



## Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

### Профиль «Инженерное дело»

#### Специализация «Физика»

#### Класс участия: 8

**Задача 1** (6 баллов). Во время тренировки на велотреке с длиной круговой дорожки 500 м два велосипедиста должны проехать дистанцию 20 км. Первому потребовалось для этого 26 минут 40 секунд и к моменту завершения его тренировки второму оставалось проехать 765 м. Сколько времени проигрывал второй велосипедист первому на каждом круге?

#### Решение:

Определим количество кругов, которое нужно проехать за тренировку

$$n = \frac{S}{l} = \frac{20}{0,5} = 40.$$

Скорость первого велосипедиста

$$v_1 = \frac{S}{t_1}.$$

Время движения второго велосипедиста  $t_2 = t_1 + n\Delta t$ .

Тогда скорость второго велосипедиста

$$v_2 = \frac{S}{t_2} = \frac{S}{t_1 + n\Delta t}.$$

К моменту финиша первого велосипедиста разница расстояний составила

$$x = S - S_1 = S - v_2 t_1 = \frac{Sn\Delta t}{t_1 + n\Delta t}.$$

Следовательно, искомое отставание на каждом круге

$$\Delta t = \frac{t_1 x}{n(S - x)} = \frac{t_1 x l}{S(S - x)}.$$

$$\Delta t = \frac{1600 \cdot 765 \cdot 500}{20000(20000 - 765)} = 1,6 \text{ с.}$$

**Ответ:** Второй велосипедист проигрывал первому на каждом круге 1,6 с.



Критерии оценивания	Балл
Записана формула для скорости первого велосипедиста	1
Определено время движения второго велосипедиста	1
Записана формула для скорости второго велосипедиста	1
Записана формула для разности пройденных расстояний велосипедистов	1
Получена формула для времени отставания на каждом круге	1
Получен верный численный ответ	1
Всего баллов	6

**Задача 2 (7 баллов).** Лед массой 8 кг поместили в контейнер при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$ . Затем ему сообщили  $2 \cdot 10^7$  тепловой энергии. Какая масса воды будет в сосуде после этого? Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

**Решение:**

1. Количество теплоты для нагревания льда

$$Q_1 = c_1 m \Delta t = 2100 \cdot 8 \cdot 15 = 2,52 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

2. Количество теплоты для плавления льда

$$Q_2 = \lambda m = 3,2 \cdot 10^5 \cdot 8 = 25,6 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

3. Нагревание полученной воды до температуры кипения

$$Q_3 = c_2 m \Delta t = 4200 \cdot 8 \cdot 100 = 33,6 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

Найдем общее количество теплоты

$$Q_{13} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 61,72 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

Ещё осталось количество теплоты, которое будет потрачено на парообразование

$$Q - Q_{13} = 2 \cdot 10^7 - 61,72 \cdot 10^5 = 1,3828 \cdot 10^7 \text{ Дж.}$$

4. Определим массу испарившейся воды

$$m_{\text{п}} = \frac{Q - Q_{13}}{r} = \frac{1,3828 \cdot 10^7}{2,26 \cdot 10^6} \approx 6,12 \text{ кг.}$$

Тогда масса воды в контейнере

$$m_{\text{в}} = m - m_{\text{п}} = 8 - 6,12 = 1,88 \text{ кг}$$



Ответ:  $m_B = 1,88$  кг.

Критерии оценивания	Балл
Записана формула количества теплоты для нагревания льда	1
Записана формула количества теплоты для плавления льда	1
Записана формула количества теплоты для нагревания полученной воды	1
Записана формула количества теплоты для парообразования полученной воды	1
Получена формула для массы оставшейся воды	2
Получен верный численный ответ	1
Всего баллов	7

**Задача 3 (10 баллов).** Для содержания в чистоте оранжево-золотистых фасадов башни Меркурий делового центра Москва-Сити промышленный альпинист, масса которого в полном обмундировании и с необходимым оборудованием, составляет 90 кг, работал на однородном страховочном тросе длиной 50 м и массой 3,9 кг. Сколько минут с помощью электрической лебедки, установленной на крыше, поднимали альпиниста на 20 м для очистки следующего участка? Электродвигатель лебёдки включён в сеть напряжением 220 В, по его обмотке течет ток 0,5 А, а КПД равен 80%.

**Решение:**

Найдем работу по подъему веревки и альпиниста на  $h=20$  метров.

Разобьем ее на три составляющие.

1) Работа по подъему 20 метров веревки (работа переменной силы):  $A_1 = \frac{\frac{20}{50}m_Bgh}{2}$

2) Работа по подъему  $(50 - 20) = 30$  метров веревки:  $A_2 = \frac{30}{50}m_Bgh$

3) Работа по подъему альпиниста:  $A_3 = Mgh$

Суммируем:

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

КПД лебедки рассчитывается по формуле:

$$\eta = \frac{A}{A_{\text{тока}}} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{UIt}$$



Тогда найдём время подъёма:

$$t = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{\eta UI} = \frac{gh\left(\frac{4m_B}{5} + M\right)}{\eta UI} \approx 211,63 \text{ с} \approx 3,5 \text{ мин.}$$

Ответ:  $t = 3,5$  мин.

