ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ

Образцы олимпиадных заданий для школьного этапа всероссийской олимпиады школьников по физике в 2013/2014 учебном году

Москва 2013

ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП

Темы, рекомендуемые для включения в задания школьного этапа.

Образец задания.

7 класс

Задача 1. У древних шумеров (народ, заселявший более 4 тысяч лет тому назад междуречье Тигра и Евфрата) максимальной единицей массы был «талант». В одном таланте содержится 60 мин. Масса одной мины равна 60 сиклям. Масса одного сикля равна $8\frac{1}{3}$ г. Сколько килограммов содержит один талант? Ответ обоснуйте.

Возможное решение. Масса одной мины 1 мин = $60\text{ сиклей}\cdot 8\frac{1}{3}$г/сикль = 500 г = 0,5 кг.

Масса одного таланта $60\text{ мин}\cdot 0{,}5\text{ кг/мин}$ = 30 кг.

Критерии оценивания.

Вычислена масса одной мины	5 баллов
Вычислена масса одного таланта	5 баллов

Задача 2. Расстояние L = 63 км от Москвы до Сергиева Посада электричка преодолевает за время T = 1 час 10 мин, совершая N промежуточных остановок. На пути следования между любыми двумя соседними платформами (от момента начала движения до остановки) электричка движется со средней скоростью υ_1 = 60 км/ч. Продолжительность одной остановки $\Delta t = 1$ минута. Сколько остановок делает электричка?

Возможное решение. При решении задачи удобно время выражать в минутах. Время, за которое электричка доезжает от Москвы до Сергиева Посада:

$$T = 60\text{ мин} + 10\text{ мин} = 70\text{ мин.}$$

Средняя скорость электрички, выраженная в км/мин: υ_1 = 60 км/ч = 1 км/мин.

Время движения электрички (без учёта времени на остановки)

$$\tau = \frac{L}{\upsilon_1} = \frac{63\text{ км}}{1\text{ км/мин}} = 63\text{ минуты.}$$

Время, затраченное на остановки: $\Delta T = T - \tau = 7$ минут.

Таким образом, искомое число остановок $N = \dfrac{\Delta T}{\Delta t} = 7.$

Критерии оценивания.

(1)	Выразили время T в минутах	1 балл
(2)	Выразили скорость электрички υ_1 в км/мин	1 балл
(3)	Нашли время τ движения электрички	4 балла
(4)	Вычислили время ΔT	3 балла
(5)	Нашли число остановок	1 балл

Задача 3. Из квадратного листа фанеры с длиной сторон a = 13 см вырезали середину так, что получилась рамочка, ширина всех сторон которой b одинакова и равна 2 см. Масса какой детали больше – рамочки или вырезанной середины? На сколько грамм отличаются массы этих двух деталей, если толщина фанеры c = 5 мм, а плотность ρ = 700 кг/м^3?

Возможное решение. Площадь исходного листа фанеры $S_0 = 169$ см^2. Площадь отверстия $S_1 = (a - 2b)^2 = 81$ см^2. Площадь рамки $S_P = S_0 - S_1 = 88$ см^2. Поскольку $S_P > S_1$, то и масса рамки больше массы вырезанного куска фанеры. Различие масс рамки и вырезанной части

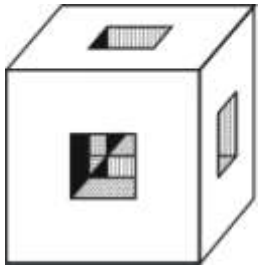
$$\Delta M = \rho (S_P - S_1) c = 2{,}45 \text{ г.}$$

Критерии оценивания.

(1)	Вычислена площадь исходного листа фанеры	2 балл
(2)	Вычислена площадь отверстия	2 балла
(3)	Вычислена площадь рамки	2 балла
(4)	Указано, что $S_P > S_1$	1 балл
(5)	Вычислена разность масс	3 балла

8 класс

Задача 1. Два кубика (малый и большой) изготовили из одного и того же материала. Кубик с длиной ребра *a* имеет массу *m*. Через середины противоположных граней большого кубика, длина ребра которого равна 3*a*, проделали три сквозных квадратных отверстия с площадью сечения $(a \cdot a)$ (рис. 1). Оси отверстий перпендикулярны друг дружке.



