менделеева:

$$\frac{p_1 hS}{T_1} = \frac{p_0 LS}{T_0}, \text{ откуда } p_1 = p_0 \cdot \frac{L}{h} \cdot \frac{T_1}{T_0}.$$

Условие равновесия пробки при температуре T_1:

$$p_0 S - F_{\text{тр}} - p_1 S = 0, \text{ откуда } F_{\text{тр}} = (p_0 - p_1) \cdot S.$$

Параметры азота в сосуде в первоначальном и конечном состояниях тоже связаны равенством, следующим из уравнения Клапейрона—Менделеева:

$$\frac{p_2 HS}{T_0} = \frac{p_0 LS}{T_0},$$

откуда $p_2 = p_0 \cdot \dfrac{L}{H}$.

Условие равновесия пробки в конечном состоянии:

$$p_2 S - p_0 S - F_{\text{тр}} = 0,$$

откуда

$$p_2 = p_0 + \frac{F_{\text{тр}}}{S} = p_0 + p_0 - p_1 = 2p_0 - p_1 = 2p_0 - p_0 \cdot \frac{L}{h} \cdot \frac{T_1}{T_0}.$$

Приравнивая друг другу два выражения для p_2, получаем равенство

$$\frac{L}{H} = 2 - \frac{L}{h} \cdot \frac{T_1}{T_0}.$$

Отсюда: $T_1 = T_0 \cdot \dfrac{h}{L} \cdot \left(2 - \dfrac{L}{H}\right) \approx 219$ К.

Ответ: $T_1 \approx 219$ К.

17. *Ответ:* $h \approx 43{,}8$ см.

18. *Возможное решение.*

Давление p_1 на глубине H равно сумме атмосферного и гидростатического давлений:

$$p_1 = p_0 + \rho g H,$$

где ρ — плотность воды, g — ускорение свободного падения, p_0 — нормальное атмосферное давление.

Аналогичное соотношение запишем для давления на глубине h:

$$p_2 = p_0 + \rho g h.$$

Воздух, находящийся в пузырьке, считаем идеальным газом, температура которого не изменяется в процессе подъёма. В соответствии с законом Бойля—Мариотта для изотермического процесса

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

Подставляя первое и второе соотношения в третье, получаем искомое выражение для объёма пузырька на расстоянии h от поверхности воды:

$$V_2 = \frac{p_0 + \rho g H}{p_0 + \rho g h} \cdot V_1.$$

Подставляя численные значения физических величин, заданные в условии задачи, а также табличные значения g и p_0, получаем:

$$V_2 = \frac{10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 15}{10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 1} \cdot 2 \cdot 10^{-9} \approx 4{,}5 \text{ мм}^3.$$

Ответ: $V_2 \approx 4{,}5$ мм^3.

19. *Возможное решение.*

Давление p_1 на глубине H равно сумме атмосферного и гидростатического давлений:

$p_1 = p_0 + \rho g H$, где ρ — плотность воды, g — ускорение свободного падения, p_0 — нормальное атмосферное давление.

Аналогичное соотношение запишем для давления на глубине h:

$p_2 = p_0 + \rho g h.$

Воздух, находящийся в пузырьке, считаем идеальным газом, температура которого не изменяется в процессе подъёма. В соответствии с законом Бойля—Мариотта для изотермического процесса

$p_1 V_1 = p_2 V_2.$

Подставляя первое и второе соотношения в третье, получаем искомое выражение для объёма пузырька на расстоянии h от поверхности воды:

$$V_1 = \frac{p_0 + \rho g h}{p_0 + \rho g H} \cdot V_2.$$

Подставляя численные значения физических величин, заданные в условии задачи, а также табличные значения g и p_0, получаем:

$$V_1 = \frac{10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 1}{10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 10} \cdot 5 \cdot 10^{-9} \approx 2{,}75 \text{ мм}^3.$$

Ответ: $V_{12} \approx 2{,}75$ мм^3.

20. *Возможное решение.*

Условие механического равновесия столбика ртути определяет давление воздуха в вертикальной трубке: $p = p_0 + \rho g d$, где p — давление воздуха в трубке, ρ — плотность ртути, d — длина столбика ртути, $p_0 = \rho g H$ — давление атмосферы. Здесь $H = 750$ мм.

Поскольку нагревание воздуха в трубке происходит до температуры T и конечный объём равен первоначальному, то по уравнению Клапейрона—Менделеева:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{p}{p_0} = 1 + \frac{d}{H},$$

где T_0 — температура воздуха в лаборатории, T — температура нагретого воздуха в трубке.

Отсюда: $d = H \cdot \dfrac{T - T_0}{T_0} = H \cdot \dfrac{\Delta T}{T_0} = 750 \cdot \dfrac{50}{300} = 125$ мм.

Ответ: $d = 125$ мм.

21. *Возможное решение.*

Условие механического равновесия столбика ртути определяет давление воздуха в вертикальной трубке: $p = p_0 + \rho g d$, где $p_0 = \rho g H$ — давление атмосферы.

Здесь $H = 760$ мм, d — длина столбика ртути.

Поскольку нагревание воздуха в трубке происходит до температуры T и первоначального объёма, то по уравнению Клапейрона—Менделеева

$$\frac{T}{T_0} = \frac{p}{p_0} = 1 + \frac{d}{H}.$$

Отсюда: $\Delta T = T - T_0 = T_0 \cdot \dfrac{d}{H} = 300 \cdot \dfrac{38}{760} = 15$ K.

Ответ: $\Delta T = 15$ K.

22. *Возможное решение.*

Когда трубка расположена горизонтально, объём воздуха и его давление равны, соответственно: $V_1 = l_1 S$, где S — площадь сечения трубки; $p_1 = p_{\text{атм}} = \rho g H$, где ρ — плотность ртути, $H = 744$ мм.

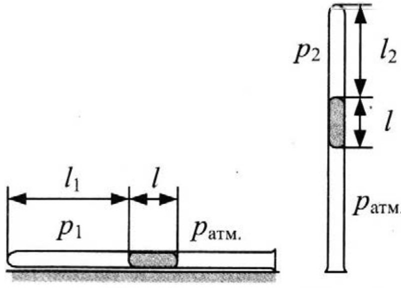


Рис. 1 Рис. 2

Когда трубка расположена вертикально отверстием вверх, объём закрытой части трубки и давление воздуха в ней равны, соответственно:

$V_2 = l_2 S$; $p_2 = p_{атм} + \rho g l$.

Так как $T = \text{const}$, получаем: $p_1 V_1 = p_2 V_2$:

$p_{атм} l_1 S = \left(p_{атм} + \rho g l\right) \cdot l_2 S$, или $\rho g H \cdot l_1 S = \left(\rho g H + \rho g l\right) \cdot l_2 S$,

откуда $l = \dfrac{H \cdot (l_1 - l_2)}{l_2} = \dfrac{744 \cdot (390 - 350)}{350} \approx 85$ мм.

Ответ: $l \approx 85$ мм.

23. *Возможное решение.*

Когда трубка расположена горизонтально, то давление воздуха на столбик ртути слева уравновешено атмосферным давлением справа: $p_1 = p_{атм} = \rho g H$,

где ρ — плотность ртути, $H = 750$ мм.

Объём воздуха $V_1 = l_1 S$, где S — площадь поперечного сечения трубки.

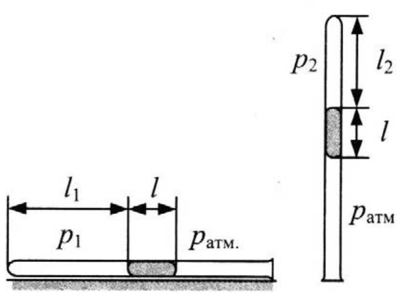


Рис. 1 Рис. 2

Если трубку расположить вертикально отверстием вниз, то давление в закрытой части трубки уменьшится: $p_2 = p_{\text{атм.}} - \rho g l$, а объём, занимаемый воздухом, увеличится: $V_2 = l_2 S$.

Поскольку $T = \text{const}$, для воздуха в трубке справедлив закон Бойля—Мариотта:

$p_1 V_1 = p_2 V_2$.

Следовательно, $p_{\text{атм.}} l_1 S = (p_{\text{атм.}} - \rho g l) \cdot l_2 S$

или $\rho g H \cdot l_1 S = (\rho g H - \rho g l) \cdot l_2 S$.

Окончательно получаем:

$$l = \frac{H \cdot (l_2 - l_1)}{l_2} = \frac{750 \cdot (420 - 350)}{420} \approx 125 \text{ мм}.$$

Ответ: $l \approx 125$ мм.

24. *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 Δp, 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,

$\Delta p = \frac{\Delta m_{\text{в}}}{MV} \cdot RT$, где M — молярная масса воздуха. Поэтому условие открытия клапана имеет вид: $\frac{s \Delta m_{\text{в}}}{MV} \cdot RT \geq mg \cdot \frac{L}{l}$,

или $L \leq \frac{lsRT \Delta m_{\text{в}}}{mgMV}$.

