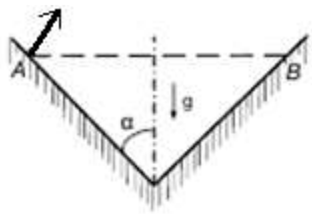
Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников
по физике
2015-2016 учебный год
9 класс
Максимальный балл – 50

1. В конической лунке с вертикальной осью симметрии и углом раствора $2\alpha = 90°$ движется шарик, ударяясь через одно и то же время $t = 1$ с о противоположные точки A и B, расположенные на одной горизонтали. Найти максимальную и минимальную скорости шарика, а также максимальное удаление шарика от дна лунки. Считать, что ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.



Автор: Баланов Василий Юрьевич

Возможное решение.

1	Так как времена полета туда и обратно одинаковы, значит проекции скоростей на горизонтальную ось при полете туда и обратно равны по модулю. Так как удары шарика о стенку абсолютно упругие, то сохранение проекции скорости на горизонтальную ось возможно только если вектора скорости перед и после удара перпендикулярны поверхности.	2 балла
2	После отскока при движении шарика горизонтальная составляющая скорости остается неизменной, а вертикальная составляющая уменьшается. Следовательно, скорость по модулю уменьшается и становится минимальной в верхней точке траектории, так как остается только горизонтальная составляющая скорости. Очевидно, что максимальной скорость будет в момент подлета и отскока от точки поверхности.	1 балл
3	Нахождение минимальной и максимальной скоростей Запишем уравнение движения в проекции на вертикальную ось $0 = 0 + \upsilon \sin\alpha \cdot t - gt^2/2$, откуда $v = \frac{gt}{2sin\alpha}$ $=\upsilon = gt/2\sin\alpha$ (максимальная скорость)	1 балл
4	$v_{\text{макс}} = 7{,}1$ м/с	1 балл
5	Найдем проекцию скорости на горизонтальную ось. Она и будет минимальной скоростью. $\upsilon \cos\alpha = 5$ м/с	1 балл
6	Длина отрезка AB= $\upsilon \cos\alpha \cdot t = 5$ м. Значит расстояние от дна лунки до отрезка AB равно 2,5 м	1 балл
7	Найдем максимальную высоту подъема тела. Для этого запишем уравнение движения в проекции на вертикальную ось. $H_{max} = y_0 + \upsilon \sin\alpha \cdot t_1 - gt_1^2/2 = 1{,}25$ м , где $t_1 = t/2$ (время подъема).	2 балла
8	$H_{max} = 2{,}5+1{,}25 = 3{,}75$ м	1 балл

2. У мастера есть две одинаковые батарейки и амперметр с внутренним сопротивлением. Когда мастер подключил амперметр к одной из батареек, то он показал 4 А. При подключении амперметра к последовательно подключенным батареям, он показал 6 А.

1. Какой ток побежит через батарейку, если её закоротить (соединить «+» и «-» идеальным проводником)?

2. Во сколько раз сопротивление амперметра больше внутреннего сопротивления одной батарейки?

3. Что покажет амперметр, если его подключить к батареям, соединенным параллельно (плюс - к плюсу, минус – к минусу)?

Примечание: Реальные источники имеют внутреннее сопротивление, поэтому напряжение на их выходе зависит от силы тока, протекающего через источник, следующим образом:
$U = \varepsilon - Ir_{\text{внутр}}$, где ε - ЭДС источника, а $r_{\text{внутр}}$ – его внутреннее сопротивление.

Автор: Воронцов Александр Геннадьевич

Возможное решение.

Пусть r - внутреннее сопротивление одной батареи, R - сопротивление амперметра, ε - ЭДС одной батареи.

