

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

Вариант 3 (10 классы)

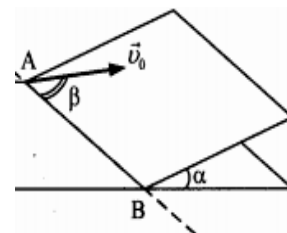
1. Плоскость наклонена под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. На нее аккуратно кладут небольшую шайбу.

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/с². 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 $\mu \geq \operatorname{tg}(\alpha)$, и в нашем случае $\mu_{\min} = \operatorname{tg}(\alpha) \approx 0,58$.

При запуске «против линии падения воды» шайба тормозится и соответствующей компонентой силы тяжести $mg \cdot \sin(\alpha)$, и силой трения скольжения, равной $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cdot \cos(\alpha)$, поэтому ее ускорение в проекции на линию движения $a = -g[\sin(\alpha) + \mu \cdot \cos(\alpha)]$. Поэтому тормозной путь шайбы

в этом случае $s_1 = \frac{v_0^2}{2|a|} = \frac{v_0^2}{2g[\sin(\alpha) + \mu \cdot \cos(\alpha)]} = \frac{2v_0^2}{5g} \approx 36$ 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

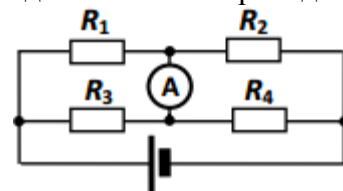
$x_1 = 0,25$, $\frac{mgH}{\nu RT_1} = \frac{8}{3}$. В соответствии с этим для любой температуры $\frac{8T_1}{3T} = \frac{1-2x}{x(1-x)}$, или

$T = \frac{8T_1 x(1-x)}{3(1-2x)}$. 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 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,

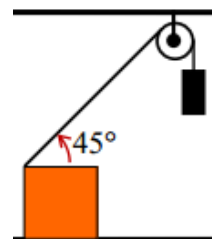
$$R_{13} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 1,5 \text{ Ом.}$$

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

$$I = \frac{U_0}{R} = 2,4 \text{ А.}$$

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 $\mu = 1$, 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 уравнивает 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

$$\text{есть при } mg \cdot \cos(\alpha) = \mu[Mg - mg \cdot \sin(\alpha)] \Rightarrow m = \frac{\mu M}{\cos(\alpha) + \mu \cdot \sin(\alpha)} = \frac{M}{\sqrt{2}} \approx 2000 \text{ г.}$$

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)

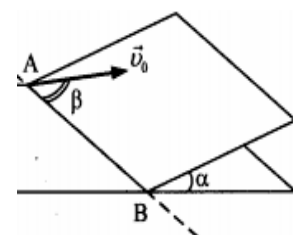
1. Плоскость наклонена под углом $\alpha = \arcsin(0,6) \approx 36,9^\circ$ к горизонту. На нее аккуратно кладут небольшую шайбу.

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

Пусть $\mu = 0,85$. 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/с². 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 $\mu \geq \operatorname{tg}(\alpha)$, и в нашем случае $\mu_{\min} = \operatorname{tg}(\alpha) \approx 0,75$.

При запуске «против линии падения воды» шайба тормозится и соответствующей компонентой силы тяжести $mg \cdot \sin(\alpha)$, и силой трения скольжения, равной $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cdot \cos(\alpha)$, поэтому ее ускорение в проекции на линию движения $a = -g[\sin(\alpha) + \mu \cdot \cos(\alpha)]$. Поэтому тормозной путь шайбы

в этом случае $s_1 = \frac{v_0^2}{2|a|} = \frac{v_0^2}{2g[\sin(\alpha) + \mu \cdot \cos(\alpha)]} = 40$ 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

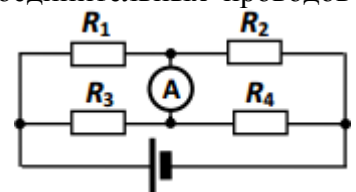
$$x_1 = 0,25, \quad \frac{mgH}{\nu RT_1} = \frac{8}{3}. \quad \text{В соответствии с этим для любой температуры } \frac{8T_1}{3T} = \frac{1 - 2x}{x(1 - x)}, \quad \text{или}$$

$$T = \frac{8T_1}{3} \frac{x(1 - x)}{1 - 2x}. \quad \text{Значит, } x = 0,3 \text{ соответствует } T = 441 \text{ К.}$$

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 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,

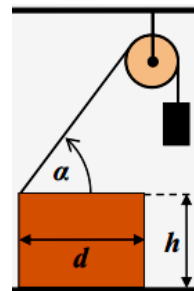
$$R_{13} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 2 \frac{2}{3} \text{ Ом} \approx 2,67 \text{ Ом}.$$

Аналогично сопротивление второй пары параллельно соединенных резисторов R_2 и R_4 равно $3\frac{1}{3}$ Ома, и полное сопротивление цепи источника $R = 8$ Ом. Поэтому сила тока ветви с источником

$$I = \frac{U_0}{R} = 1,5 \text{ А}.$$

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 $\alpha = \arcsin(0,8) \approx 53^\circ$ с горизонтом. Коэффициент трения бруска о поверхность $\mu = 0,5$, 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 уравнивает действующую на груз силу тяжести: $T = mg \approx 5 \text{ Н}$.

