

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА. 2023–2024 уч. г.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

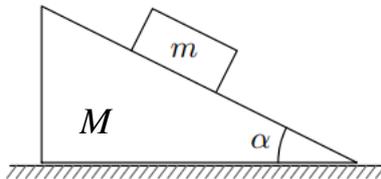
Максимальный балл за работу – 60.

Тестовые задания

1. Материальная точка начала двигаться вдоль прямой с постоянным ускорением, равным по модулю 3 м/с^2 , и через 8 секунд после начала движения вернулась в исходное положение. Чему был равен модуль начальной скорости этой материальной точки?

- 1) 6 м/с
- 2) 9 м/с
- 3) 12 м/с
- 4) 24 м/с

2. Клин массой M находится на горизонтальной поверхности шероховатого стола (см. рисунок). На поверхность клина, наклонённую под углом α к горизонту, аккуратно положили брусок массой m и отпустили. В результате оказалось, что брусок покоится относительно клина, а клин неподвижен относительно стола. Коэффициент трения скольжения между бруском и клином равен μ . Найдите модуль силы трения между столом и клином, когда на нём лежит брусок. Вектор ускорения свободного падения g направлен вертикально вниз.

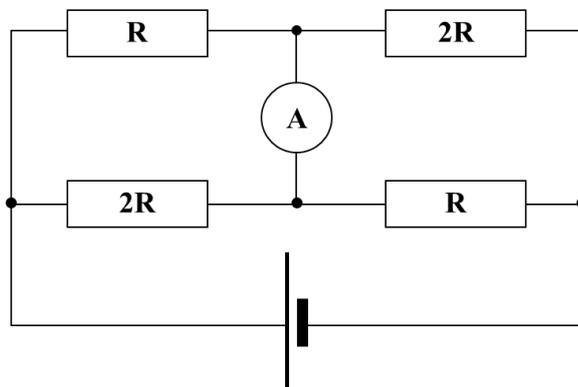


- 1) $\mu Mg \sin \alpha$
- 2) $mg \cos \alpha (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$
- 3) $\mu mg \cos \alpha \sin \alpha$
- 4) 0

3. Два неподвижных точечных отрицательных заряда $q_1 = -10 \text{ нКл}$ и $q_2 = -40 \text{ нКл}$ располагаются в вакууме на расстоянии $L = 60 \text{ см}$ друг от друга. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, напряжённость поля в которой равна нулю? Других зарядов вокруг нет.

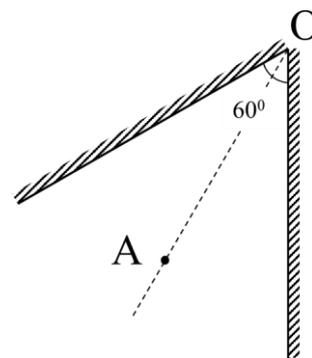
- 1) 12 см
- 2) 15 см
- 3) 20 см
- 4) 40 см

4. Определите показания идеального амперметра, если напряжение на батарее 6 В, а сопротивление $R = 1$ Ом. Указанные на схеме параметры элементов электрической цепи считайте известными.



- 1) 0 А
- 2) 0,5 А
- 3) 1,5 А
- 4) 4,5 А

5. Точечный источник света находится в точке A на биссектрисе угла O , который образован двумя плоскими зеркалами и равен 60° . Найдите расстояние между двумя первыми изображениями источника в каждом из зеркал, если $OA = 10$ см.



- 1) $\approx 8,7$ см
- 2) 10 см
- 3) $\approx 17,3$ см
- 4) 20 см

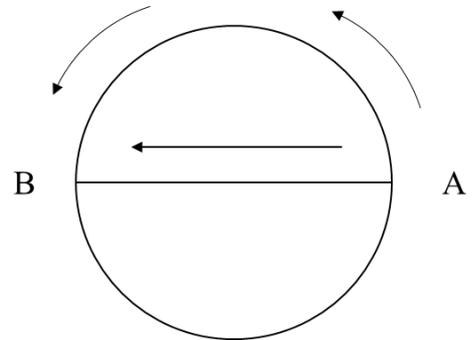
Ответы:

№ задания	1	2	3	4	5
Ответ	3	4	3	3	3
Балл	2 балла				

Задания с кратким ответом

Задачи 6-7

Рик бежит по окружности с постоянной по модулю скоростью. В точке A он встречает Морти, который бежит с постоянным ускорением по диаметру AB той же окружности. Скорость Морти в момент встречи была равна по величине скорости Рика. После этого Рик, не изменяя модуля скорости, пробежал полкруга и встретился с Морти в точке B , куда тот как раз успел добежать.