Какова масса M_K дырявого кубика?

Возможное решение. Исходная масса большого кубика

$$M = m\frac{(3a)^3}{a^3} = 27m.$$

После изготовления первого отверстия масса кубика уменьшилась на $\Delta M_1 = 3m.$

После изготовления второго отверстия масса кубика уменьшилась на $\Delta M_2 = 2m.$

После изготовления третьего отверстия масса кубика уменьшилась на $\Delta M_3 = 2m.$

Конечная масса кубика стала равной $M_K = M - (\Delta M_1 + \Delta M_2 + \Delta M_3) = 20m.$

Критерии оценивания.

(1)	Вычислена масса большого кубика	3 балла
(2)	Вычислена масса дерева из первого отверстия	1 балл
(3)	Вычислена масса дерева из второго отверстия	2 балла
(4)	Вычислена масса дерева из третьего отверстия	2 балла
(5)	Найдена масса дырявого кубика M_K	2 балла

Задача 2. Листы алюминия толщиной *h* = 6,2 мм соединили так, что получился полый кубик. Его установили на горизонтальную плоскость. Какое давление *p* оказывает этот кубик на эту плоскость. Плотность алюминия $\rho = 2{,}7 \cdot 10^3$ кг/м^3, $g = 10$ Н/кг.

Решение. Давление, оказываемое одним листом алюминия, $p_1 = \rho g h$ и не зависит от площади листа. У кубика 6 граней. Следовательно, давление, оказываемое им на плоскость, равно $p_6 = 6\rho g h = 6 \cdot 2{,}7 \cdot 10^3$ кг/м$^3 \cdot 10$ Н/кг $\cdot\, 6{,}2 \cdot 10^{-3}$ м ≈ 100 Па.

Критерии оценивания.

(1)	Указано, что давление не зависит от площади листа	2 балла
(2)	Найдено давление, оказываемое одним листом	3 балла
(3)	Указано, что у кубика 6 граней	2 балла
(4)	Найдено давление, оказываемое кубиком	3 балла

Задача 3. Расстояние L = 120 км автомобиль проехал за время T = 2 часа. Его скорость на первом, хорошем участке пути была на $\Delta\upsilon = 5$ км/час больше средней скорости, а на втором, плохом участке, на $\Delta\upsilon = 5$ км/час меньше средней скорости. Какова длина x хорошего участка пути?

Возможное решение. Средняя скорость автомобиля $\upsilon_{Cp} = \dfrac{L}{T} = 60$ км/час.

Скорость автомобиля на первом участке пути $\upsilon_1 = \upsilon_{Cp} + \Delta\upsilon = 65$ км/час.

Скорость автомобиля на втором участке пути $\upsilon_1 = \upsilon_{Cp} - \Delta\upsilon = 55$ км/час.

Пусть на преодоление первого участка пути потребовалось время t_1.

Тогда, на преодоление второго участка потребуется время $t_2 = T - t_1$.

Длина первого участка пути $L_1 = \upsilon_1 t_1$.

Длина второго участка пути $L_2 = \upsilon_2 t_2$.

Поскольку $L = L_1 + L_2$,

это равенство можно, после соответствующих подстановок, привести к виду:

$$L = \upsilon_1 t_1 + \upsilon_2 (T - t_1) = \upsilon_2 T + (\upsilon_1 - \upsilon_2) t_1 .$$

Время $t_1 = \dfrac{L - \upsilon_2 T}{2\Delta\upsilon} = 1$ час.

Искомая длина $x = L_1 = \upsilon_1 t_1 = 65$ км.

Критерии оценивания.

(1)	Найдена средняя скорость автомобиля	1 балл
(2)	Найдена скорость автомобиля на первом участке пути	1 балл
(3)	Найдена скорость автомобиля на втором участке пути	1 балл
(4)	Записана связь между t_1 и t_2	1 балл
(5)	Выражение для длины первого участка пути	1 балл
(6)	Выражение для длины второго участка пути	1 балл
(7)	Записана связь между L_1 и L_2	1 балл
(8)	Записано уравнение для нахождения числового значения t_1	1 балл
(9)	Найдено время t_1	1 балл
(10)	Найдена длина x	1 балл

Задача 4. Два цилиндра одинакового объема (один изготовлен из свинца, другой из алюминия) нагрели до температур $t_{Al} = 327^\circ C, t_{Pb} = 22^\circ C$ и привели их в тепловой контакт.

