ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2023-2024 года, вопросы по физике.
10 класс: возможные решения и критерии.

Вариант 3 (10 классы)

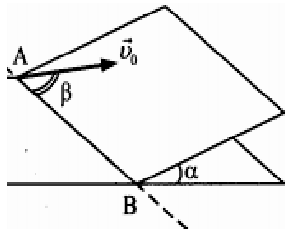
1. Плоскость наклонена под углом α = 30° к горизонту. На нее аккуратно кладут небольшую шайбу.

1.1. При какой минимальной величине коэффициента трения μ возможно, чтобы шайба осталась неподвижно лежать на плоскости? Ответ запишите с точностью до сотых.

Пусть $\mu = (\sqrt{3}/2) \approx 0{,}866$. Шайбу запустили вверх вдоль плоскости (против линии «падения воды») со скоростью v_0 = 3,0 м/с.

1.2. Найдите путь шайбы до остановки. Ускорение свободного падения можно считать равным 10 м/с^2. Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

В следующий раз ту же шайбу запустили на той же плоскости с той же скорости, но с отклонением от линии падения воды, причем выбрали угол отклонения β таким образом, что она остановилась в точности на той же горизонтали, с которой стартовала.



1.3. Найдите путь шайбы до остановки. Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

Возможное решение: Покой тела на шероховатой наклонной плоскости возможен, если $\mu \geq \mathrm{tg}(\alpha)$, и в нашем случае $\mu_{\min} = \mathrm{tg}(\alpha) \approx 0{,}58$.

При запуске «против линии падения воды» шайба тормозится и соответствующей компонентой силы тяжести $mg \cdot \sin(\alpha)$, и силой трения скольжения, равной $F_{mp} = \mu N = \mu mg \cdot \cos(\alpha)$, поэтому ее ускорение в проекции на линию движения $a = -g[\sin(\alpha) + \mu \cdot \cos(\alpha)]$. Поэтому тормозной путь шайбы в этом случае $s_1 = \dfrac{v_0^2}{2|a|} = \dfrac{v_0^2}{2g[\sin(\alpha) + \mu \cdot \cos(\alpha)]} = \dfrac{2v_0^2}{5g} \approx 36$ см.

Шайба останавливается в тот момент, когда она теряет всю свою начальную кинетическую энергию за счет работы внешних сил. Так как в данном случае остановка произошла на одной горизонтали с точкой старта, то работа силы тяжести над шайбой равна нулю, и убыль кинетической энергии связана только с работой силы трения скольжения, которая отрицательна и равна взятому со знаком «минус» произведению постоянного модуля этой силы на величину пройденного пути. Таким образом:

$$\mu mg \cdot \cos(\alpha) \cdot s_2 = \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow s_2 = \frac{v_0^2}{2\mu g \cdot \cos(\alpha)} = \frac{2v_0^2}{3g} \approx 60 \text{см.}$$

2. В вертикальном цилиндре высотой 2,00 м находится горизонтальный тонкий массивный поршень, который делит цилиндр на две части и может свободно скользить по нему вверх и вниз. В цилиндр, по обе стороны от поршня помещены одинаковые количества воздуха, который можно считать идеальным газом.

2.1. Определите отношение давлений в нижней и верхней частях цилиндра, если поршень располагается на высоте 50 см от дна цилиндра, а температура в обеих частях цилиндра одинакова. Ответ запишите с точностью до целого значения.

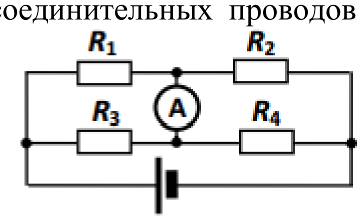
На этой высоте (50 см) поршень располагается при температуре содержимого цилиндра T_1 = 315 К. Чтобы поршень поднялся на 2 см от этого уровня, температуру нужно увеличить до T_2 = 336,7 К.

2.2. Какой должна стать температура содержимого цилиндра, чтобы поршень поднялся до высоты 60 см над дном цилиндра? Ответ запишите в К с точностью до целого значения.