6. Ускорился или замедлялся Морти? (3 балла)

7. Определите отношение модуля ускорения Рика к модулю ускорения Морти. Ответ округлите до десятых долей. (5 баллов)

Решение:

6. Пусть скорость героев в момент встречи в точке A равна v , а радиус окружности R . Рик пробегает половину окружности за время $t_p = \frac{\pi R}{v}$. Если бы Морти бежал по диаметру с постоянной скоростью, то он бы потратил время $t_m = \frac{2R}{v}$.

Видим, что $t_p > t_m$, а по условию в точку B они прибыли одновременно, значит Морти замедлялся.

7. Рик бежит по окружности с постоянной скоростью, а значит, обладает только центростремительным ускорением $a_p = \frac{v^2}{R}$.

Запишем выражение для перемещения Морти:

$$2R = v \cdot t_p - \frac{a_m t_p^2}{2} = \pi R - \frac{a_m \pi^2 R^2}{2v^2}.$$

Откуда $a_m = \frac{2(\pi-2)v^2}{\pi^2 R}$. Тогда искомое отношение равно $\frac{a_p}{a_m} = \frac{\pi^2}{2(\pi-2)} \approx 4,3$.

Ответ:

6	7
замедлялся	4,3

Максимум за задачу 8 баллов.

Задачи 8-10

На гладкой горизонтальной поверхности лежит мишень массой $M = 9$ кг. С интервалом $t = 1$ с в неё попадают и застревают 4 горизонтально летящие пули, первая из которых летит с юга, вторая с запада, третья с севера, а четвертая с востока. Масса каждой пули $m = 9$ г, а скорость $v = 141$ м/с.

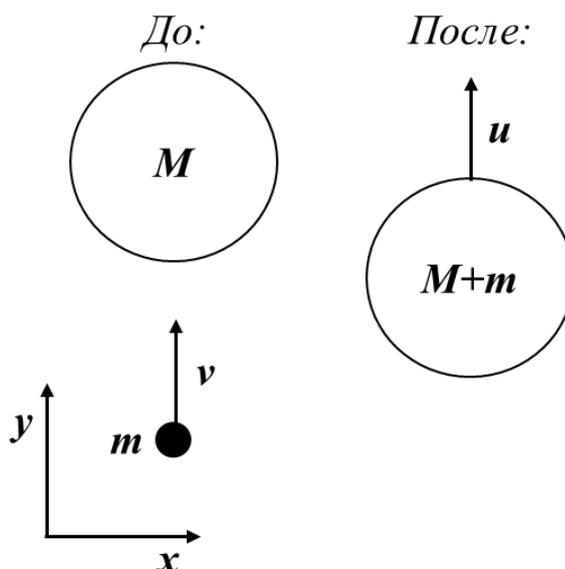
8. В каком направлении от начального положения окажется смещённой мишень в момент сразу после застревания в ней четвертой пули? Ответ дайте с указанием стороны света (например, «юго-восток»). (2 балла)

9. Чему равна максимальная скорость движения мишени в процессе её движения? Ответ выразите в метрах в секунду, округлив до десятых долей. (4 балла)

10. На какое расстояние от начального положения окажется смещённой мишень в момент сразу после застревания в ней четвертой пули? Ответ выразите в дм, округлив до целого числа. (4 балла)

Решение:

8. Каждое столкновение пули с мишенью является абсолютно неупругим соударением, в процессе которого сохраняется импульс системы тел: импульс мишени с застрявшими пулями увеличивается на величину импульса пули.



После первого удара мишень приобретёт импульс, равный импульсу пули, направленный вдоль оси Y . А значит, после первого удара мишень будет двигаться на север. После второго удара она дополнительно приобретёт такой же по модулю импульс, направленный на восток, а значит,

и компоненту скорости, направленную на восток. После удара третьей пули проекция импульса системы на ось Y станет равной нулю, а значит, и проекция скорости на ось Y станет равна 0. После удара четвертой пули импульс системы станет равным нулю, мишень остановится. Таким образом, в итоге мишень сместится на северо-восток.