Если насос закачивает каждую секунду w кг воздуха, то массу $\Delta m_{\text{в}}$ он закачает в цилиндр за время $t = \frac{\Delta m_{\text{в}}}{w}$.

Следовательно, клапан откроется в момент, когда выполнится равенство $L = \dfrac{tlsRTw}{mgMV}$.

Ответ: $L \approx 0{,}5$ м.

25. *Ответ:* AB $\approx 0{,}1$ м.

26. *Возможное решение.*

В соответствии с условием равновесия поршня

$$p_а + Mg/S = p_1, \qquad (1)$$

$$p_а + (M + m) \cdot g/S = p_2, \qquad (2)$$

где $p_а$ — атмосферное давление воздуха, p_1 и p_2 — соответственно давление воздуха в сосуде до и после добавления груза массы m.

Согласно закону Бойля—Мариотта

$$p_1H = p_2h. \qquad (3)$$

Решая систему уравнений (1) – (3), получим:

$$h = \frac{p_а + \dfrac{Mg}{S}}{p_а + \dfrac{M+m}{S} \cdot g} \cdot H = \frac{10^5 + \dfrac{1 \cdot 10}{5 \cdot 10^{-4}}}{10^5 + \dfrac{1{,}5 \cdot 10}{5 \cdot 10^{-4}}} \cdot 0{,}13 = 12 \text{ см.}$$

Ответ: $h = 12$ см.

27. *Ответ:* $S = 5$ см^2.

28. *Возможное решение.*

Первоначально в объёме V_1 находится ν_1 моль газа при температуре T_1 и давлении p_1, а в объёме V_2 — ν_2 моль газа при температуре T_2 и давлении p_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:

$$\frac{3}{2} \cdot \nu_1 RT_1 + \frac{3}{2} \cdot \nu_2 RT_2 = \frac{3}{2} \cdot (\nu_1 + \nu_2) \cdot RT,$$

откуда следует, что конечная температура газа после снятия перегородки

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2}.$$

Запишем уравнение Клапейрона—Менделеева для газа в начальном и конечном состояниях:

$$p_1 V_1 = \nu_1 R T_1,$$
$$p_2 V_2 = \nu_2 R T_2,$$
$$p \cdot (V_1 + V_2) = (\nu_1 + \nu_2) \cdot RT.$$

Подставив эти результаты в выражение для T, получим:

$$p \cdot (V_1 + V_2) = p_1 V_1 + p_2 V_2,$$

откуда: $p = \dfrac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}$.

Учитывая, что $V_2 = 2V_1$, $p_1 = p_0$, $p_2 = 4p_0$, получим: $p = 3p_0$.

Ответ: $p = 3p_0$.

29. *Ответ:* $\dfrac{V_2}{V_1} = 2$.

30. *Возможное решение.*

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: $\nu_2 = \nu_1 + \nu = 3$.

Внутренняя энергия одноатомного идеального газа пропорциональна температуре и количеству молей:

$$U = \frac{3}{2} \cdot \nu RT \Rightarrow U_1 = \frac{3}{2} \cdot \nu_1 R T_1,\ U_2 = \frac{3}{2} \cdot \nu_2 R T_2.$$

Запишем условие термодинамического равновесия: $T_1 = T_2$.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\nu_1}{\nu_2},\quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{3}.$$

Ответ: $\dfrac{U_1}{U_2} = \dfrac{1}{3}$.

31. *Ответ:* 2 моль.

32. *Возможное решение.*

При изобарном сжатии над аргоном совершается работа, модуль которой:

$A_1 = |p\Delta V|$,

где p — давление аргона в этом процессе, ΔV — изменение его объёма.

В соответствии с уравнением Клапейрона—Менделеева для этого процесса можно записать:

$|p\Delta V| = \nu R \cdot (T_1 - T_2)$.

В адиабатном процессе (процессе без теплообмена) в соответствии с первым законом термодинамики сумма изменения внутренней энергии газа и его работы равна нулю:

$$\frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2) + A_2 = 0.$$

При записи последнего соотношения учтено выражение для изменения внутренней энергии идеального одноатомного газа:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2).$$

Преобразуя записанные уравнения с учётом соотношений температур, заданных в условии задачи, получаем:

$$A_1 = 3\nu R T_2; \quad A_2 = \frac{3}{4} \cdot \nu R T_2.$$

Следовательно,

$$A_2 = \frac{A_1}{4} = \frac{3600}{4} = 900 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A_2 = 900$ Дж.

33. *Возможное решение.*

При изобарном сжатии над неоном совершается работа, модуль которой:

$A_1 = |p\Delta V|$,

где p — давление неона в этом процессе, ΔV — изменение его объёма.

В соответствии с уравнением Клапейрона—Менделеева для этого процесса можно записать:

$|p\Delta V| = \nu R \cdot (T_1 - T_2)$.

В адиабатном процессе (процессе без теплообмена) в соответствии с первым законом термодинамики сумма изменения внутренней энергии газа и его работы равна нулю:

$$\frac{3}{2}\cdot \nu R\cdot (T_3-T_2)+A_2=0.$$

При записи последнего соотношения учтено выражение для изменения внутренней энергии идеального одноатомного газа:

$$\Delta U=\frac{3}{2}\cdot \nu R\cdot (T_3-T_2).$$

Преобразуя записанные уравнения с учётом соотношений температур, заданных в условии задачи, получаем:

$$A_1=2\cdot \nu RT_2;\quad A_2=\frac{3}{4}\cdot \nu RT_2.$$

Следовательно,

$$A_2=\frac{3}{8}\cdot A_1=\frac{3\cdot 2000}{8}=750 \text{ Дж.}$$

Ответ: $A_2=750$ Дж.

34. *Возможное решение.*

В состоянии 1: $p_0V_0=\nu RT_1$, в состоянии 2: $p_0\cdot 3V_0=\nu RT_2$.
Отсюда $T_2=3T_1$.

Количество теплоты, получаемое системой в изобарном процессе:

$$Q_{12}=\Delta U_{12}+A_{12}=\frac{3}{2}\cdot \nu R\Delta T+p_0\Delta V=\frac{5}{2}\cdot \nu R\cdot (T_2-T_1)=5\nu RT_1\approx$$

$\approx 12{,}5$ кДж.

Ответ: $Q_{12}\approx 12{,}5$ кДж.

35. *Ответ:* $Q_{12}\approx 25$ кДж.

36. *Возможное решение.*

Процесс 1–2 изобарный. В состоянии 1: $pV_0=\nu RT_1$, в состоянии 2: $p\cdot 5V_0=\nu RT_2$. Отсюда $T_2=5T_1$.

Количество теплоты, получаемое системой во время изобарного процесса,

$$Q_{12}=\Delta U_{12}+A_{12}=\frac{3}{2}\cdot \nu R\Delta T+p\Delta V=\frac{5}{2}\cdot \nu R\cdot (T_2-T_1)=10\nu RT_1\approx$$

$\approx 22{,}7$ кДж.

Ответ: $Q_{12}\approx 22{,}7$ кДж.

37. *Ответ:* $Q_{12} \approx 13{,}6$ кДж.

38. *Возможное решение.*

Согласно первому закону термодинамики, $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$, где $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_2 - T_1)$; $A_{12} = \nu R \cdot (T_2 - T_1)$.

Следовательно, $Q_{12} = \frac{5}{2} \cdot \nu R \cdot (T_2 - T_1)$. Согласно закону Шарля, $\frac{p_3}{T_3} = \frac{p_2}{T_2}$. Следовательно, $T_2 = 3T_1$ и $Q_{12} = 5\nu RT_1$.

Ответ: $Q_{12} \approx 12{,}5$ кДж.

39. *Ответ:* $Q_{12} \approx 7{,}5$ кДж.

40. *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 $1 \rightarrow 2$: $\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\ \nu R\Delta T_{12}$. Поскольку $\Delta T_{12} = 2T_0$, то $\Delta U_{12} = 3\nu RT_0$.

Поэтому: $Q_{123} = 3\nu RT_0 + Q_{23}$. $\frac{A_{123}}{Q_{123}} = \frac{Q_{23}}{3\nu RT_0 + Q_{23}} \approx 0{,}5$.

Ответ: $\frac{A_{123}}{Q_{123}} \approx 0{,}5$.

41. *Ответ:* $\frac{A_{123}}{Q_{123}} \approx 0{,}33$.

42. *Возможное решение.*

Для определения количества теплоты Q_{123} необходимо сложить количества теплоты, сообщённые газу на участках 1–2 и 2–3: $Q_{123} = Q_{12} + Q_{23}$.

Исходя из приведённого 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 $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} = 2$.

Следовательно, $T_2 = T_1 \cdot \frac{p_2}{p_1} = 2T_1 = 300 \cdot 2 = 600$ К.

Работа газа в процессе 1–2 равна нулю, и для него первый закон термодинамики с учётом выражения для внутренней энергии одноатомного идеального газа принимает вид:

$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \cdot \nu R T_1 \approx 3{,}74$ 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 $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2)$ — изменение внутренней энергии газа, $A_{23} = p_2 \cdot (V_3 - V_2)$ — совершённая газом работа.