2.3. На каком расстоянии от дна будет располагаться поршень при температуре T_1 = 315 К, если цилиндр перевести в горизонтальное положение? Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

Возможное решение: В соответствии с уравнением Менделеева-Клапейрона при одинаковой температуре и одинаковом количестве вещества давление обратно пропорционально объему, так что в указанном положении давление p_1 в нижней части будет в 3 раза больше, чем давление p_2 в верхней части.
Поршень находится в равновесии, если разность сил давления снизу и сверху равна силе тяжести, действующей на поршень, то есть p_1S-p_2S = mg. Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона, для нижней половины цилиндра $p_1S = \frac{\nu RT}{h}$, а для верхней $p_2S = \frac{\nu RT}{H-h}$. Введем переменную $x \equiv h/H$ (где h — высота положения поршня, а H — полная высота цилиндра). Тогда уравнение равновесия можно переписать в виде $\frac{mgH}{\nu RT} = \frac{1-2x}{x(1-x)}$, из которого следует, что, поскольку при температуре T_1 x_1 = 0,25, $\frac{mgH}{\nu RT_1} = \frac{8}{3}$. В соответствии с этим для любой температуры $\frac{8T_1}{3T} = \frac{1-2x}{x(1-x)}$, или $T = \frac{8T_1}{3}\frac{x(1-x)}{1-2x}$. Значит, x = 0,3 соответствует T = 441 К.
При горизонтальном положении цилиндра давления по разные стороны от поршня должны выровняться, в для этого поршень должен располагаться точно посередине цилиндра (при равных давлении и температуре объемы одинаковых количеств газа должны быть равны). Поэтому в этом случае поршень будет располагаться на расстоянии 100 см от дна.
Отметим, что нам не понадобилась информация о второй точке зависимости $T(x)$, имеющаяся в условии. Ее можно было использовать для другого – более длинного – способа решения, приводящего к такому же ответу.

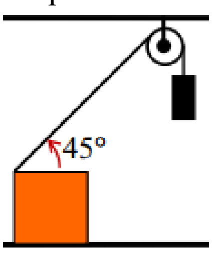
3. В схеме, показанной на рисунке, сопротивление всех соединительных проводов пренебрежимо мало. При разомкнутой цепи напряжение на клеммах источника равно 12 В. Сопротивления резисторов равны $R_1 = 2$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_2 = R_4 = 5$ Ом, внутреннее сопротивление источника $r = 1$ Ом. Амперметр можно считать идеальным.



3.1. Найдите полное сопротивление пары параллельно соединенных резисторов R_1 и R_3. Ответ запишите в Ом с точностью до десятых.
3.2. Чему равна сила тока в ветви с источником? Ответ запишите в в А с точностью до десятых.
3.3. Какую величину силы тока показывает амперметр? Ответ запишите в А с точностью до десятых.

Возможное решение: В соответствии с законами параллельного соединения, $R_{13} = \frac{R_1R_3}{R_1+R_3} = 1{,}5$ Ом.
Аналогично сопротивление второй пары параллельно соединенных резисторов R_2 и R_4 равно 2,5 Ома, и полное сопротивление цепи источника R = 5 Ом. Поэтому сила тока ветви с источником $I = \frac{U_0}{R} = 2{,}4$ А.
Этот ток делится между резисторами R_2 и R_4 с равными сопротивлениями поровну – по 1,2 А, а между R_1 и R_3 в соотношении 3:1, то есть $I_1 = 1{,}8$ А. Таким образом, сила тока через амперметр $I_A = I_1 - I_2 = 0{,}6$ А.

4. Однородный кубик с массой M = 2828 г покоится на горизонтальной поверхности. К середине одного из его верхних ребер прикреплена невесомая нерастяжимая нить, перекинутая через идеальный блок, на другом конце которой подвешен груз массой m (см. рисунок). Наклонный участок нити составляет угол 45° с горизонтом. Коэффициент трения кубика о поверхность μ = 1, ускорение свободного падения можно считать равным 10 м/с^2. Кубик удерживают на месте, затем аккуратно отпускают.



4.1. Найдите силу натяжения нити в этой системе при массе груза m = 707 г.

Ответ запишите в Н, с точностью до целого значения.

4.2. При какой минимальной величине массы груза кубик после отпускания может начать скользить по поверхности? Ответ запишите в г с точностью до целого значения.

4.3. При какой минимальной величине массы груза кубик после отпускания может начать вращаться вокруг одного из нижних ребер? Ответ запишите в г с точностью до целого значения.

Возможное решение: Сила натяжения нити не изменяется вдоль невесомой нити и при прохождении по «идеальному» блоку. Поэтому ее можно определить из условия равновесия груза: именно она уравновешивает действующую на груз силу тяжести: $T = mg \approx 7\,\text{Н}$.