Получите аналитическое выражение для температуры цилиндров после наступления теплового равновесия. Вычислите температуру t цилиндров?

Потери энергии в окружающую среду не учитывайте. Удельная теплоемкость свинца $c_{Pb} = 140$ Дж/(кг $\cdot ^\circ C$), алюминия – $c_{Al} = 920$ Дж/(кг $\cdot ^\circ C$), плотность свинца $\rho_{Pb} = 11{,}3$ г/см^3, алюминия – $\rho_{Al} = 2{,}7$ г/см^3.

Возможное решение. Запишем уравнение теплового баланса:

$$V\rho_{Al}c_{Al}\left(t_{Al}-t\right)=V\rho_{Pb}\,c_{Pb}\left(t-t_{Pb}\right).$$

Из уравнения следует, что результат не зависит от объема цилиндров.

Из него следует: $t=\dfrac{\rho_{Al}c_{Al}t_{Al}+\rho_{Pb}\,c_{Pb}t_{Pb}}{\rho_{Al}c_{Al}+\rho_{Pb}\,c_{Pb}}\approx 208^{\circ}C$.

Критерии оценивания.

(1)	Записано уравнение теплового баланса	3 балла
(2)	Указано, что результат не зависит от объема цилиндров	1 балл
(3)	Получено уравнение для нахождения температуры	4 балл
(4)	Получен числовой ответ	2 балла

9 класс

Задача 1. В книге «Вне Земли» К.Э. Циолковский пишет «… через 10 секунд она (ракета) была от зрителя на расстоянии 5 км». Считая движение ракеты равноускоренным, а её начальную скорость равной нулю, запишите формулы для ускорения и скорости ракеты, поднявшейся на высоту H = 5 км. Приведите числовые ответы.

Ответ: $a=\dfrac{2H}{t^2}=100\dfrac{\text{м}^2}{\text{с}};\ \upsilon=at=1000\dfrac{\text{м}}{\text{с}}.$

Критерии оценивания.

(1)	Записана формула для ускорения ракеты	4 балла
(2)	Получен числовой ответ	2 балла
(3)	Записана формула для скорости ракеты	2 балла
(4)	Получен числовой ответ	2 балла

Задача 2. Сухое горючее (гексаметилентетрамин) обладает теплотой сгорания q = 30 кДж/г. Сколько граммов сухого горючего потребуется для того, чтобы вскипятить M = 200 г воды. Эффективность подогревателя η = 40%, удельная теплоемкость воды $c_\text{В}$ = 4,2 Дж/г, температура в комнате t_0 = 20 ^{0}С.

Ответ: $m=\dfrac{Mc_B\left(t_K-t_0\right)}{q\eta}=5{,}6$ г.

Критерии оценивания.

(1)	Записана формула для количества теплоты идущей на нагрев	3 балла
(2)	Записана формула для выделившегося количества теплоты	3 балла
(3)	Записано уравнение теплового баланса (с учётом КПД)	2 балла
(4)	Получен числовой ответ	2 балла

Задача 3.

Мимо бревно суковатое плыло,
Сидя и стоя, и лёжа пластом
Зайцев с десяток сидело на нём.
Н.А. Некрасов

При каком минимальном объеме бревна зайцы смогли бы на нём плыть? Считайте, что бревно погружено в воду наполовину.

Масса одного зайца M = 3 кг, плотность древесины ρ = 0,4 г/см^3, плотность воды ρ_0 = 1,0 г/см^3.

Ответ: $V=\dfrac{2NM}{\rho_0-2\rho}\approx 0{,}3$ м^3.

Критерии оценивания.