Из уравнения Клапейрона—Менделеева $pV = \nu RT$ следует, что $Q_{23} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2) + \nu R \cdot (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2)$.

Таким образом, $Q_{23} = \frac{5}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - 2T_1) \approx 6{,}23$ кДж.

В результате $Q_{123} = \frac{3}{2} \cdot \nu R T_1 + \frac{5}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - 2T_1) \approx 10$ кДж.

Ответ: $Q \approx 10$ кДж.

43. *Ответ:* $Q \approx 10$ кДж.

44. *Ответ:* Q ≈ 6,6 кДж.

45. *Возможное решение.*

Для определения количества теплоты Q_{123} необходимо сложить количества теплоты, сообщённые газу на участках 1–2 и 2–3: $Q_{123} = Q_{12} + Q_{23}$.

Исходя из приведённого графика, можно сделать вывод, что процесс 1–2 является изотермическим с температурой $T_1 = T_2 = \text{const}$. Согласно первому закону термодинамики, получаем:

$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$,

где $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_2 - T_1) = 0$ — изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа.

Таким образом, $Q_{12} = A_{12} = 4$ кДж.

Из уравнения Клапейрона—Менделеева $pV = \nu RT$ следует, во-первых, что процесс 2–3 является изобарным: $p = \text{const}$.

Во-вторых, на изобаре 2–3: $\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}$, откуда $\frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} = 2$.

Следовательно, $T_3 = T_2 \cdot \frac{V_3}{V_2} = 2T_2 = 2T_1 = 2 \cdot 250 = 500$ К.

В-третьих,

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2) + p \cdot (V_3 - V_2) =$$
$$= \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2) + \nu R \cdot (T_3 - T_2) =$$
$$= \frac{5}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} \cdot \nu R \cdot (2T_1 - T_1) =$$
$$= \frac{5}{2} \cdot \nu R \cdot T_1 = \frac{5}{2} \cdot 1 \cdot 8{,}31 \cdot 250 \approx 5{,}2 \text{ кДж}.$$

В результате $Q_{123} = Q_{12} + Q_{23} = 4 + 5{,}2 = 9{,}2$ кДж.

Ответ: $Q_{123} = 9{,}2$ кДж.

46. *Возможное решение.*

Запишем первый закон термодинамики $Q = \Delta U + A$ для изохорного нагревания 2–3: $Q_{23} = \Delta U_{23}$, учитывая, что $A_{23} = 0$.

Поскольку $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \Delta T_{23} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2)$,

то $Q_{23} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2)$.

Закон Шарля для состояний 2 и 3: $\frac{p_3}{T_3} = \frac{p_2}{T_2}$, $\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2}$, откуда $T_3 = 2T_2$.

Так как по условию $T_2 = T_1$,

то $Q_{23} = \frac{3}{2}\cdot\nu R\cdot(2T_2 - T_2) = \frac{3}{2}\cdot\nu RT_2 = \frac{3}{2}\cdot\nu RT_1$;

$Q_{23} = \frac{3}{2}\cdot 1{,}5\cdot 8{,}31\cdot 300 \approx 5{,}6$ кДж.

Ответ: $Q_{23} \approx 5{,}6$ кДж.

47. *Возможное решение.*

На участке 1–2: $V = \text{const}$, значит, $A_{12} = 0$. Согласно первому закону термодинамики $Q_{12} = \Delta U_{12}$.

Изменение внутренней энергии газа $\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\cdot\nu R\cdot(T_2 - T_1)$.

На участке 2–3: $p = \text{const}$.

Согласно закону Гей-Люссака $\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_2}{T_2}$.

Следовательно, $T_2 = \frac{V_2}{V_3}\cdot T_3 = \frac{T_3}{2{,}5} = \frac{T_1}{2{,}5}$.

Отсюда:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\cdot\nu R\cdot\left(\frac{T_1}{2{,}5} - T_1\right) = \frac{3}{2}\cdot\nu R\cdot\left(\frac{2T_1}{5} - T_1\right) = -\frac{9}{10}\cdot\nu RT_1.$$

Окончательно получим:

$$|Q_{12}| = |\Delta U_{12}| = \frac{9}{10}\cdot\nu RT_1 = \frac{9}{10}\cdot 2\cdot 8{,}31\cdot 400 \approx 6 \text{ кДж}.$$

Ответ: $|Q_{12}| \approx 6$ кДж.

48. *Возможное решение.*

Количество теплоты Q_{12}, полученное газом в изобарном процессе 1–2 от нагревателя, согласно первому началу термодинамики

$$Q_{12} = A_{12} + (U_2 - U_1) = p_1\cdot(V_2 - V_1) + \frac{3}{2}\cdot\nu R\cdot(T_2 - T_1) =$$

$$= p_1\cdot(V_2 - V_1) + \frac{3}{2}\cdot p_1\cdot(V_2 - V_1) = \frac{5}{2}\cdot p_1\cdot(V_2 - V_1) = \frac{5}{2}\cdot A_{12}.$$

(С учётом уравнения Менделеева—Клапейрона $pV = \nu RT$.)

В адиабатном процессе $Q_{13}=0$. Тогда модуль изменения внутренней энергии газа в процессе 1–3: $|U_3-U_1| = A_{13}$.

В результате

$$x=\frac{Q_{12}}{|U_3-U_1|}=\frac{5}{2}\cdot\frac{A_{12}}{A_{13}}=\frac{5}{2}\cdot k=\frac{5}{2}\cdot 2,5=6,25.$$

Ответ: $x = 6,25$.

49. *Возможное решение.*

Количество теплоты Q_{12}, полученное газом в изобарном процессе 1–2 от нагревателя, согласно первому началу термодинамики

$$Q_{12}=A_{12}+(U_2-U_1)=p_1\cdot(V_2-V_1)+\frac{3}{2}\cdot\nu R\cdot(T_2-T_1)=$$

$$=p_1\cdot(V_2-V_1)+\frac{3}{2}\cdot p_1\cdot(V_2-V_1)=\frac{5}{2}\cdot p_1\cdot(V_2-V_1)=\frac{5}{2}\cdot A_{12}.$$

(С учётом уравнения Менделеева—Клапейрона $pV=\nu RT$.)

В адиабатном процессе $Q_{13}=0$. Тогда модуль изменения внутренней энергии газа в процессе 1–3: $|U_3-U_1| = A_{13}$.

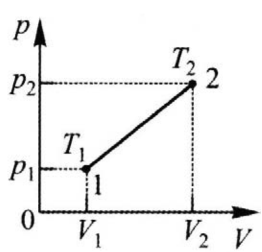
В результате

$$x=\frac{A_{12}}{A_{13}}=\frac{2}{5}\cdot\frac{Q_{12}}{|U_3-U_1|}=\frac{2}{5}\cdot k=\frac{2}{5}\cdot 7,5=3.$$

Ответ: $x = 3$.

50. *Возможное решение.*

Изобразим процесс на pV-диаграмме и обозначим давления и объёмы 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.

Из первого закона термодинамики следует, что полученное газом количество теплоты идёт на увеличение внутренней энергии газа и на совершение им работы: $Q = \Delta U_{12} + A_{12}$.

Используем термодинамическую модель одноатомного идеального газа: $\begin{cases} pV = \nu RT, \\ U = \frac{3}{2}\cdot \nu RT. \end{cases}$

Изменение его внутренней энергии равно

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\cdot \nu R\cdot (T_2 - T_1) = \frac{3}{2}\cdot (p_2V_2 - p_1V_1).$$

Совершённая газом работа численно равна площади трапеции под графиком процесса на pV-диаграмме, т. е. разности площадей треугольников:

$$A_{12} = \frac{1}{2}\cdot (p_2V_2 - p_1V_1).$$

С учётом этого получаем $Q = \Delta U_{12} + A_{12} = 2\cdot (p_2V_2 - p_1V_1)$.

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

$$Q = 2p_1V_1\cdot \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1\right) = 2\nu RT_1\cdot \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1\right).$$

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 $Q = 2\nu RT_1\cdot \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1\right) = 2\nu RT_1\cdot (\alpha^2 - 1)$,

откуда $T_1 = \frac{Q}{2\nu R\cdot (\alpha^2 - 1)}$.

Подставляя в полученную формулу числовые данные, находим T_1.

Ответ: $T_1 \approx 400$ К.

51. *Ответ:* $T_2 \approx 1600$ К.

52. *Возможное решение.*

Согласно первому началу термодинамики,

$Q_1 = \Delta U,$ (1)

$Q_2 = \Delta U + A,$ (2)

где ΔU — 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 ΔV — изменение объёма газа.

С помощью уравнения Клапейрона—Менделеева эту работу можно выразить через приращение температуры газа:

$$p\Delta V = \frac{m}{\mu} \cdot R\Delta T. \quad (4)$$

Решая систему уравнений (1) – (4), будем иметь:

$$\Delta T = \frac{\mu \cdot (Q_2 - Q_1)}{mR}.$$

Ответ: $\Delta T \approx 1$ К.