9. Максимальная скорость будет у мишени после второго удара пули. Запишем закон сохранения импульса в проекции на ось Y для первого удара:

$$mv = (m + M)u_{1y}. \text{ Откуда } u_{1y} = \frac{mv}{m+M}.$$

Аналогично запишем закон сохранения импульса в проекции на ось X для второго удара: $mv = (2m + M)u_{2x}$. Откуда $u_{2x} = \frac{mv}{2m+M}$.

Таким образом максимальная скорость мишени будет равна $u = \sqrt{u_{1y}^2 + u_{2x}^2} \approx 0,2 \text{ м/с}$.

10. Мишень сместится по оси Y на расстояние $S_{1y} = u_{1y} \cdot 2t$ и по оси X на расстояние $S_{2x} = u_{2x} \cdot 2t$. Таким образом полное смещение

$$S = \sqrt{S_{1y}^2 + S_{2x}^2} = u \cdot 2t \approx 0,4 \text{ м} = 4 \text{ дм}.$$

Ответ:

8	9	10
северо-восток	0,2	4

Максимум за задачу 10 баллов.

Задачи 11-12

Перед тем, как идти играть на улицу, Петя задумал надуть футбольный мяч. Он узнал, что наиболее подходящее для игры дополнительное к атмосферному давление в мяче составляет 12 psi (1 psi = 6,89 кПа). В подвале у Пети находится насос с манометром. Температура воздуха в подвале +15 °С, а на улице +30 °С. Петя решил надуть мяч так, чтобы на улице после прогрева мяча давление в нём оказалось равным рекомендованному. Атмосферное давление неизменно и всюду равно 103 кПа.

11. До какого дополнительного к атмосферному давления Петя надул мяч в подвале, если он предполагал, что при переносе из подвала на улицу объём мяча не изменяется? Считайте, что Петя не допустил ошибок в своих расчётах, и что в процессе надувания мяча температура воздуха в нём не изменяется. Ответ дайте в единицах psi, округлив значение до десятых долей. **(5 баллов)**

12. Петя вышел на улицу, дождался, пока мяч прогреется, и на всякий случай проверил давление в мяче. Оказалось, что оно составило 11,5 psi. На сколько процентов увеличился объём мяча при переносе на улицу? Округлите ответ до целого числа. (5 баллов)

Решение:

11. Воспользуемся законом Шарля для изохорного процесса: $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$, где P_1 и T_1 – давление и температура воздуха в мяче на улице, P_2 и T_2 – давление и температура воздуха в мяче в подвале.

$$\text{Отсюда } P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}.$$

В условии дано дополнительное к атмосферному давление, т.е. $P_1 = \Delta P_1 + P_{\text{атм}} = 12 \cdot \text{psi} + 103 \text{ кПа} \approx 186 \text{ кПа}$.

Нам необходимо найти дополнительное к атмосферному давление:

$$\Delta P_2 = P_2 - P_{\text{атм}} = \frac{P_1 T_2}{T_1} - P_{\text{атм}} \approx 73,8 \text{ кПа} \approx 10,7 \text{ psi}.$$

12. Воспользуемся уравнением Менделеева–Клапейрона:

$$\frac{(P_{\text{атм}} + 11,5 \cdot \text{psi})V'}{T_1} = \frac{(P_{\text{атм}} + 10,7 \cdot \text{psi})V}{T_2}.$$

$$\text{Отсюда } \frac{V'}{V} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{P_{\text{атм}} + 10,7 \cdot \text{psi}}{P_{\text{атм}} + 11,5 \cdot \text{psi}}.$$

Искомая величина $\alpha = \left(\frac{V'}{V} - 1\right) \cdot 100 \% \approx 2 \%$.

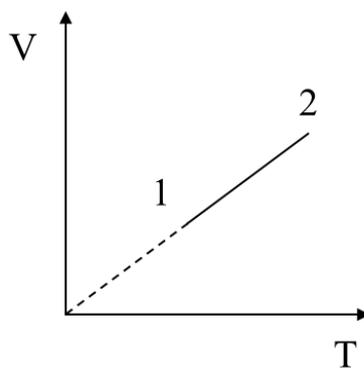
Ответ:

11	12
10,7	2

Максимум за задачу 10 баллов.