Кубик может начать скользить, когда сдвигающая его сила (горизонтальная компонента силы натяжения нити, равная $mg \cdot \cos(\alpha) = 0,6mg$, сравнивается с максимальной величиной силы трения

$$\text{покоя, то есть при } mg \cdot \cos(\alpha) = \mu[Mg - mg \cdot \sin(\alpha)] \Rightarrow m = \frac{\mu M}{\cos(\alpha) + \mu \cdot \sin(\alpha)} = \frac{M}{2} = 800 \text{ г}.$$

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 сравнивается 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

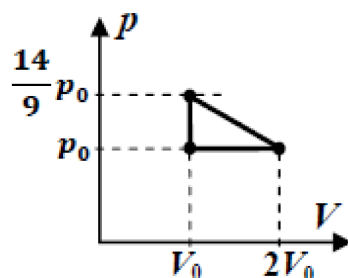
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест»
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2023-2024 года, вопросы по физике.
Вариант 3 (10 классы)

1. Упругая однородная цилиндрическая шайба с массами m и радиусом r скользила, не вращаясь, со скоростью $v_0 = 1,6$ м/с по гладкой горизонтальной поверхности. Другая однородная шайба с точно такими же размерами, но с массой $3m$, покоилась на этой поверхности на пути первой. Прицельный параметр (расстояние между линией движения первой шайбы и параллельной ей прямой, проходящей через центр второй) равнялся $b = r\sqrt{3}$ (см. рисунок). Произошел удар.

1.1. Под каким углом к направлению движения первой шайбы до удара, направлена скорость второй (более тяжелой) шайбы после удара? Ответ запишите в градусах, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

1.2. Найдите величину скорости второй шайбы после удара. Ответ запишите в м/с, с точностью до десятых, без указания единиц измерения.

2. Рабочим телом тепловой машины является постоянное количество одноатомного идеального газа. Цикл рабочего тела, показанный на рисунке в координатах давление-объем, состоит из трех процессов: изохоры (1), процесса с линейной зависимостью давления от объема (2) и изобары (3).



2.1. В каких из этих процессов теплоемкость газа не изменяется в ходе процесса? В ответе перечислите номера всех таких процессов по порядку, не разделяя знаками препинания.

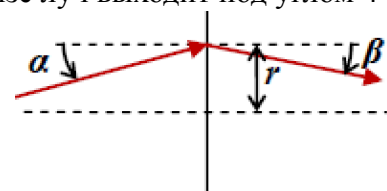
2.2. Определите КПД цикла. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

3. При подключении вольтметра к клеммам одного аккумулятора он показывает напряжение $U_1 = 3,90$ В, а при подключении к пяти таким же аккумуляторам, соединенным параллельно – напряжение $U_5 = 4,29$ В.

3.1. Два таких вольтметра соединили параллельно и подключили к двум таким аккумуляторам, соединенным последовательно. Каковы показания каждого из этих вольтметров? Ответ запишите в В, с точностью до сотых.

3.2. Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, если подключить его к одному такому аккумулятору? Ответ запишите в В, с точностью до сотых.

4. Луч света падает на тонкую линзу в точке на расстоянии $r = 2$ см от ее главной оптической оси под углом 6° к этой оси, «уходя» от нее. После преломления в линзе луч выходит под углом 4° к этой оси, приближаясь к ней (см. рисунок).



4.1. Какая это линза – собирающая (1) или рассеивающая (2)? В ответе укажите номер правильного варианта.

4.2. Найдите оптическую силу линзы. Ответ приведите в диоптриях, с точностью до десятых.

ОТВЕТЫ: 1.1. **60**. 1.2. **0,4**. 2.1. **13**. 2.2. **10**. 3.1. **6,02**. 3.2. **4,40**. 4.1. **1**. 4.2. **8,7**.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ (для автоматической проверки):

вопрос	ответ участника	балл
1.1	60	4
1.2	0,4	8
	0,3 или 0,5	4
2.1	13	4
	123	2
2.2	10	10
	9 или 11	5
3.1	6,02	8
	6,01 или 6,03	4
3.2	4,40	6
	4,39 или 4,41	3
4.1	1	2
4.2	8,7	8
	8,6 или 8,8	4
Максимальная оценка		50