53. *Ответ:* $\nu \approx 1{,}2$ моль.

54. *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 произойдёт, 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 ν — 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 объём газа не меняется, и изменение внутренней энергии газа равно количеству полученной им теплоты: $\Delta U = Q$.

Для идеального одноатомного газа имеем:

$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot \Delta T$. Соотнеся это равенство с уравнением Клапейрона—Менделеева и равенством $\Delta U = Q$, находим:

$V \cdot \Delta p = \frac{2}{3} \cdot \Delta U = \frac{2}{3} \cdot Q$, $\Delta p = \frac{2Q}{3V} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 10^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 5 \cdot 10^5$ Па.

Следовательно, $S = \frac{F}{\Delta p} = \frac{100}{5 \cdot 10^5} = 2 \cdot 10^{-4}$ м^2.

Ответ: $S = 2 \cdot 10^{-4}$ м^2.

55. *Ответ:* $F_{max} = 50$ Н.

56. *Возможное решение.*

Аргон является одноатомным газом, подчиняющимся уравнению Клапейрона—Менделеева: $pV = \nu RT$, внутренняя энергия которого пропорциональна температуре:

$U = \frac{3}{2} \cdot \nu RT$, так что $U_1 = \frac{3}{2} \cdot \nu RT_1$, $U_2 = \frac{3}{2} \cdot \nu RT_2$.

С помощью уравнения Клапейрона—Менделеева и условия расширения $p_1 V_1^2 = p_2 V_2^2$ находим конечную температуру $T_2 = T_1 \cdot \frac{V_1}{V_2}$ и внутреннюю энергию газа в конечном состоянии

$U_2 = \frac{3}{2} \cdot RT_1 \cdot \frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{4} \cdot RT_1$.

Уменьшение внутренней энергии при расширении

$\Delta U = U_1 - U_2 = \frac{3}{4} \cdot RT_1 \approx 3740$ Дж.

В соответствии с первым началом термодинамики уменьшение внутренней энергии газа равно сумме совершённой им работы и отданного им количества теплоты:

$\Delta U = Q + A$,

поэтому $Q = \Delta U - A \approx 1247$ Дж.

Ответ: $Q \approx 1247$ Дж.

57. *Ответ:* $A \approx 2493$ Дж.

58. *Возможное решение.*

При медленном охлаждении газа его можно всё время считать равновесным, поэтому можно пользоваться выражением для внутренней энергии одноатомного идеального газа $U = \frac{3}{2} \cdot \nu RT$ и уравнением Клапейрона—Менделеева $pV = \nu RT$.

Отсюда $U = \frac{3}{2} \cdot pV$.

Поршень движется медленно, сил трения между поршнем и стенками сосуда нет, поэтому давление газа равно давлению окружающего воздуха (процесс изобарен).

Первое начало термодинамики для описания изобарного сжатия газа:

$A_{\text{внешн}} = \Delta U + |Q|$,

где $A_{\text{внешн}} = pSx$ — работа внешних сил,

$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot p\Delta V = -\frac{3}{2} \cdot pSx$ — изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа при его изобарном сжатии,

$|Q|$ — количество теплоты, отведённое от газа при его охлаждении.

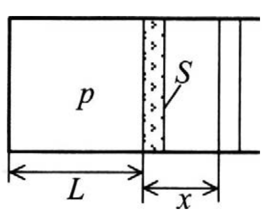
Отсюда $pSx = -\frac{3}{2} \cdot pSx + |Q|$, $|Q| = \frac{5}{2} \cdot pSx$, $S = \frac{2}{5} \cdot \frac{|Q|}{px}$.

Ответ: $S = 30$ см^2.

59. *Ответ:* $|Q| = 75$ Дж.

60. *Возможное решение.*

Поршень будет медленно двигаться, если сила давления газа на поршень и сила трения со стороны стенок сосуда уравновесят друг друга: $p_2S = F_{\text{тр}}$, откуда $p_2 = \frac{F_{\text{тр}}}{S} = 12 \cdot 10^5$ Па $> p_1$.



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 объём газа, при постоянном давлении. В этом процессе газ получает количество теплоты Q_{23}.

В процессе нагревания, в соответствии с первым началом термодинамики, газ получит количество теплоты:

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = (U_3 - U_1) + p_2 Sx = (U_3 - U_1) + F_{\text{тр}} x. \qquad (1)$$

Внутренняя энергия одноатомного идеального газа:

$$U_1 = \frac{3}{2} \cdot \nu R T_1 = \frac{3}{2} \cdot p_1 SL \text{ в начальном состоянии,} \qquad (2)$$

в конечном состоянии:

$$U_3 = \frac{3}{2} \cdot \nu R T_3 = \frac{3}{2} \cdot p_2 S \cdot (L + x) = \frac{3}{2} \cdot F_{\text{тр}} \cdot (L + x). \qquad (3)$$

Из (1) – (3) получаем $L = \dfrac{Q - \frac{5}{2} \cdot F_{\text{тр}} x}{\frac{3}{2} \cdot (F_{\text{тр}} - p_1 S)}$.

Ответ: $L = 0{,}3$ м.

61. *Ответ:* $Q = 1{,}65$ кДж.

62. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. В процессе медленного движения поршня его ускорение считаем ничтожно малым. Поэтому сумма приложенных к поршню сил при его движении равна нулю. В проекциях на горизонтальную ось x получаем: $F_1 - F_0 - F_{\text{упр}} = 0$,

где $\vec{F}_0$ — сила давления атмосферы на поршень, $\vec{F}_1$ — сила давления газа в цилиндре на поршень, $\vec{F}_{\text{упр}}$ — упругая сила, действующая на поршень со стороны пружины.

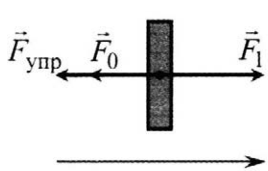


Рис. 1

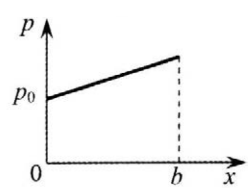


Рис. 2

Из равенства давлений слева и справа от поршня в начальном состоянии и гладкости стенок следует, что в начальном состоянии пружина недеформирована. Поэтому при смещении поршня вправо от начального положения на величину x модуль упругой силы

$F_{упр} = kx$.

Тогда

$$F_1 = p(x) \cdot S = F_0 + F_{упр} = p_0 S + kx$$

и давление в цилиндре при смещении поршня вправо от начального положения на величину x равно $p(x) = p_0 + \frac{kx}{S}$ (см. график на рис. 2).

Из модели одноатомного идеального газа $\begin{cases} pV = \nu RT, \\ U = \frac{3}{2} \cdot \nu RT \end{cases}$ следует: $U = \frac{3}{2} \cdot pV$.

Внутренняя энергия газа в исходном состоянии равна $U_1 = \frac{3}{2} \cdot p_0 SL$, а в конечном состоянии

$$U_2 = \frac{3}{2} \cdot p(b) \cdot S \cdot (L + b) = \frac{3}{2} \cdot \left(p_0 + \frac{kb}{S} \right) S \cdot (L + b).$$

Из первого начала термодинамики получаем:

$$Q = U_2 - U_1 + A_{12}.$$

Работа газа A_{12} при сдвиге поршня из начального в конечное состояние равна произведению величины S и площади трапеции под графиком $p(x)$ на рисунке 2:

$$A_{12} = \frac{1}{2} \cdot \big(p(0) + p(b) \big) Sb = \left(p_0 S + \frac{kb}{2} \right) \cdot b.$$

Подставляя в выражение для Q значения U_1, U_2 и A_{12}, получим:

$$Q = \frac{3}{2} \cdot (p_0 S + kb) \cdot (L + b) - \frac{3}{2} \cdot p_0 SL + \left(p_0 S + \frac{kb}{2} \right) \cdot b =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot kbL + \frac{5}{2} \cdot p_0 Sb + 2kb^2.$$

Ответ: $Q = \frac{3}{2} \cdot kbL + \frac{5}{2} \cdot p_0 Sb + 2kb^2$.

63. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. В процессе медленного движения поршня его ускорение считаем ничтожно малым. Поэтому сумма приложенных к поршню сил при его движении равна нулю. В проекциях на горизонтальную ось x получаем:

$$F_1 - F_0 + F_{упр} = 0,$$

где $\vec{F}_0$ — сила давления атмосферы на поршень, $\vec{F}_1$ — сила давления газа в цилиндре на поршень, $\vec{F}_{упр}$ — упругая сила, действующая на поршень со стороны пружины.