Задачи 13-15

Один моль идеального одноатомного газа расширяется в процессе 1–2, в котором объём V газа возрастает прямо пропорционально его абсолютной температуре T – по закону $V = \alpha T$, где $\alpha = 0,04$ дм³/К. Изменение температуры газа в этом процессе равно $\Delta T = 80$ К. Атмосферное давление равно 103 кПа, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



13. Определите первоначальное давление газа в состоянии 1. Ответ дайте в атмосферах, округлив до целого числа. (2 балла)

14. Определите работу газа в процессе 1–2. Ответ дайте в Дж, округлив до целого числа. (3 балла)

15. Какое количество теплоты получает газ в процессе 1–2? Ответ дайте в кДж, округлив до десятых долей. (3 балла)

Решение:

13. Пусть первоначальная температура газа T_1 , тогда первоначальный объём $V_1 = \alpha T_1$. Начальное давление p_1 можно найти из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$p_1 = \frac{\nu RT_1}{V_1} = \frac{\nu R}{\alpha} \approx 2 \text{ атм.}$$

14. Так как в процессе 1–2 объём прямо пропорционален температуре, в этом процессе давление не меняется и всё время равно p_1 . Пусть в состоянии 2 объём газа V_2 , а температура T_2 . Работа газа в этом процессе равна

$$A = p_1(V_2 - V_1) = p_1V_2 - p_1V_1 = \nu RT_2 - \nu RT_1 = \nu R\Delta T \approx 665 \text{ Дж.}$$

15. Согласно первому началу термодинамики, в процессе 1–2 газ получает количество теплоты $Q = A + \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{5}{2}\nu R\Delta T \approx 1,7$ кДж.

Ответ:	13	14	15
	2	665	1,7

Максимум за задачу 8 баллов.

Задачи 16-21

Маленький шарик, имеющий массу $m = 10$ г и неизменный заряд $q = +1$ нКл, подвешен на лёгкой непроводящей нерастяжимой нити в углу, образованном двумя бесконечными плоскостями (рис. 1). Плоскости изготовлены из диэлектрика, расположены вертикально и перпендикулярны друг другу. Первоначально ни одна из поверхностей не заряжена. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с², диэлектрическая постоянная

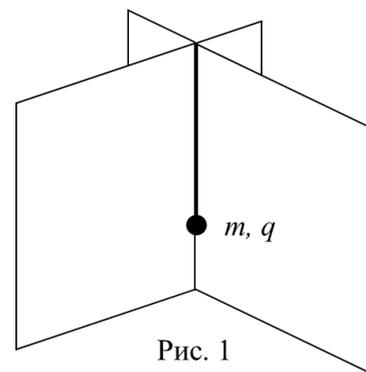


Рис. 1

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н} \cdot \text{м}^2), \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/ \text{Кл}^2.$$

16. Найдите модуль силы натяжения нити T_0 . Выразите ответ в ньютонах и округлите до десятых долей. (2 балла)

Одну из плоскостей равномерно заряжают зарядом с поверхностной плотностью $+\sigma = 1,77$ мКл/м². Известно, что вектор напряжённости электростатического поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью, всюду равен по модулю $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ и направлен перпендикулярно

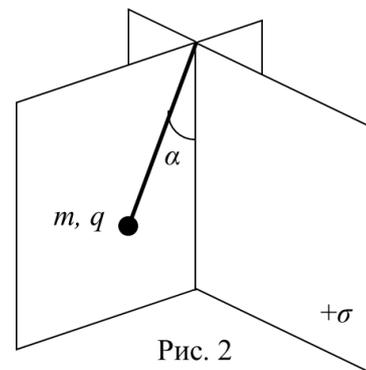


Рис. 2

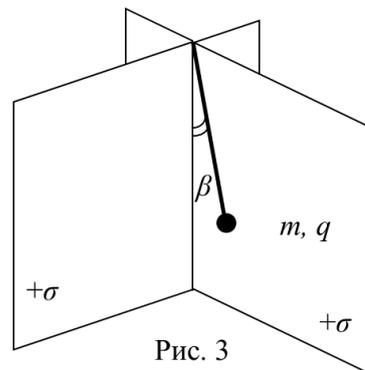
плоскости. Шарик на нити отклоняется от вертикали и переходит в новое положение равновесия (рис. 2) – будем называть это положение равновесия первым.