№	Пункты решения	баллы
1	При подключении к одной батарее напряжение на ней можно представить как $U_1 = \varepsilon - I_1 r = I_1 R$. Тогда через амперметр течет ток $I_1 = \frac{\varepsilon}{r+R}$ или $\frac{1}{I_1} = \frac{r}{\varepsilon} + \frac{R}{\varepsilon}$	1
2	При подключении к последовательно соединенным батареям $\mathrm{U}_2 = 2 * (\varepsilon - I_2 r) = I_2 R$, откуда $I_2 = \frac{2\varepsilon}{2r+R}$ или $\frac{2}{I_2} = 2\frac{r}{\varepsilon} + \frac{R}{\varepsilon}$	2
3	При коротком замыкании напряжение на батарее будет равно 0, так как контакты батареи соединены идеальным проводником. Ток короткого замыкания равен: $I_z = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{I_2 I_1}{2I_1 - I_2} = 12\text{А}$	1
4	Используя уравнения из 1) и 2), найдем $\frac{R}{\varepsilon} = \frac{2I_2 - 2I_1}{I_1 I_2}$, откуда отношение сопротивлений: $\frac{R}{r} = \frac{2I_2 - 2I_1}{2I_1 - I_2} = 2$	1
5	При параллельном подключении источников напряжение на клеммах каждого источника равно падению напряжения на амперметре $\varepsilon - I_{\varepsilon 1} r = \varepsilon - I_{\varepsilon 2} r = I_3 R$	1
6	Сумма токов, протекающих через источники, равна току через амперметр $I_{\varepsilon 1} + I_{\varepsilon 2} = I_3$	1
7	Из 5) и 6) получаем $I_3 = \frac{\varepsilon}{\frac{r}{2} + R}$	1
8	С использованием выражений 3) и 4) найдем $\frac{2}{I_3} = \frac{r}{\varepsilon} + 2\frac{R}{\varepsilon} = \frac{(2I_1 - I_2)}{I_1 I_2} + 2\frac{2I_2 - 2I_1}{I_1 I_2} = \frac{3I_2 - 2I_1}{I_1 I_2}$, откуда: $I_3 = \frac{2I_1 I_2}{3I_2 - 2I_1} = 4{,}8\text{А}$	2

3. Весь день моросил дождь, температура окружающего воздуха долгое время не менялась и была равна $t_0 = 1$ °С. В изначально пустой надувной дачный бассейн (зачем-то оставленный) за день «накапало» столько воды, что ее уровень оказался равным $h_0 = 1$ см. Ночью внезапно похолодало и пошел снег, температура которого $t_* = -5$ °С. Спустя некоторое время τ, в течение которого снег шел не переставая, вся вода в бассейне замерзла. Снежинки состоят из льда и имеют массу $m_* = 5$ мг. Считайте, что снежинки в воздухе распределены равномерно и падают с постоянной скоростью $v_* = 1$ м/с, так, что в каждом кубическом метре их находится в среднем по $N_* = 1000$ штук. Теплоемкостью бассейна и теплообменом с окружающей средой пренебречь, т.е. считайте, что вода будет остывать только за счет снега.

1. Определите плотность «падающего» снега, т.е. массу снега в единице объема.
2. Рассчитайте время τ, указанное в тексте задачи.
3. Какой толщины получился слой льда в бассейне? (Возможной деформацией стенок бассейна пренебречь.)

Удельная теплоемкость воды – $c_в = 4{,}2$ кДж/(кг · °С)
Удельная теплоемкость льда – $c_л = 2{,}1$ кДж/(кг · °С)
Удельная теплота плавления льда – $\lambda = 337$ кДж/кг
Плотность льда – $\rho_л = 900$ кг/м^3
Плотность воды – $\rho_в = 1000$ кг/м^3

Автор: Клепиков Максим Сергеевич

Возможное решение.