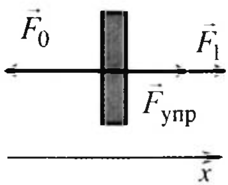


Рис. 1

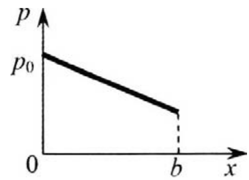


Рис. 2

Из равенства давлений слева и справа от поршня в начальном состоянии и гладкости стенок следует, что в начальном состоянии пружина недеформирована. Поэтому при смещении поршня влево от начального положения на величину x модуль упругой силы $F_{упр} = kx$. Тогда

$$F_1 = p(x) \cdot S = F_0 - F_{упр} = p_0 S - kx$$

и давление в цилиндре при смещении поршня влево от начального положения на величину x равно $p(x) = p_0 - \dfrac{kx}{S}$ (см. график на рисунке 2).

Из модели одноатомного идеального газа $\begin{cases} pV = \nu RT, \\ U = \dfrac{3}{2} \cdot \nu RT \end{cases}$ следует: $U = \dfrac{3}{2} \cdot pV$. Внутренняя энергия газа в исходном состоянии равна $U_1 = \dfrac{3}{2} \cdot p_0 SL$, а в конечном состоянии

$$U_2 = \frac{3}{2} \cdot p(b) \cdot S \cdot (L - b) = \frac{3}{2} \cdot \left(p_0 - \frac{kb}{S} \right) \cdot S \cdot (L - b).$$

Из первого начала термодинамики получаем для отведённого количества теплоты: $Q = U_1 - U_2 + A_{12}$.

Работа внешних сил A_{12} при сдвиге поршня из начального в конечное состояние равна произведению величины S и площади трапеции под графиком $p(x)$ на рис. 2:

$A_{12} = \frac{1}{2}\cdot\left(p(0)+p(b)\right)\cdot Sb = \left(p_0S - \frac{kb}{2}\right)\cdot b$. Подставляя в выражение для Q значения U_1, U_2 и A_{12}, получим:

$$Q = \frac{3}{2}\cdot p_0SL - \frac{3}{2}\cdot\left(p_0S - kb\right)\cdot\left(L-b\right) + \left(p_0S - \frac{kb}{2}\right)\cdot b =$$

$$= \frac{3}{2}\cdot kbL + \frac{5}{2}\cdot p_0Sb - 2kb^2.$$

Ответ: $Q = \frac{3}{2}\cdot kbL + \frac{5}{2}\cdot p_0Sb - 2kb^2$.

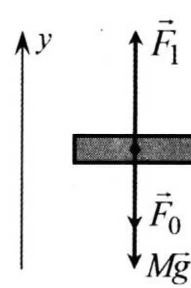
64. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. В процессе медленного подъёма поршня его ускорение считаем ничтожно малым. Поэтому сумма приложенных к поршню сил при его движении равна нулю. В проекциях на вертикальную ось y получаем:

$F_1 - F_0 - Mg = 0$, или $p_1S - p_0S - Mg = 0$.

Отсюда получаем давление газа p_1 под движущимся поршнем:

$p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S}$.



Используем модель одноатомного идеального газа:

$$\begin{cases} pV = \nu RT, \\ U = \frac{3}{2}\cdot\nu RT. \end{cases}$$

Отсюда получаем:

$$U = \frac{3}{2} \cdot pV.$$

Внутренняя энергия газа в исходном состоянии $U_0 = \frac{3}{2} \cdot p_0 Sh$,

а в конечном состоянии

$$U_1 = \frac{3}{2} \cdot p_1 SH = \frac{3}{2} \cdot (p_0 S + Mg) \cdot H.$$

Процесс движения поршня идёт при постоянном давлении газа p_1. Поэтому из первого начала термодинамики получаем:

$$Q = U_1 - U_0 + p_1 \Delta V = U_1 - U_0 + p_1 S \cdot (H - h).$$

Подставляя сюда выражения для p_1, U_0 и U_1, получим:

$$Q = \frac{3}{2} \cdot (p_0 S + Mg) \cdot H - \frac{3}{2} \cdot p_0 Sh + (p_0 S + Mg) \cdot (H - h) =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot Mgh + \frac{5}{2} \cdot (Mg + p_0 S) \cdot (H - h)$$

Ответ: $Q = \frac{3}{2} \cdot Mgh + \frac{5}{2} \cdot (Mg + p_0 S) \cdot (H - h)$.

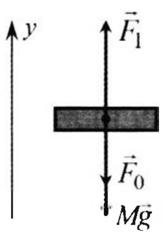
65. *Возможное решение.*

Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. В процессе медленного подъёма поршня его ускорение считаем ничтожно малым. Поэтому сумма приложенных к поршню сил при его движении равна нулю. В проекциях на вертикальную ось y получаем:

$F_1 - F_0 - Mg = 0$, или $p_1 S - p_0 S - Mg = 0$.

Отсюда получаем давление газа p_1 под движущимся поршнем:

$$p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S}.$$



Используем модель одноатомного идеального газа:

$$\begin{cases} pV = \nu RT, \\ U = \dfrac{3}{2}\cdot \nu RT. \end{cases}$$

Отсюда получаем: $U = \frac{3}{2}pV$. Внутренняя энергия газа в исходном состоянии $U_0 = \frac{3}{2}p_0Sh$, а в конечном состоянии $U_1 = \frac{3}{2}\cdot p_1SH = \frac{3}{2}\cdot(p_0S + Mg)\cdot H$.

Процесс движения поршня идёт при постоянном давлении газа p_1. Поэтому из первого начала термодинамики получаем:

$Q = U_1 - U_0 + p_1\Delta V = U_1 - U_0 + p_1S\cdot(H - h)$.

Подставляя сюда выражения для p_1, U_0 и U_1, получим:

$$Q = \frac{3}{2}\cdot(p_0S + Mg)\cdot H - \frac{3}{2}\cdot p_0Sh + (p_0S + Mg)\cdot(H - h) =$$

$$= \frac{3}{2}\cdot Mgh + \frac{5}{2}\cdot(Mg + p_0S)\cdot(H - h) =$$

$$= \frac{3}{2}\cdot 10\cdot 10\cdot 0{,}2 + \frac{5}{2}\cdot\left(10\cdot 10 + 10^5\cdot 100\cdot 10^{-4}\right)\cdot(0{,}3 - 0{,}2) = 305 \text{ Дж}.$$

Ответ: $Q = 305$ Дж.

66. *Возможное решение.*

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, совершённая 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 отдаёт в изохорном.

В изотермическом процессе внутренняя энергия идеального газа не изменяется, следовательно, в соответствии с первым законом термодинамики количество теплоты, полученное газом, равно работе газа:

$Q_{\text{нагр}} = A$.

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:

$$\left|Q_{\text{хол}}\right| = \frac{3}{2} \cdot \nu R \left|\Delta T\right| .$$

Подставляя второе и третье соотношения в первое, получаем значение КПД тепловой машины.

Ответ: $\eta = 1 - \dfrac{3\nu R\left|\Delta T\right|}{2A}$.

67. *Возможное решение.*

При изобарном расширении на участке 1–2 газ получает от нагревателя количество теплоты Q_{12}, а на участке 3–4 отдаёт 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 $\eta = \dfrac{A}{Q_{12}} = 1 - \dfrac{Q_{34}}{Q_{12}}$, что позволяет найти количество теплоты, полученное от нагревателя: $Q_{12} = \dfrac{Q_{34}}{1-\eta}$, если известно Q_{34}.

Количество теплоты Q_{34}, отданное при изохорном охлаждении на участке 3–4, равно уменьшению внутренней энергии газа на этом участке: $Q_{34} = \left|\Delta U_{34}\right|$. Внутренняя энергия идеального газа пропорциональна абсолютной температуре, и для 1 моль одноатомного газа $U = \dfrac{3}{2} \cdot RT$, а модуль её изменения на участке 3–4:

$$\left|\Delta U_{34}\right| = \frac{3}{2} \cdot R \cdot \left(T_3 - T_4\right) = \frac{3}{2} \cdot R \cdot \left(t_3 - t_4\right).$$

В итоге получим:

$$Q_{12} = \frac{Q_{34}}{1-\eta} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R \cdot \left(t_{\max} - t_{\min}\right)}{1-\eta} .$$

Подставляя значения физических величин, получим:

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \cdot \frac{8,31 \cdot 265}{0,85} \approx 3886 \text{ Дж.}$$

Ответ: $Q_{12} \approx 3886$ Дж.

68. *Ответ:* $\dfrac{\Delta T_{12}}{|\Delta T_{34}|} = 1,2.$

69. *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:

$$|Q_x| = |Q_{23}| = (U_2 - U_3) + A_{32} = \frac{3}{2} \cdot (\nu RT_2 - \nu RT_3) + 3p_0V_0 =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot (2p_0 \cdot 3V_0 - p_0V_0) + 3p_0V_0 = \frac{21}{2} \cdot p_0V_0 = \frac{21}{8} \cdot A_{21}.$$

Ответ: $|Q_x| \approx 13$ кДж.

70. *Ответ:* $Q_н = 57,5$ кДж.