(1)	Вычислена масса зайцев	2 балла
(2)	Записан закон Архимеда применительно к бревну	4 балла
(3)	Получена формула для объема бревна	2 балла
(4)	Получен числовой ответ	2 балла

Задача 4. Нихромовый провод имеет сопротивление $R_1 = 60$ Ом. Провод сложили вдвое, соединив его концы вместе, а к середине исходного провода подключив другой вывод. Каким стало сопротивление R_2 нихромового провода?

Ответ: $R_1 = \frac{\rho L}{S}$. $R_2 = \frac{\rho L/2}{2S} = \frac{1}{4}\frac{\rho L}{S} = \frac{1}{4}R_1 = 15$ Ом.

Критерии оценивания.

(1)	Учтено, что длина провода сократилась в два раза	2 балла
(2)	Учтено, что сечение проводника возросло в два раза	3 балла
(3)	Получена формула для нового сопротивления	3 балла
(4)	Получен числовой ответ	2 балла

10 класс

Задача 1. Если шайбу толкнуть вдоль поверхности горизонтального стола со скоростью υ_1, то она проедет расстояние $L_1 = 16$ см. Если её толкнуть со скоростью υ_2, то она проедет расстояние $L_2 = 36$ см. Определите расстояние L_3, которое проедет шайба, если её толкнуть со скоростью $\upsilon = \upsilon_1 + \upsilon_2$?

Ответ: $L_3 = \dfrac{(\upsilon_1 + \upsilon_2)^2}{2a} = L_1 + L_2 + 2\sqrt{L_1 L_2} = 100$см. (1)

Здесь a – ускорение шайбы во время скольжения.

Критерии оценивания.

(1)	Получено выражение для скорости шайбы в первом случае	2 балла
(2)	Получено выражение для скорости шайбы во втором случае	2 балла
(3)	Получено выражение для перемещения шайбы в третьем случае	2 балла
(4)	Получена формула (1)	2 балла
(5)	Получен числовой ответ	2 балла

Задача 2. Внутри источника постоянного тока установлен ограничивающий резистор. Если к выводам этого источника подключить резистор сопротивлением $R_1 = 100$ Ом, через него потечёт ток. Сила тока будет $I_1 = 1{,}0$ А, а при подключении резистора $R_2 = 200$ Ом сила тока станет $I_2 = 0{,}8$ А. Вычислите силу тока короткого замыкания источника.

Возможное решение. Пусть сопротивление ограничивающего резистора равно r, а напряжение на источнике без этого резистора U. Тогда мы можем записать систему уравнений:

$$U = I_1 R_1 + I_1 r\,; \quad U = I_2 R_{21} + I_2 r; \quad U = I_K r.$$

Решая её, получим: $I_K = \dfrac{I_1 I_2 (R_1 - R_2)}{I_2 R_2 - I_1 R_1} = 1{,}33$А.

Критерии оценивания.

(1)	Записано уравнение (1)	2 балла
(2)	Записано уравнение (2)	2 балла
(3)	Записано уравнение (3)	2 балла
(4)	Получено выражение для тока короткого замыкания	2 балла
(5)	Получен числовой ответ	2 балла

Задача 3. Оцените выталкивающую силу, действующую на человека массой 60 кг со стороны воздуха в комнате. Молярная масса воздуха $\mu = 29$ г/моль.

Возможное решение. Объем человека примерно равен объему воды массой, равной его массе, т.е. 60 л. Найдем плотность воздуха: $\rho_{N_2} = \dfrac{p\mu}{RT}$. Со стороны воздуха на человека действует сила Архимеда $F_A = \rho_{N_2} V g$. Отсюда $F_A = \rho_{N_2} V g = \dfrac{pV\mu g}{RT} = 0{,}7$ Н.

Критерии оценивания.

(1)	Оценен объем человека	2 балла
(2)	Найдена плотность воздуха	3 балла
(3)	Записан закон Архимеда	3 балла
(4)	Получен числовой ответ	2 балла

Задача 4. По полу комнаты ползёт черепаха со скоростью υ_0 = 5 см/с вдоль прямой, составляющей угол $\alpha = 30^0$ с плоскостью стены на которой висит плоское зеркало. С какой скоростью черепаха сближается со своим изображением?