По условию известно, что в каждом кубометре воздуха в среднем по $N_* = 1000$ снежинок, а каждая из них массой $m_* = 5$ мг, значит их общая масса $\sum m_*$, выраженная в килограммах, численно равна искомой плотности, т.е. $\rho_* = 5 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3. Т.к. теплоемкостью бассейна и теплообменом с окружающей средой по условию задачи можно пренебречь, для использования уравнения теплового баланса нужно записать три выражения:

Теплота, выделяемая водой, при охлаждении ее в бассейне до температуры кристаллизации

$$Q_1 = m_в c_в (0°\text{С} - 1°\text{С})$$

Теплота, выделяемая водой при кристаллизации

$$Q_2 = -m_в \lambda$$

Теплота, поглощаемая упавшим снегом за все время τ

$$Q_3 = m_л c_л \big(0°\text{С} - (-5°\text{С})\big)$$

Запишем уравнение теплого баланса

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

Заметим, что начальная масса воды в бассейне равна $m_в = \rho_в h_0 S$, где S – площадь основания бассейна. Масса упавшего снега за время τ равна массе всех снежинок в столбе воздуха той же площади сечения, что и у бассейна, а высотой $v \cdot \tau$, т.е.

$$m_л = m_* \cdot N_* \cdot \tau \cdot v \cdot S$$

Подставив все данные в уравнение теплового баланса получим

$$\tau = \frac{\rho_в h_0}{m_* N_* v} \cdot \frac{c_в + \lambda}{5 \cdot c_л} \approx 6{,}5 \cdot 10^4 \text{ с} \approx 18 \text{ ч}$$

Для расчета толщины слоя льда следует учесть общую массу образовавшегося льда за время τ, т.е. массу воды в бассейне перед началом снегопада и общую массу снега, упавшего за то же время τ

$$M = m_0 + m_л = \rho_в \cdot S \cdot h_0 + m_* \cdot N_* \cdot \tau \cdot v \cdot S$$

Разделив все уравнение на площадь основания бассейна и на плотность льда, получим толщину слоя льда, образованного к моменту окончательного замерзания всей начальной воды.

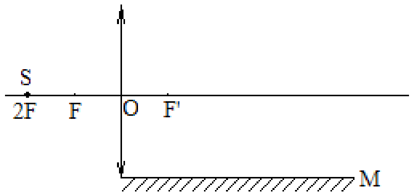
$$H = \frac{\rho_в \cdot h_0 + m_* \cdot N_* \cdot \tau \cdot v}{\rho_л} \approx 37 \text{ см}$$

Критерии оценивания:

1. Определена плотность падающего снега – 1 балл
2. Записаны уравнения для расчета количества теплоты для всех **трех** термодинамических процессов – по 1 баллу за каждый (могут быть записаны сразу в уравнении теплового баланса)
3. Использовано уравнение теплового баланса (в любом виде) – 1 балл
4. Приведен способ расчета массы снега (льда) отдельным выражением или сразу в уравнении теплового баланса – 1 балл
5. Получено выражение для вычисления времени τ – 1 балл
6. Верно подсчитано значение τ – 1 балл
7. Получено выражение для вычисления толщины образованного льда H – 1 балл
8. Верно подсчитано значение H – 1 балл

Примечание: Допускается решение «по частям», т.е. использование промежуточных расчетов. Если ответ учащего незначительно (не более 5 %) отличается от верного, его следует засчитывать как правильный.

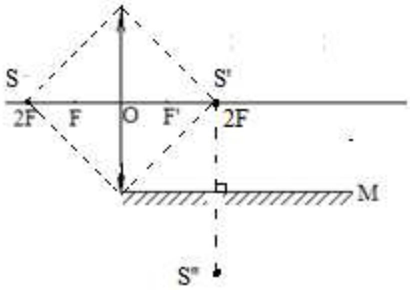
4. Оптическая система состоит из плоского зеркала конечных размеров (М), собирающей линзы с фокусным расстоянием F и точечного источника света S (см. рис.). Источник находится на двойном фокусном расстоянии от центра O линзы и лежит на ее главной оптической оси. Зеркало параллельно этой оси, касается линзы своим левым краем, длина зеркала 5F. Постройте все изображения источника в системе. Для каждого изображения укажите области в плоскости рисунка, из которых можно увидеть это изображение.



