

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Олимпиада «Ломоносов 2018/2019» по физике
Отборочный этап для 7-х – 9-х классов

ТУР 1.

1. (5 баллов) Одной из характеристик писчей бумаги является ее плотность σ , для измерения которой обычно используется внесистемная единица г/м^2 . Какое давление p оказывает на стол лист бумаги плотностью $\sigma = \text{г/м}^2$? Ускорение свободного падения примите равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. Ответ приведите в паскалях, округлив до десятых.

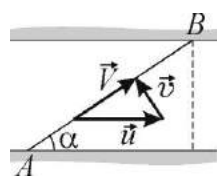
Решение. Сила тяжести, действующая на лист бумаги площадью S , равна $P = \sigma S g$. Давление, оказываемое листом на стол, $p = \frac{P}{S}$. **Ответ:** $p = \sigma g$.

Варьируемый параметр σ . Диапазон изменения от 80 до 280 г/м^2 с шагом 20 г/м^2 . Расчетная формула $p = 0,01 \cdot \sigma$.

σ	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
p	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8

2. (20 баллов) Мальчик переплывает реку, двигаясь по прямой из точки A , находящейся на одном берегу реки, в точку B , находящуюся ниже по течению на противоположном берегу реки, за время $t = \tau$. Скорость течения реки $u = 1 \text{ м/с}$. Найдите ширину реки h , если известно, что модуль скорости мальчика относительно воды $v = 0,8 \text{ м/с}$, а вектор этой скорости перпендикулярен прямой AB . Ответ приведите в метрах, округлив до десятых.

Решение. Скорость мальчика относительно берега \vec{V} складывается из скорости мальчика относительно воды и скорости течения, т.е. $\vec{V} = \vec{v} + \vec{u}$. При этом вектор \vec{V} направлен вдоль отрезка AB . По условию задачи вектор \vec{v} направлен перпендикулярно этому отрезку, поэтому эти три вектора образуют прямоугольный треугольник, как показано на рисунке. Из рисунка видно, что $\sin \alpha = \frac{v}{u} = \frac{L}{AB}$. Отсюда $L = \frac{v}{u} AB$.



Длина отрезка AB равна $V\tau$, причем значение скорости V можно найти по теореме Пифагора. Имеем $AB = V\tau = \sqrt{u^2 - v^2} \cdot \tau$. Окончательно для ширины реки получаем выражение $L = \frac{v}{u} AB = \frac{v\tau}{u} \sqrt{u^2 - v^2}$. **Ответ:** $L = \frac{v\tau}{u} \sqrt{u^2 - v^2}$.

Варьируемый параметр τ . Диапазон изменения от 50 до 150 с с шагом 10 с. Расчетная формула $L = 0,48 \cdot \tau$.

τ	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
L	24	28,8	33,6	38,4	43,2	48,0	52,8	57,6	62,4	67,2	72,0

3. (25 баллов) С какой минимальной скоростью v_{\min} должен влететь в атмосферу Земли метеорит, состоящий из железа, чтобы полностью расплавиться в воздухе, если на нагрев метеорита расходуется $\alpha = \%$ его начальной кинетической энергии? Начальная температура метеорита

$t_0 = -261 \text{ }^\circ\text{C}$. Удельную теплоёмкость железа считайте равной $c = 460 \text{ Дж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$, температуру плавления железа – $t_{\text{пл}} = 1539 \text{ }^\circ\text{C}$, удельную теплоту плавления железа – $\lambda = 270 \text{ кДж}/\text{кг}$. Ответ приведите в м/с, округлив до целых.

Решение. Метеор нагревается и плавится в результате превращения части его кинетической энергии во внутреннюю энергию. Уравнение теплового баланса имеет вид

$$\alpha \frac{mV_{\text{min}}^2}{2} = mc(t_{\text{пл}} - t_0) + \lambda m, \text{ где } m - \text{масса метеорита. Отсюда } V_{\text{min}} = \sqrt{\frac{2c(t_{\text{пл}} - t_0) + 2\lambda}{\alpha}}.$$

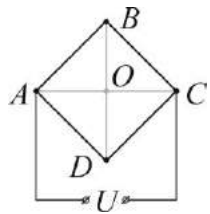
Ответ: $V_{\text{min}} = \sqrt{\frac{2(c(t_{\text{пл}} - t_0) + \lambda) \cdot 100\%}{\alpha}}$.