71. *Возможное решение.*

В данном цикле рабочее тело на участке 1–2 получает положительное количество теплоты от нагревателя:

$Q_{нагр} = Q_{12} = (U_2 - U_1) + A_{12}.$

На участке 2–3 (изохора) рабочее тело отдаёт холодильнику количество теплоты $|Q_{хол}| = U_2 - U_3.$

Наконец, на участке 3–1 (адиабата) внешние силы сжимают газ, совершая работу $|A_{31}| = U_1 - U_3.$

Поэтому количество теплоты $|Q_{хол}|$, отданное газом за цикл холодильнику, можно представить в виде:

$|Q_{хол}| = (U_2 - U_1) + (U_1 - U_3) = (U_2 - U_1) + |A_{31}|.$

Модель одноатомного идеального газа:

$$\begin{cases} pV = \nu RT; \\ U = \dfrac{3}{2} \cdot \nu RT. \end{cases}$$

Судя по рисунку в условии, $\dfrac{p_2}{p_1} = \dfrac{V_2}{V_1}$,

откуда $p_2 = p_1 \cdot \dfrac{V_2}{V_1} = 2p_0$.

Поэтому

$$U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \cdot p_2V_2 - \frac{3}{2} \cdot p_1V_1 = \frac{3}{2} \cdot (2p_0 \cdot 2V_0 - p_0V_0) = \frac{9}{2} \cdot p_0V_0,$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} \cdot p_2V_2 - \frac{1}{2} \cdot p_1V_1 = \frac{1}{2} \cdot (2p_0 \cdot 2V_0 - p_0V_0) = \frac{3}{2} \cdot p_0V_0,$$

откуда получаем: $U_2 - U_1 = 3A_{12}$.

В результате $|Q_{\text{хол}}| = (U_2 - U_1) + |A_{31}| = 3A_{12} + |A_{31}| = 3370$ Дж.

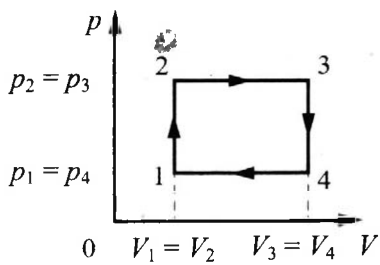
Ответ: $|Q_{\text{хол}}| = 3A_{12} + |A_{31}| = 3370$ Дж.

72. *Ответ:* $|A_{31}| = |Q_{\text{хол}}| - (U_2 - U_1) = |Q_{\text{хол}}| - 3A_{12} = 370$ Дж.

73. *Возможное решение.*

Коэффициент полезного действия теплового двигателя определяется формулой $\eta = \dfrac{A}{Q_1}$, где A — работа, совершённая газом за цикл, Q_1 — количество теплоты, полученное за цикл газом от нагревателя.

Цикл состоит из двух изохор, 1–2 и 3–4, и двух изобар, 2–3 и 4–1 (см. рисунок цикла в координатах p–V).



Согласно закону Шарля $\frac{}{T\backslash} = \frac{}{m2}$;

так как $T2 = 3T\backslash$, то $p2 = p3 = 3/?i$.

Согласно закону Гей-Люссака $\frac{И,}{Г,} = \frac{Ул}{Г4}$;

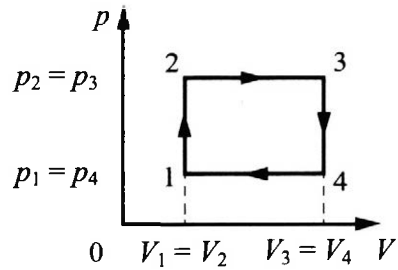
так как $T4 = T2 = 3Д$, то $У3 = Г4 = 3Г,$.

Работа, совершённая газом за цикл, численно равна площади фигуры, ограниченной графиком цикла:

$\wedge = (Л2-Р1)-(\wedge з-И) = 4/>1К1$.

Газ получает положительное количество теплоты на изохоре 1-2 и изобаре 2-3; таким образом, $Qx = Qx\_2 + (?2\_3$ •

Согласно первому закону термодинамики для изохорного



Согласно закону Шарля $\dfrac{p_1}{T_1} = \dfrac{p_2}{T_2}$;

так как $T_2 = 2T_1$, то $p_2 = p_3 = 2p_1$.

Согласно закону Гей-Люссака $\dfrac{V_1}{T_1} = \dfrac{V_4}{T_4}$;

так как $T_4 = T_2 = 2T_1$, то $V_3 = V_4 = 2V_1$.

Работа, совершённая газом за цикл, численно равна площади фигуры, ограниченной графиком цикла:

$A = (p_2 - p_1) \cdot (V_3 - V_1) = p_1 V_1$.

Газ получает положительное количество теплоты на изохоре 1–2 и изобаре 2–3; таким образом,

$Q_1 = Q_{1-2} + Q_{2-3}$.

Согласно первому закону термодинамики для изохорного процесса 1–2 ($V = \text{const}$; $A = 0$):

$$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \cdot \nu R T_1.$$

Для изобарного процесса 2–3:

$$Q_{2-3} = \Delta U_{2-3} + A_{2-3} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot (T_3 - T_2) + p_2 \cdot (V_3 - V_2).$$

С учётом уравнения Менделеева—Клапейрона, $pV = \nu RT$, получаем:

$$Q_{1-2} = \frac{3}{2} \cdot p_1 V_1 \text{ и } Q_{2-3} = \frac{5}{2} \cdot p_2 \cdot (V_3 - V_2) = 5 p_1 V_1.$$

Таким образом,

$$\eta = \frac{A}{Q_{1-2} + Q_{2-3}} = \frac{p_1 V_1}{\frac{3}{2} \cdot p_1 V_1 + 5 p_1 V_1} = \frac{p_1 V_1}{\frac{13}{2} \cdot p_1 V_1} = \frac{2}{13} \approx 0{,}154 = 15{,}4\ \%.$$

Ответ: $\eta \approx 15{,}4$ %.

75. *Возможное решение.*

Пар в воздухе подчиняется уравнению Клапейрона—Менделеева

$$pV = \frac{m}{M} \cdot RT,$$

где m — масса пара, p — парциальное давление, $T = t + 273$ — абсолютная температура воздуха, а $M = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3 — молярная масса пара.

Учитывая, что относительная влажность $\varphi = \dfrac{p}{p_н}$, подставим в уравнение $p = \varphi p_н$ и вычислим массу пара:

$$m = \frac{pV}{RT} \cdot M = \frac{p_н V}{RT} \cdot M \cdot \varphi.$$

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.

76. *Ответ:* $\varphi \approx 60$ %.

77. *Возможное решение.*

Уравнение Клапейрона—Менделеева для водяных паров в сосудах до и после открывания крана:

$$p_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu} \cdot RT, \qquad (1)$$

$$p_2 V_2 = \frac{m_2}{\mu} \cdot RT, \qquad (2)$$

$$p \cdot (V_1 + V_2) = \frac{(m_1 + m_2)}{\mu} \cdot RT. \qquad (3)$$

Относительная влажность в сосудах до и после открывания крана:

$$\varphi_{1,2} = \frac{p_{1,2}}{p_н}, \qquad (4)$$

$$\varphi = \frac{p}{p_н}. \qquad (5)$$

Здесь $p_н$ — давление насыщенных паров при комнатной температуре.

Объединяя (1) – (5), получим:

$$\varphi = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{0,3 \cdot 20 + 0,4 \cdot 30}{20 + 30} = 0,36 \ (36\ \%).$$

Ответ: $\varphi = 36\ \%$.

78. *Ответ:* 1,5.

79. *Возможное решение.*

Относительная влажность $\varphi = \frac{p}{p_{\text{нп}}} \cdot 100\ \%$. В начальном состоянии парциальное давление пара в сосуде было равно

$$p_1 = \frac{\varphi}{100\ \%} \cdot p_{\text{нп}} = 0,4 p_{\text{нп}}, \qquad (1)$$

где $p_{\text{нп}}$ — давление насыщенного пара.

Согласно уравнению Клапейрона—Менделеева

$$p_1 = \frac{m_0}{MV} \cdot RT, \qquad (2)$$

где T — температура пара, V — объём сосуда, M — молярная масса воды, m_0 — начальная масса водяного пара в сосуде.

После сжатия пар стал насыщенным, а его масса уменьшилась до m_1. Поэтому

$$p_2 = p_{\text{нп}} = \frac{m_1}{M \cdot (V/5)} \cdot RT. \qquad (3)$$

Объединяя (1) – (3), получаем: $\alpha = \frac{m_0 - m_1}{m_0} = 0,5$.

Ответ: $\alpha = 0,5$.

80. *Ответ:* $V_{\text{нач}} / V_{\text{конечн}} = 3$.

81. *Возможное решение.*

Относительная влажность определяется парциальным давлением водяного пара p и давлением $p_{\text{нас}}$ насыщенного пара при той же температуре: $\varphi = \frac{p}{p_{\text{нас}}}$.

За время τ работы увлажнителя с производительностью I испаряется масса воды $m = \rho I \tau$ плотностью ρ.