Кубик может начать скользить, когда сдвигающая его сила (горизонтальная компонента силы натяжения нити, равная $mg\cdot\cos(\alpha)$, сравняется с максимальной величиной силы трения покоя, то есть при $mg\cdot\cos(\alpha) = \mu[Mg - mg\cdot\sin(\alpha)] \Rightarrow m = \dfrac{\mu M}{\cos(\alpha)+\mu\cdot\sin(\alpha)} = \dfrac{M}{\sqrt{2}} \approx 2000\,\text{г}$.

Кубик может начать вращаться вокруг правого (по рисунку) нижнего ребра, когда момент силы натяжения нити (плечо которой относительно указанного ребра равно $a\sqrt{2}$, где a – длина ребра кубика) сравняется с суммарным моментом силы тяжести и силы реакции опоры. Непосредственно перед началом поворота кубик опирается именно на это ребро, так что плечо силы реакции опоры равно нулю, а плечо силы тяжести кубика равно $a/2$. Значит, минимальная масса груза для начала поворота определяется из уравнения

$$mg\cdot a\sqrt{2} = Mg\frac{a}{2} \Rightarrow m = \frac{M}{2\sqrt{2}} \approx 1000\,\text{г}.$$

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):

вопрос	ответ участника	балл
1.1	**0,58**	**3**
	0,57	**2**
	0,56 или 0,58	**1**
1.2	**36**	**5**
	35 или 37	**3**
	34 или 38	**1**
1.3	**60**	**7**
	59 или 61	**4**
	58 или 62	**2**
2.1	**3**	**3**
2.2	**441**	**4**
	323 или 324	**1**
2.3	**100**	**3**
3.1	**1,5**	**4**
	1,4 или 1,6	**1**
	2,4	**5**

3.2	2,2 или 2,3 или 2,5 или 2,6	**3**
3.3	**0,6**	**6**
	0,5 или 0,7	**3**
	0,4 или 0,8	**1**
4.1	**7**	**2**
	4 или 6	**1**
4.2	**2000**	**4**
	1999	**2**
	1414 или 2828	**1**
4.3	**1000**	**4**
	999	**2**
	1414 или 2000	**1**
Максимальная оценка		**50**

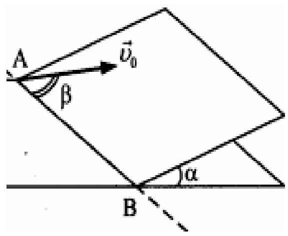
Вариант 7 (10 классы)

1. Плоскость наклонена под углом α = arcsin(0,6) ≈ 36,9° к горизонту. На нее аккуратно кладут небольшую шайбу.

1.1. При какой минимальной величине коэффициента трения μ возможно, чтобы шайба осталась неподвижно лежать на плоскости? Ответ запишите с точностью до сотых.

Пусть μ = 0,85. Шайбу запустили вверх вдоль плоскости (против линии «падения воды») со скоростью v_0 = 3,2 м/с.

1.2. Найдите путь шайбы до остановки. Ускорение свободного падения можно считать равным 10 м/с^2. Ответ запишите в см с точностью до целого значения.



В следующий раз ту же шайбу запустили на той же плоскости с той же скоростью, но с отклонением от линии падения воды, причем выбрали угол отклонения β таким образом, что она остановилась в точности на той же горизонтали, с которой стартовала.

1.3. Найдите путь шайбы до остановки. Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

Возможное решение: Покой тела на шероховатой наклонной плоскости возможен, если $\mu \geq \mathrm{tg}(\alpha)$, и в нашем случае $\mu_{\min} = \mathrm{tg}(\alpha) \approx 0{,}75$.

При запуске «против линии падения воды» шайба тормозится и соответствующей компонентой силы тяжести mg·sin(α), и силой трения скольжения, равной $F_{mp} = \mu N = \mu mg\cdot\cos(\alpha)$, поэтому ее ускорение в проекции на линию движения $a = -g[\sin(\alpha)+\mu\cdot\cos(\alpha)]$. Поэтому тормозной путь шайбы в этом случае $s_1 = \dfrac{v_0^2}{2|a|} = \dfrac{v_0^2}{2g[\sin(\alpha)+\mu\cdot\cos(\alpha)]} = 40$ см.