Варьируемый параметр α . Диапазон изменения от 60 до 80 % с шагом 2 %. Расчетная формула

$$V_{\text{min}} = \frac{14819}{\sqrt{\alpha}}.$$

α	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80
v_{min}	1913	1882	1852	1824	1797	1771	1746	1723	1700	1678	1657

4. (25 баллов) Из медной проволоки площадью поперечного сечения $s = 0,5 \text{ мм}^2$ изготовлен контур, имеющий форму квадрата $ABCD$ со стороной $a = 1 \text{ м}$, а из алюминиевой проволоки того же сечения – его диагонали AC и BD , соединенные в точке O (см. рисунок). Вершины A и C подключены к источнику постоянного напряжения $U = \mathcal{E}$. Найдите мощность N , выделяющуюся в рассматриваемой цепи, если сопротивление подводящих проводов пренебрежимо мало. Удельное сопротивление меди $\rho_{\text{м}} = 0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, удельное сопротивление алюминия $\rho_{\text{а}} = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Ответ приведите в ваттах, округлив до целых.



Решение. Из соображений симметрии ясно, что по диагонали BD ток не течет и ее можно удалить из схемы. Используя стандартные формулы для расчета сопротивления последовательно и параллельно соединенных проводников, находим, что сопротивление цепи $R = \frac{R_{AB}R_{AC}}{R_{AB} + R_{AC}}$, где

$$R_{AB} = \frac{\rho_{\text{м}}a}{s}, \quad R_{AC} = \frac{\rho_{\text{а}}a\sqrt{2}}{s}. \text{ Следовательно, } R = \frac{\rho_{\text{м}}\rho_{\text{а}}a\sqrt{2}}{s(\rho_{\text{м}} + \rho_{\text{а}}\sqrt{2})}.$$

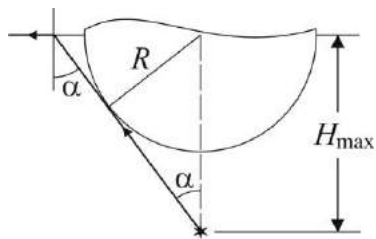
$$N = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2s(\rho_{\text{м}} + \rho_{\text{а}}\sqrt{2})}{\rho_{\text{м}}\rho_{\text{а}}a\sqrt{2}}. \text{ Ответ: } N = \frac{U^2s(\rho_{\text{м}} + \rho_{\text{а}}\sqrt{2})}{\rho_{\text{м}}\rho_{\text{а}}a\sqrt{2}}.$$

Варьируемый параметр U . Диапазон изменения от 1 до 11 В с шагом 1 В. Расчетная формула $N = 40,41 \cdot U^2$.

U	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N	40	162	364	647	1010	1455	1980	2586	3273	4041	4890

5. (25 баллов) На поверхности воды плавает непрозрачный шар радиусом $R = \text{см}$, наполовину погруженный в воду. На какой максимальной глубине H_{max} нужно поместить под центром шара точечный источник света, чтобы ни один световой луч не прошел в воздух? Показатель преломления воды $n = 1,33$. Ответ приведите в сантиметрах, округлив до десятых.

Решение. Искомое положение источника изображено на рисунке. Оно определяется из условия, что касательные к шару лучи света, испущенные источником, падают на границу раздела "вода – воздух" под предельным углом полного отражения. В этом случае действительно ни один луч от источника не выйдет в воздух, т.к. часть лучей будет перекрыта шаром, а все остальные лучи заведомо испытают полное отражение на границе раздела сред. Если переместить источник на меньшую глубину, свет по-прежнему не выйдет из воды, если же наоборот погрузить источник глубже, чем H_{\max} , то найдется часть лучей, которые будут



падать на границу под углами, меньшими предельного угла полного отражения, и пройдут в воздух. Минимальный угол α падения луча на границу "вода – воздух" определяется равенством $\sin \alpha = \frac{R}{H_{\max}}$. Поскольку при полном отражении $\sin \alpha = \frac{1}{n}$, то $H_{\max} = Rn$.

Варьируемый параметр R . Диапазон изменения от 10 до 30 см с шагом 2 см. Расчетная формула $H_{\max} = 1,33 \cdot R$.

R	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
H_{\max}	13,3	16,0	18,6	21,3	23,9	26,6	29,3	31,9	34,6	37,2	39,9