В результате исходная влажность в комнате $\varphi_1 = \dfrac{p_1}{p_{нас}}$ возрастает до значения

$$\varphi_2 = \frac{p_2}{p_{нас}} = \frac{p_1 + \Delta p}{p_{нас}} = \varphi_1 + \frac{\Delta p}{p_{нас}}.$$

Водяной пар в комнате объёмом V является разреженным газом, который подчиняется уравнению Менделеева — Клапейрона:

$$pV = \frac{M}{\mu} \cdot RT,$$

где M — масса водяного пара, p — парциальное давление, μ — его молярная масса. Увеличение массы пара в комнате на m (от m_1 до $m_2 = m_1 + m$) приводит к увеличению парциального давления на величину, пропорциональную испарившейся массе: $\Delta p = \dfrac{m}{\mu} \cdot \dfrac{RT}{V} = \dfrac{\rho I \tau}{\mu} \cdot \dfrac{RT}{V}$.

Отсюда: $\varphi_2 = \varphi_1 + \dfrac{\Delta p}{p_{нас}} = \varphi_1 + \dfrac{\rho I \tau}{\mu} \cdot \dfrac{RT}{p_{нас} V}$.

Подставляя значения физических величин, получим:

$$\varphi_2 = 0{,}3 + \frac{10^3 \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5}{18 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{8{,}31 \cdot 288}{1{,}71 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 3} \approx 0{,}69 = 69\ \%.$$

Ответ: $\varphi_2 \approx 69\ \%$.

82. *Возможное решение.*

Относительная влажность определяется парциальным давлением водяного пара p и давлением насыщенного водяного пара $p_{нас}$ при той же температуре: $\varphi = \dfrac{p}{p_{нас}}$.

За время τ работы увлажнителя с производительностью I испаряется масса воды $m = I\tau$.

В результате исходная влажность в комнате $\varphi_1 = \dfrac{p_1}{p_{нас}}$ возрастает до значения

$$\varphi_2 = \frac{p_2}{p_{нас}} = \frac{p_1 + \Delta p}{p_{нас}} = \varphi_1 + \frac{\Delta p}{p_{нас}}.$$

Водяной пар в комнате объёмом V является разреженным газом, который подчиняется уравнению Менделеева — Клапейрона:

$$pV = \frac{M}{\mu} \cdot RT,$$

где M — масса водяного пара, p — его парциальное давление, μ — его молярная масса. Увеличение массы пара в комнате на m (от m_1 до $m_2 = m_1 + m$) приводит к увеличению парциального давления на величину, пропорциональную испарившейся массе: $\Delta p = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT}{V} = \frac{I\tau}{\mu} \cdot \frac{RT}{V}$.

Отсюда: $\varphi_2 = \varphi_1 + \frac{\Delta p}{p_{нас}} = \varphi_1 + \frac{I\tau}{\mu} \cdot \frac{RT}{p_{нас}V}$.

Подставляя значения физических величин, получим:

$$\tau = \frac{(\varphi_2 - \varphi_1) \cdot \mu V p_{нас}}{RTI} = \frac{(0{,}6 - 0{,}25) \cdot 0{,}018 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 1{,}93 \cdot 10^3}{8{,}31 \cdot 290 \cdot 0{,}15} \approx 3 \text{ ч}.$$

Ответ: $\tau \approx 3$ ч.

83. *Возможное решение.*

При $t = 100$ °C давление насыщенного водяного пара равно нормальному атмосферному давлению: $p_0 = 10^5$ Па.

При изотермическом сжатии произведение pV для влажного воздуха под поршнем уменьшилось, так как $n < k$. Значит, количество вещества влажного воздуха в сосуде уменьшилось за счёт конденсации части водяного пара в воду. При этом водяной пар стал насыщенным.

Пусть p_2 — давление влажного воздуха в сосуде в конечном состоянии, $p_{1сух}$ — давление сухого воздуха в сосуде в начальном состоянии.

Пользуясь законом Дальтона, запишем выражения для давления влажного воздуха в сосуде в начальном и конечном состояниях:

$$\begin{cases} p_1 = p_{1\,сух} + \varphi p_0, \\ p_2 = np_1 = kp_{1\,сух} + p_0. \end{cases}$$

Исключая из этих уравнений величину $p_{1\,сух}$, получим уравнение

$$np_1 = k \cdot (p_1 - \varphi p_0) + p_0,$$

откуда:

$$\varphi = \frac{(k-n)\cdot p_1 + p_0}{kp_0} = \frac{(4-3)\cdot 1{,}8\cdot 10^5 + 10^5}{4\cdot 10^5} = \frac{2{,}8}{4} = 0{,}7.$$

Ответ: $\varphi = 70$ %.

84. *Возможное решение.*

При $t = 100$ °C давление насыщенного водяного пара равно нормальному атмосферному давлению: $p_0 = 10^5$ Па.

Поскольку начальная относительная влажность воздуха равна 60 %, то при изотермическом сжатии в $k = 3$ раза относительная влажность воздуха достигла 100 %, а количество вещества влажного воздуха в сосуде уменьшилось за счёт конденсации части водяного пара в воду. При этом водяной пар стал насыщенным.

Пусть p_2 — давление влажного воздуха в сосуде в конечном состоянии, $p_{1сух}$ — давление сухого воздуха в сосуде в начальном состоянии.

Пользуясь законом Дальтона, запишем выражения для давления влажного воздуха в сосуде в начальном и конечном состояниях:

$$\begin{cases} p_1 = p_{1\,сух} + \varphi p_0, \\ p_2 = np_1 = kp_{1\,сух} + p_0. \end{cases}$$

Исключая из этих уравнений величину $p_{1\,сух}$, получим уравнение

$$np_1 = k\cdot(p_1 - \varphi p_0) + p_0,$$

откуда:

$$n = \frac{k\cdot(p_1 - \varphi p_0) + p_0}{p_1} = \frac{3\cdot(1{,}6\cdot 10^5 - 0{,}6\cdot 10^5) + 10^5}{1{,}6\cdot 10^5} = 2{,}5.$$

Ответ: $n = 2{,}5$.

85. *Возможное решение.*

Согласно первому началу термодинамики, количество теплоты, необходимое для плавления льда, равно $\Delta Q_1 = \lambda m$, где λ — удельная теплота плавления льда. С другой стороны, подведённое от нагревателя количество теплоты $\Delta Q_2 = \eta Pt$. В соответствии 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.

86. *Ответ:* поставленная задача невыполнима.

87. *Возможное решение.*

Количество теплоты, выделяющееся при сжигании дров:

$Q = \lambda m.$ (1)

На нагрев воды расходуется количество теплоты

$Q_п = (1 - \eta) \cdot Q,$ (2)

где η относительная доля количества теплоты Q, рассеянная в окружающую среду.

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды до кипения:

$Q_п = cM \cdot (t_к - t_0).$ (3)

Объединяя соотношения (1) – (3), получим

$$M = \frac{(1-\eta)\cdot\lambda m}{c\cdot\left(t_к - t_0\right)}.$$

Ответ: $M \approx 2$ кг.

88. *Ответ:* $m \approx 2{,}4$ кг.

89. *Возможное решение.*

Количество теплоты, необходимое для нагревания льда, находящегося в калориметре, до температуры t:

$Q = c_1 m_1 \cdot (t - t_1).$ (1)

Количество теплоты, выделяющееся при охлаждении воды до $t_0 = 0$ °C:

$Q_1 = c_2 m_2 \cdot (t_2 - t_0).$ (2)

Количество теплоты, выделяющееся при отвердевании воды при 0 °C:

$Q_2 = \lambda m_2.$ (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:

$$m_2 = \frac{c_1 m_1 \cdot (t - t_1)}{c_2\cdot(t_2 - t_0) + \lambda + c_1\cdot(t_0 - t)} \approx 15 \text{ г.}$$

Ответ: $m_2 \approx 15$ г.

90. *Ответ:* $t \approx -8$ °C.

91. *Возможное решение.*

Пусть m — масса льда, λ — удельная теплота плавления льда, c — удельная теплоёмкость воды. Тогда

$$\begin{cases} Q = \lambda m + cm \cdot (t_2 - t_1), \\ \dfrac{Q}{2} = \lambda \cdot (km). \end{cases}$$

Выразив Q из второго уравнения и подставив этот результат в первое уравнение, получим:

$$(2k - 1) \cdot \lambda = c \cdot (t_2 - t_1),$$

откуда

$$k = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{c}{\lambda} \cdot (t_2 - t_1) + 1 \right) \approx 0{,}63.$$

Ответ: $k \approx 0{,}63$.

92. *Ответ:* $t \approx 16$ °C.