Шайба останавливается в тот момент, когда она теряет всю свою начальную кинетическую энергию за счет работы внешних сил. Так как в данном случае остановка произошла на одной горизонтали с точкой старта, то работа силы тяжести над шайбой равна нулю, и убыль кинетической энергии связана только с работой силы трения скольжения, которая отрицательна и равна взятому со знаком «минус» произведению постоянного модуля этой силы на величину пройденного пути. Таким образом:

$$\mu mg\cdot\cos(\alpha)\cdot s_2=\frac{mv_0^2}{2}\Rightarrow s_2=\frac{v_0^2}{2\mu g\cdot\cos(\alpha)}\approx 75\,\text{см}.$$

2. В вертикальном цилиндре высотой 2,00 м находится горизонтальный тонкий массивный поршень, который делит цилиндр на две части и может свободно скользить по нему вверх и вниз. В цилиндр, по обе стороны от поршня помещены одинаковые количества воздуха, который можно считать идеальным газом.

2.1. Определите отношение давлений в нижней и верхней частях цилиндра, если поршень располагается на высоте 50 см от дна цилиндра, а температура в обеих частях цилиндра одинакова. Ответ запишите с точностью до целого значения.

На этой высоте (50 см) поршень располагается при температуре содержимого цилиндра T_1 = 315 К. Чтобы поршень поднялся на 2 см от этого уровня, температуру нужно увеличить до T_2 = 336,7 К.

2.2. Какой должна стать температура содержимого цилиндра, чтобы поршень поднялся до высоты 60 см над дном цилиндра? Ответ запишите в К с точностью до целого значения..

2.3. На каком расстоянии от дна будет располагаться поршень при температуре T_1 = 315 К, если цилиндр перевести в горизонтальное положение? Ответ запишите в см с точностью до целого значения.

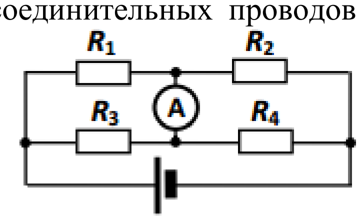
Возможное решение: В соответствии с уравнением Менделеева-Клапейрона при одинаковой температуре и одинаковом количестве вещества давление обратно пропорционально объему, так что в указанном положении давление p_1 в нижней части будет в 3 раза больше, чем давление p_2 в верхней части.

Поршень находится в равновесии, если разность сил давления снизу и сверху равна силе тяжести, действующей на поршень, то есть p_1S-$p_2S = mg$. Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона, для нижней половины цилиндра $p_1S=\frac{\nu RT}{h}$, а для верхней $p_2S=\frac{\nu RT}{H-h}$. Введем переменную $x \equiv h/H$ (где h — высота положения поршня, а H — полная высота цилиндра). Тогда уравнение равновесия можно переписать в виде $\frac{mgH}{\nu RT}=\frac{1-2x}{x(1-x)}$, из которого следует, что, поскольку при температуре T_1 x_1 = 0,25, $\frac{mgH}{\nu RT_1}=\frac{8}{3}$. В соответствии с этим для любой температуры $\frac{8T_1}{3T}=\frac{1-2x}{x(1-x)}$, или $T=\frac{8T_1}{3}\frac{x(1-x)}{1-2x}$. Значит, x = 0,3 соответствует T = 441 К.

При горизонтальном положении цилиндра давления по разные стороны от поршня должны выровняться, в для этого поршень должен располагаться точно посередине цилиндра (при равных давлении и температуре объемы одинаковых количеств газа должны быть равны). Поэтому в этом случае поршень будет располагаться на расстоянии 100 см от дна.

Отметим, что нам не понадобилась информация о второй точке зависимости $T(x)$, имеющаяся в условии. Ее можно было использовать для другого – более длинного – способа решения, приводящего к такому же ответу.

3. В схеме, показанной на рисунке, сопротивление всех соединительных проводов пренебрежимо мало. При разомкнутой цепи напряжение на клеммах источника равно 12 В. Сопротивления резисторов равны $R_1=4\,\text{Ом}$, $R_3=8\,\text{Ом}$, $R_2=10\,\text{Ом}$, $R_4=5\,\text{Ом}$, внутреннее сопротивление источника $r=2\,\text{Ом}$. Амперметр можно считать идеальным.



3.1. Найдите полное сопротивление пары параллельно соединенных резисторов R_1 и R_3. Ответ запишите в Ом с точностью до сотых.

3.2. Чему равна сила тока в ветви с источником? Ответ запишите в в А с точностью до десятых.