17. Вычислите модуль силы F_1 электростатического отталкивания шарика от заряженной плоскости. Ответ выразите в ньютонах и округлите до десятых долей. (2 балла)

18. Найдите модуль силы натяжения нити T_1 в первом положении равновесия. Выразите её в ньютонах и округлите до сотых долей. (2 балла)

19. Найдите угол α , который составляет нить с вертикалью в первом положении равновесия. Выразите его в градусах и округлите до целого числа. (2 балла)

Пусть теперь равномерно заряжены обе плоскости и поверхностная плотность заряда каждой из них равна $+\sigma = 1,77 \text{ мКл/м}^2$. Шарик на нити отклоняется от вертикали и переходит в другое положение равновесия (рис. 3) – будем называть это положение равновесия вторым.



20. Найдите модуль силы натяжения нити T_2 во втором положении равновесия. Выразите ответ в ньютонах и округлите до сотых долей. (3 балла)

21. Найдите угол β , который составляет нить с вертикалью во втором положении равновесия. Выразите ответ в градусах и округлите до целого числа. (3 балла)

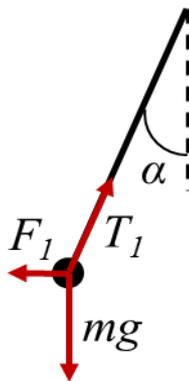
Решение:

16. Когда плоскости не заряжены, нить висит вертикально и сила её натяжения равна силе тяжести шарика: $T_0 = mg = 0,1 \text{ Н}$.

17. $F_1 = qE = q \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = 0,1 \text{ Н}$.

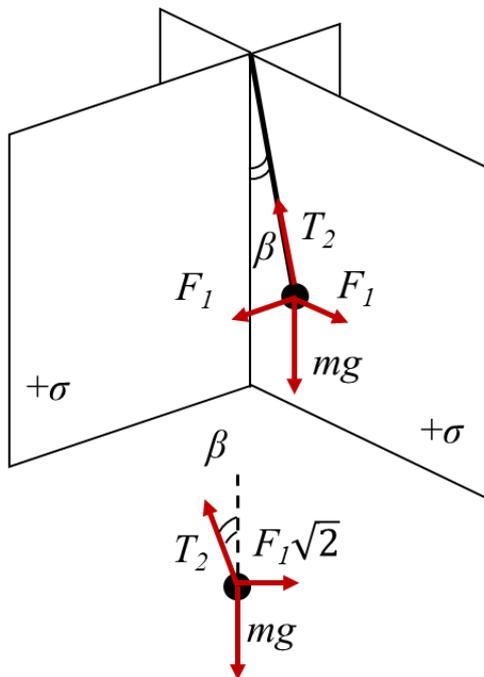
18. Шарик находится в равновесии под действием сил тяжести, натяжения и отталкивания от плоскости. Поэтому сила T_1 компенсирует сумму перпендикулярных друг другу сил mg и F (см. рис.).

$$T_1 = \sqrt{(mg)^2 + F_1^2} = \sqrt{2} \cdot 0,10 \text{ Н} \approx 0,14 \text{ Н}.$$



19. Поскольку $mg = F_1$, сила натяжения T_1 направлена под углом $\alpha = 45^\circ$ к вертикали.

20. Во втором положении равновесия сила натяжения T_2 компенсирует сумму силы тяжести mg и двух горизонтальных сил, перпендикулярных друг другу и равных по модулю F_1 каждая (см. рис.).



Поэтому $T_2 = \sqrt{(mg)^2 + F_1^2 + F_1^2} = \sqrt{3} \cdot 0,10 \text{ Н} \approx 0,17 \text{ Н}$.

21. $\text{tg } \beta = \frac{\sqrt{2}F_1}{mg} = \sqrt{2}$, поэтому $\beta = \text{arctg } \sqrt{2} \approx 55^\circ$.

Ответ:	16	17	18	19	20	21
	0,1	0,1	0,14	45	0,17	55

Максимум за задачу 14 баллов.

Максимальный балл за работу – 60.