93. *Возможное решение.*

Пусть m — масса льда, λ — удельная теплота плавления льда, c — удельная теплоёмкость воды. Тогда

$$\begin{cases} Q = \lambda \cdot \left(\dfrac{3}{4} m \right), \\ Q + q = \lambda m + cm \cdot (t_2 - t_1). \end{cases}$$

Разделив второе уравнение на первое, получим:

$$1 + \frac{q}{Q} = \frac{4}{3} \left(1 + \frac{c}{\lambda} \cdot (t_2 - t_1) \right),$$

откуда:

$$q = \frac{Q}{3} \cdot \left(1 + \frac{4c}{\lambda} \cdot (t_2 - t_1) \right) =$$

$$= \frac{50 \cdot 10^3}{3} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot 4200}{3{,}3 \cdot 10^5} \cdot (20 - 0) \right) \approx 33{,}6 \text{ кДж}.$$

Ответ: $q \approx 33{,}6$ кДж.

94. *Возможное решение.*

Количество теплоты, полученное льдом при его таянии при 0 °С:

$$Q_1 = \lambda m_1. \quad (1)$$

Количество теплоты, полученное водой при её нагревании от 0 °С до температуры $t_0 = 2$ °С:

$$Q_2 = c \cdot (m_1 + m_2) \cdot (t_0 - 0\,°\mathrm{C}). \quad (2)$$

Количество теплоты, отданное водой при охлаждении её от температуры t до температуры t_0:

$$Q = cm \cdot (t - t_0). \quad (3)$$

Уравнение теплового баланса:

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (4)$$

Объединяя (1) – (4), получаем:

$$t = \frac{t_0 c \cdot (m + m_1 + m_2) + \lambda m_1}{cm} =$$

$$= \frac{2 \cdot 4200 \cdot (0{,}3 + 0{,}2 + 0{,}2) + 3{,}3 \cdot 10^5 \cdot 0{,}2}{4200 \cdot 0{,}3} \approx 57\,°\mathrm{C}.$$

Ответ: $t \approx 57$ °С.

95. *Ответ:* 200 г льда.

96. *Возможное решение.*

Запишем уравнение теплового баланса для системы «стакан с водой + первый шарик»:

$$c_{\text{в}} \cdot (t_3 - t_1) + c_{\text{ш}} \cdot (t_3 - t_2) = 0.$$

Здесь $c_{\text{в}}$ — теплоёмкость стакана с водой, $c_{\text{ш}}$ — теплоёмкость шарика.

Запишем уравнение теплового баланса для системы «стакан с водой + первый шарик + второй шарик»:

$$c_{\text{в}} \cdot (t_4 - t_3) + c_{\text{ш}} \cdot (t_4 - t_3) + c_{\text{ш}} \cdot (t_4 - t_2) = 0.$$

Решая записанную систему уравнений относительно t_4, получаем:

$$t_4 = \frac{t_1 t_2 - 2t_2 t_3 + t_1 t_3}{2t_1 - t_2 - t_3} = \frac{60 \cdot 25 - 2 \cdot 25 \cdot 45 + 60 \cdot 45}{2 \cdot 60 - 25 - 45} = 39\,°\mathrm{C}.$$

Ответ: $t_4 = 39$ °С.

97. *Возможное решение.*

Запишем уравнение теплового баланса для системы «стакан с водой + первый шарик»:

$c_{в} \cdot (t_3 - t_1) + c_{ш} \cdot (t_3 - t_2) = 0.$

Здесь $c_{в}$ — теплоёмкость стакана с водой, $c_{ш}$ — теплоёмкость шарика.

Запишем уравнение теплового баланса для системы «стакан с водой + первый шарик + второй шарик»:

$c_{в} \cdot (t_4 - t_3) + c_{ш} \cdot (t_4 - t_3) + c_{ш} \cdot (t_4 - t_2) = 0.$

Решая записанную систему уравнений относительно t_4, получаем:

$$t_1 = \frac{t_2 t_4 - 2t_2 t_3 + t_3 t_4}{2t_4 - t_2 - t_3} = \frac{10 \cdot 22 - 2 \cdot 10 \cdot 30 + 30 \cdot 22}{2 \cdot 22 - 10 - 30} = 70\ °C.$$

Ответ: $t_1 = 70\ °C$.

98. *Возможное решение.*

Определим конечное состояние смеси лёд–вода, для чего сравним количество теплоты Q_2, необходимое для нагревания льда до температуры плавления, и количество теплоты Q_2, которое может отдать вода при остывании до начала процесса кристаллизации:

$Q_1 = c_1 m_1 \cdot (0 - t_1) = 2100 \cdot 2 \cdot (0 - (-20)) = 84\,000$ Дж;

$Q_2 = c_2 m_2 t_2 = 4200 \cdot 0,5 \cdot 10 = 21\,000$ Дж.

$Q_1 > Q_2$, следовательно, вода остынет до 0 °C и начнёт кристаллизоваться в момент, когда температура льда ещё не поднялась до 0 °C.

Для того чтобы полностью превратиться в лёд, воде при 0 °C необходимо отдать количество теплоты

$Q_3 = \lambda m_2 = 330\,000 \cdot 0,5 = 165\,000$ Дж.

Так как $Q_1 < Q_2 + Q_3$, $84\,000 < 21\,000 + 165\,000 = 186\,000$,

можно сделать вывод, что только часть воды массой m_3 превратится в лёд и в сосуде установится конечная температура $t_{к} = 0$ °C.

Запишем уравнение теплового баланса:

$c_1 m_1 \cdot (0 - t_1) + c_2 m_2 \cdot (0 - t_2) - \lambda m_3 = 0$.

Таким образом, масса кристаллизовавшейся воды:

$$m_3 = -\frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{\lambda} = \frac{2100 \cdot 2 \cdot (-20) + 4200 \cdot 0{,}5 \cdot 10}{330\,000} \approx 0{,}19 \text{ кг.}$$

В итоге получаем, что после установления теплового равновесия в сосуде будет находиться $M = m_1 + m_3 \approx 2 + 0{,}19 = 2{,}19$ кг льда.

Ответ: $M \approx 2{,}19$ кг.

99. *Возможное решение.*

Определим конечное состояние смеси лёд–вода, для чего сравним количество теплоты Q_1, необходимое для нагревания льда до температуры плавления, и количество теплоты Q_2, которое может отдать вода при остывании до начала процесса кристаллизации:

$Q_1 = c_1 m_1 \cdot (0 - t_1) = 2100 \cdot 1 \cdot (0 - (-20)) = 42\,000$ Дж;

$Q_2 = c_2 m_2 t_2 = 4200 \cdot 0{,}5 \cdot 40 = 84\,000$ Дж.

$Q_1 < Q_2$, следовательно, лёд нагреется до 0 °С и начнёт плавиться в момент, когда температура воды ещё не опустилась до 0 °С.

Для того чтобы полностью превратиться в воду, льду при 0 °С необходимо сообщить количество теплоты

$Q_3 = \lambda m_1 = 330\,000 \cdot 1 = 330\,000$ Дж.

Так как $Q_2 < Q_1 + Q_3$, $84\,000 < 42\,000 + 330\,000 = 372\,000$, можно сделать вывод, что только часть льда массой m_3 превратится в воду и в сосуде установится конечная температура $t_к = 0$ °С.

Запишем уравнение теплового баланса:

$c_1 m_1 \cdot (0 - t_1) + c_2 m_2 \cdot (0 - t_2) + \lambda m_3 = 0$.

Таким образом, масса расплавившегося льда:

$$m_3 = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{\lambda} = \frac{2100 \cdot 1 \cdot (-20) + 4200 \cdot 0{,}5 \cdot 40}{330\,000} \approx 0{,}13 \text{ кг.}$$

В итоге получаем, что после установления теплового равновесия в сосуде будет находиться

$M = m_2 + m_3 \approx 0{,}5 + 0{,}13 = 0{,}63$ кг воды.

Ответ: $M \approx 0{,}63$ кг.

Справочное издание

Демидова Марина Юрьевна
Грибов Виталий Аркадьевич
Гиголо Антон Иосифович

ЕГЭ
ФИЗИКА

Механика. Молекулярная физика
450 ЗАДАЧ
С ОТВЕТАМИ И РЕШЕНИЯМИ

Издательство «***ЭКЗАМЕН***»

Гигиенический сертификат
№ РОСС RU C-RU.AK01.H.04670/19 с 23.07.2019 г.

Главный редактор *Л. Д. Лаппо*
Редактор *Г. А. Лонцова*
Технический редактор *Л. В. Павлова*
Корректоры *Е. Н. Цветкова, О. Ю. Казанаева*
Дизайн обложки *Л. В. Демьянова*
Компьютерная верстка *А. С. Миронова*

Россия, 107045, Москва, Луков пер., д. 8. www.examen.biz
E-mail: по общим вопросам: info@examen.biz;
по вопросам реализации: sale@examen.biz
тел./факс 8 (495) 641-00-30 (многоканальный)

Общероссийский классификатор продукции
ОК 034-2014; 58.11.1 — книги печатные

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ООО “Красногорская типография”. 143405, Московская область, г. Красногорск,
Коммунальный квартал, дом 2. www.ktprint.ru

По вопросам реализации обращаться по тел.: 8 (495) 641-00-30 (многоканальный).