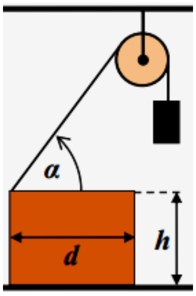
3.3. Какую величину силы тока показывает амперметр? Ответ запишите в А с точностью до десятых.

Возможное решение: В соответствии с законами параллельного соединения, $R_{13} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 2\frac{2}{3}$ Ом $\approx 2{,}67$ Ом.

Аналогично сопротивление второй пары параллельно соединенных резисторов R_2 и R_4 равно 3⅓ Ома, и полное сопротивление цепи источника R = 8 Ом. Поэтому сила тока ветви с источником $I = \frac{U_0}{R} = 1{,}5$ А.

Этот ток делится между резисторами R_2 и R_4 в отношении 1:2, и I_2 = 0,5 А, а между R_1 и R_3 в соотношении 2:1, и $I_1 = 1{,}0$ А. Таким образом, сила тока через амперметр $I_A = I_1 - I_2 = 0{,}5$ А.

4. Однородный брусок с массой M = 1600 г, ширина которого равна d = 20 см, а высота h = 15 см, покоится на горизонтальной поверхности. К середине одного из его верхних ребер прикреплена невесомая нерастяжимая нить, перекинутая через идеальный блок, на другом конце которой подвешен груз массой m (см. рисунок). Наклонный участок нити составляет угол, в точности равный α = arcsin(0,8)≈53° с горизонтом. Коэффициент трения бруска о поверхность μ = 0,5, ускорение свободного падения можно считать равным 10 м/с^2. Кубик удерживают на месте, затем аккуратно отпускают.



4.1. Найдите силу натяжения нити в этой системе при массе груза m = 500 г. Ответ запишите в Н, с точностью до целого значения.

4.2. При какой минимальной величине массы груза брусок после отпускания может начать скользить по поверхности? Ответ запишите в г с точностью до целого значения.

4.3. При какой минимальной величине массы груза брусок после отпускания может начать вращаться вокруг одного из нижних ребер? Ответ запишите в г с точностью до целого значения.

Возможное решение: Сила натяжения нити не изменяется вдоль невесомой нити и при прохождении по «идеальному» блоку. Поэтому ее можно определить из условия равновесия груза: именно она уравновешивает действующую на груз силу тяжести: $T = mg \approx 5$ Н.

Кубик может начать скользить, когда сдвигающая его сила (горизонтальная компонента силы натяжения нити, равная $mg \cdot \cos(\alpha) = 0{,}6mg$, сравняется с максимальной величиной силы трения покоя, то есть при $mg \cdot \cos(\alpha) = \mu[Mg - mg \cdot \sin(\alpha)] \Rightarrow m = \frac{\mu M}{\cos(\alpha) + \mu \cdot \sin(\alpha)} = \frac{M}{2} = 800$ г.

Кубик может начать вращаться вокруг правого (по рисунку) нижнего ребра, когда момент силы натяжения нити (плечо которой относительно указанного ребра равно $\sqrt{h^2 + d^2} = 25$ см сравняется с суммарным моментом силы тяжести и силы реакции опоры. Непосредственно перед началом поворота кубик опирается именно на это ребро, так что плечо силы реакции опоры равно нулю, а плечо силы тяжести кубика равно d/2. Значит, минимальная масса груза для начала поворота определяется из уравнения

$$mg \cdot \sqrt{h^2 + d^2} = Mg\frac{d}{2} \Rightarrow m = \frac{dM}{2\sqrt{h^2 + d^2}} = \frac{2}{5}M = 640 \text{ г}.$$

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):

вопрос	ответ участника	балл
1.1	**0,75**	**3**
	0,76	**2**
	0,74 или 0,77	**1**

1.2	**40**	**5**
	39 или 41	**3**
	38 или 42	**1**
1.3	**75**	**7**
	74 или 76	**4**
	73 или 77	**2**
2.1	**3**	**3**
2.2	**441**	**4**
	323 или 324	**1**
2.3	**100**	**3**
3.1	**2,67**	**4**
	2,66 или 2,7	**1**
3.2	**1,5**	**5**
	1,3 или 1,4 или 1,6 или 1,7	**3**
3.3	**0,5**	**6**
	0,4 или 0,6	**3**
	0,3 или 0,7	**1**
4.1	**5**	**2**
	4 или 6	**1**
4.2	**800**	**4**
	801	**2**
	400 или 1600	**1**
4.3	**640**	**4**
	641	**2**
	320 или 1280	**1**
Максимальная оценка		**50**