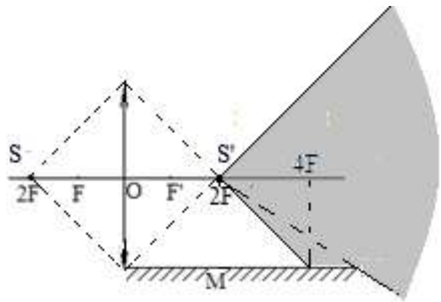
Автор: Рогальский Юрий Константинович

Возможное решение.

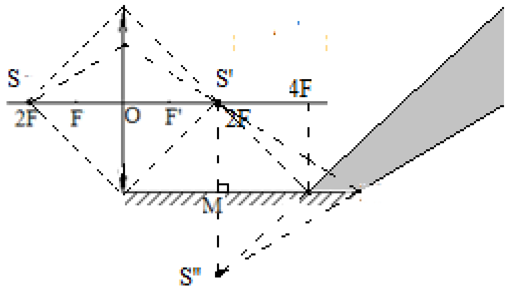
Лучи, прошедшие через линзу, собираются в точке S' – первое изображение источника (2 балла). Лучи отразившиеся от зеркала (их продолжения) формируют второе изображение S" (2 балла).



Первое изображение видно в области, ограниченной лучами, прошедшими через края линзы, зеркалом и лучом, пошедшим через край зеркала (см.рис.) (3 балла)



Второе изображение видно в области, в которой распространяются лучи, отразившиеся от зеркала (см. рис.) (3 балла)



5. Осенние каникулы для преподавателя физики в школе прошли в работе. В ходе проведенной ревизии в кабинете физики были найдены: тело правильной геометрической формы и пружина с неизвестной жесткостью. Кроме этого, в кабинете физики нашлись стакан с водой и полоска миллиметровой бумаги. Используя только имеющееся оборудование, помогите учителю физики определить:

1. Объем тела.
2. Плотность тела.
3. Жесткость пружины.

Оборудование. Сосуд с водой, полоска миллиметровой бумаги, тело, пружина, бумажная салфетка.

Плотность воды – 1000 кг/м^3.

Автор: Фокин Андрей Владимирович

Возможное решение

1. Объем тела правильной формы может быть вычислен по формуле ($V=\pi d^2h/4$ – цилиндр, $V=a^3$ – куб, $V=abc$ – прямоугольный параллелепипед и т.д.). Для определения объема необходимо при помощи миллиметровой бумаги провести необходимые измерения.
2. Для определения плотности тела подвешиваем тело на пружине и измеряем ее удлинение при помощи миллиметровой бумаги (x_1), тем самым находим силу тяжести, действующую на тело ((*) $mg=k\,x_1$). Погружаем тело полностью в воду и измеряем удлинение пружины (x_2), определяя тем самым разность силы тяжести и силы Архимеда ((**) $mg-F_A=k\,x_2$). Формула для расчета силы Архимеда (***) $F_A=\rho_ж gV_т$. Решая систему уравнений (*)-(***), находим плотность тела $\rho_т=\rho_ж\frac{x_1}{x_1-x_2}$. Для большей точности
3. Зная плотность тела и его объем находим массу тела. Зная массу и удлинение x_1 определим жесткость пружины $k=mg/x_1$.

Критерии оценивания

№	Что оценивается	Баллы
1	Определение объема тела	
	Расчетная формула	0,5
	Необходимые измерения	1
	Правильно найден объем	0,5
2	Определение плотности тела	
	Сила пропорциональна удлинению пружины	1
	Определено удлинение пружины при взвешивании в воздухе	0,5
	Определено удлинение пружины при взвешивании в воде	0,5
	Произведена серия взвешиваний	1
	Получена расчетная формула	1
	Правильно определена плотность тела	1
3	Определение жесткости пружины	
	Использование формулы (*) для определения жесткости	1
	Определение массы выданного тела	1
	Правильно определена жесткость пружины	1
	ИТОГО	10