Возможное решение. Разложим скорость черепахи на две составляющие – вдоль стены и перпендикулярно ей. Для нахождения скорости сближения важна только составляющая скорости, перпендикулярная поверхности стены. $\upsilon_\perp = \upsilon_0 \sin\alpha = \upsilon_0 / 2$. Изображение черепахи приближается к зеркалу с такой же (по модулю) скоростью, как и черепаха. Следовательно, $\upsilon_{отн.} = 2\upsilon_\perp = \upsilon_0 = 5$ см/с.

Критерии оценивания.

(1)	Найдена составляющая скорости $\upsilon_\perp$	4 балла
(2)	Отмечено, что $\upsilon_{отн.} = 2\upsilon_\perp$	4 балла
(3)	Получен числовой ответ	2 балла

Задача 5. Первоначально скорость спутника, движущегося по почти круговой орбите, равнялась υ_0. Из-за трения о воздух радиус его орбиты уменьшился на 0,1%. Оцените, на сколько процентов изменилась скорость спутника? Увеличится или уменьшится его скорость?

Возможное решение. Спутник испытывает центростремительное ускорение: $a_1 = \frac{\upsilon_1^2}{R_1} = \frac{GM}{R_1^2}$. Следовательно, $\upsilon_1^2 = \frac{GM}{R_1}$. Аналогичным образом запишем выражение для изменившейся скорости: $\upsilon_2^2 = \frac{GM}{R_2}$. Вычитая из первого уравнения второе, получим:

$$\upsilon_1^2 - \upsilon_1^2 = (\upsilon_1 - \upsilon_2)(\upsilon_1 + \upsilon_2) \approx (\upsilon_1 - \upsilon_2)2\upsilon = \frac{GM}{R_1} - \frac{GM}{R_2} = \frac{GM(R_2 - R_1)}{R_1 R_2} \approx \frac{\upsilon^2 (R_2 - R_1)}{R}.$$

Отсюда $(\upsilon_1 - \upsilon_2)2\upsilon \approx \frac{\upsilon^2 (R_2 - R_1)}{R}$, или, после алгебраических преобразований

$$\frac{(\upsilon_1 - \upsilon_2)}{\upsilon} \approx \frac{1}{2}\frac{(R_2 - R_1)}{R}.$$

Из последнего выражения видно, что при уменьшении радиуса орбиты, скорость спутника увеличится на 0,05%.

Критерии оценивания.

(1)	Получено выражение для скорости спутника на исходной орбите	2 балла
(2)	Получено выражение для скорости спутника на новой орбите	2 балла
(3)	Получена оценка для изменения скорости спутника	4 балла
(4)	Отмечено, что скорость спутника возросла	1 балл
(5)	Получен числовой ответ	1 балл

11 класс

Задача 1. Свет от Солнца до Земли доходит за время $t = 500$ с. Найдите массу Солнца. Гравитационная постоянная $G = 6{,}67\cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг², скорость света в вакууме $c = 3\cdot 10^{8}$ м/с; а продолжительность 1 года $T \approx \pi \cdot 10^{7}$ с.

Возможное решение. Земля движется по окружности радиуса R со скоростью u под действием силы гравитации $F = \dfrac{GMm}{R^2}$, где M – масса Солнца, а m - масса Земли. Центростремительное ускорение Земли $a_ц = \dfrac{u^2}{R} = \dfrac{F}{m} = \dfrac{GM}{R^2}$, откуда

$$M = \frac{Ru^2}{G}. \qquad (1)$$

Подставив $u = \dfrac{2\pi R}{T} = \dfrac{2\pi ct}{T}$, получим $M = \dfrac{ct}{G}\dfrac{(2\pi ct)^2}{T^2} = \dfrac{4\pi^2 (ct)^3}{GT^2} \approx 2\cdot 10^{30}$ кг.

***Критерии оценивания*.**

(1)	Указано, что $R = ct$	1 балла
(2)	Записано выражения для центростремительного ускорения Земли	2 балла
(3)	Получено выражение (1) для массы Солнца	2 балла
(4)	Получено выражение для скорости Земли	1 балл
(5)	Получен окончательное выражение для массы Солнца	2 балла
(6)	Получен числовой ответ	2 балла

Задача 2. Автомобиль трогается с места и с постоянным тангенциальным ускорением разгоняется по горизонтальному участку дороги. Этот участок представляет собой дугу окружности радиуса $R = 100$ м и угловой мерой $\alpha = \dfrac{1}{2\sqrt{3}}$. С какой максимальной скоростью автомобиль может выехать с на прямолинейный участок дороги? Все колёса автомобиля ведущие. Между шинами и дорогой существует трение (коэффициент трения $\mu = 0{,}2$).

Возможное решение. Максимальное нормальное ускорение автомобиля $a_n = \dfrac{\upsilon^2}{R}$. Время разгона автомобиля $t = \dfrac{2\alpha R}{\upsilon}$. Тангенциальное ускорение автомобиля $a_\tau = \dfrac{\upsilon}{t} = \dfrac{\upsilon^2}{2\alpha R}$.

Полное ускорение $$\mu g = a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{\upsilon_{max}^2}{2\alpha R}\right)^2 + \left(\frac{\upsilon_{max}^2}{R}\right)^2} = \left(\frac{\upsilon_{max}^2}{R}\right)\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\alpha}\right)^2}. \qquad (1)$$

Отсюда $$\upsilon_{max} = \frac{\sqrt{\mu g R}}{\sqrt[4]{1 + \left(\dfrac{1}{2\alpha}\right)^2}} \approx 10 \text{ м/с}.$$

***Критерии оценивания*.**

(1)	Записано выражение для нормального ускорения	1 балл

(2) Получено время разгона 2 балла
(3) Записано выражение для тангенциального ускорения 2 балла
(4) Получено выражение (1) 2 балл
(5) Получено выражение для максимальной скорости 2 балла
(6) Получен числовой ответ 1 балл

Задача 3. Идеальный газ массой *m*, находящийся первоначально при температуре *T*, охлаждается при постоянном объеме так, что его давление падает в *n* раз. Затем газ расширяется при постоянном давлении. В конечном состоянии его температура равна начальной. Найдите совершенную газом работу. Молярная масса газа равна μ.

Возможное решение. Работа газа совершается при постоянном давлении p_0/n. Находим эту работу по формуле: $A = \frac{p_0}{n}(nV_0 - V_0)$. Учитывая, что в начальном состоянии газа $p_0V_0 = \frac{m}{\mu}RT$, а в конечном $\frac{p_0}{n}V_0 n = \frac{m}{\mu}RT$ получим:

$$A = \frac{p_0}{n}(nV_0 - V_0) = p_0V_0\frac{(n-1)}{n} = \frac{n-1}{n}\frac{m}{\mu}RT.$$

Критерии оценивания.

(1) Найдено давление газа, при котором совершается работа 2 балла
(2) Получено общее выражение для работы газа 2 балла
(3) Записана связь давления и объема с температурой 2 балла
(4) Получена окончательная формула для работы газа 4 балла

Задача 4. От груза, висящего на пружине жёсткостью *k*, отрывается часть массой *m*. На какую максимальную высоту сместится оставшийся груз?

Возможное решение. После отрыва части груза новое положение равновесия окажется выше на $\Delta H_1 = \frac{mg}{k}$. Это смещение равно амплитуде колебаний оставшейся части груза.

Тогда максимальная высота смещения $\Delta H = 2\Delta H_1 = \frac{2mg}{k}$.

Критерии оценивания.

(1) Получено выражение для смещения груза в новое положение равновесия. 5 балла
(2) Указано, что происходят колебания с амплитудой ΔH_1 3 балла
(3) Найдено максимальное смещение 2 балла

Задача 5. Однажды, пролетая над зеркально ровной поверхностью пруда, Карлсон обратил внимание на то, что его скорость $|\vec{\upsilon}_0|$ относительно берега в точности равна его скорости υ удаления от своего изображения в воде. Под каким углом α к поверхности воды летел Карлсон?

Ответ: 30^0

Критерии оценивания.

(1)	Найдена составляющая скорости $\upsilon_{\perp}$	4 балла
(2)	Отмечено, что $\upsilon_{отн.} = 2\upsilon_{\perp}$	4 балла
(3)	Получен числовой ответ	2 балла