Критерии оценивания	Балл
Найдена работа по подъему оставшейся висеть веревки	1
Найдена работа переменной силы тяжести	3
Найдена работа по подъему альпиниста	1
Правильно записана формула для работы тока	1
Верно записана формула КПД лебедки	2
Получен правильный числовой ответ	2
Всего баллов	10

**Задача 4** (13 баллов). В космосе при столкновении микрометеоритов с космическими аппаратами в месте соприкосновения образуются кратеры в материале поверхности аппарата. Если микрочастица перед ударом движется со скоростью 1060 м/с относительно аппарата, то при столкновении она нагревается до температуры плавления, а материал на поверхности аппарата нагревается и деформируется. Если же микрометеорит имеет перед столкновением скорость 1150 м/с, то в момент удара он полностью расплавляется, а поверхность космического аппарата в этой точке не только нагревается и деформируется, но еще небольшая часть материала поверхности, равная по массе налетающей микрочастице, также расплавляется. Энергия, затрачиваемая на деформацию и нагревание участка поверхности космического аппарата, одинакова в обоих случаях. Найдите удельную теплоту плавления микрометеорита, если у материала поверхности аппарата она такая же. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

**Решение:**

Рассмотрим два случая:

1) Когда микрометеорит нагрелся до температуры плавления:

$$\frac{mV_1^2}{2} = cm_{\Delta}t + Q$$

$$V_1^2 = 2c_{\Delta}t + 2Q \quad (1)$$

2) Когда микрочастица нагрелась до температуры плавления и расплавилась



вместе с кусочком материала поверхности:

$$\frac{mv_2^2}{2} = cm \Delta t + 2\lambda m + Q(2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2), получим:

$$V_2^2 = V_1^2 + 4\lambda$$

$$\lambda = \frac{V_2^2 - V_1^2}{4} = \frac{1150^2 - 1060^2}{4} = 49725 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

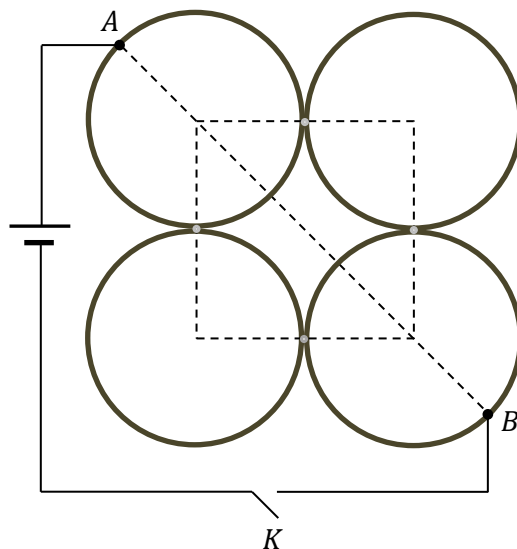
**Ответ:**  $\lambda = 49725 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ .

Критерии оценивания	Балл
Записан закон сохранения энергии для первого случая	4
Записан закон сохранения энергии для второго случая	4
Получена итоговая формула	4
Получен численный ответ	1
Всего баллов	13

**Задача 5** (14 баллов).

Юный физик Костя, исследуя тепловое действие тока, решил изготовить нагревательный элемент собственной конструкции. На 3D принтере он распечатал тонкое кольцо диаметром около 10 см и плотно намотал на него слой нихромовой проволоки. Получился проволочный тор (бублик). Витки проволоки, благодаря оксидному слою при этом остались изолированными друг от друга (как в реостате). Подключив омметр к концам обмотки, Костя измерил сопротивление тора, оно оказалось равным  $R = 55 \text{ Ом}$ ,

затем эти концы Костя соединил. Всего экспериментатор изготовил четыре таких тора. Далее Костя закрепил торы на плоской изолирующей подставке и электрически соединил каждый бублик с соседними крошечными капельками припоя (см. рис.). Центры торов являются вершинами квадрата (на рисунке изображен пунктиром). Получившуюся конструкцию в точках  $A$  и  $B$  Костя подключил к источнику напряжения  $U = 220 \text{ В}$ . Готовый нагревательный элемент был помещен на дно теплоизолированного сосуда, куда Костя налил 3 литра дистиллированной воды, взятой при температуре  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . Через какое





время после замыкания ключа вода закипит? Удельная теплоемкость воды  $c = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

### Решение:

Поскольку вода дистиллированная, оксидный слой точно разрушаться не будет, и ток идет только по нагревательному элементу. В силу симметрии схемы, по коротким участкам  $MN$  и  $FQ$  ток не идет, и их можно убрать из схемы. Точки  $F$  и  $M$  делят тор 1 в отношении 3:1. Поэтому его сопротивление

$$R_1 = \frac{\frac{3}{4} \cdot \frac{1}{4}}{\frac{3}{4} + \frac{1}{4}} R = \frac{3}{16} R.$$

Участки  $AF$  и  $MB$  вместе составляют  $\frac{3}{4}$  длины тора и соединены с тором 1 последовательно. Стало быть, сопротивление участка  $AFMB$

$$R_{AFMD} = \frac{3}{16} R + \frac{3}{4} R = \frac{15}{16} R.$$

Таким же будет  $R_{AQND}$ , соединенное с  $R_{AFMD}$  параллельно. Тогда общее сопротивление нагревательного элемента

$$R_3 = \frac{R_{AFMD}}{2} = \frac{15}{32} R.$$

Работа тока

$$A = \frac{U^2}{R_3} = \frac{32U^2}{15R} \tau,$$

где  $\tau$  — искомое время.

По закону Джоуля—Ленца:

$$A = Q,$$

где

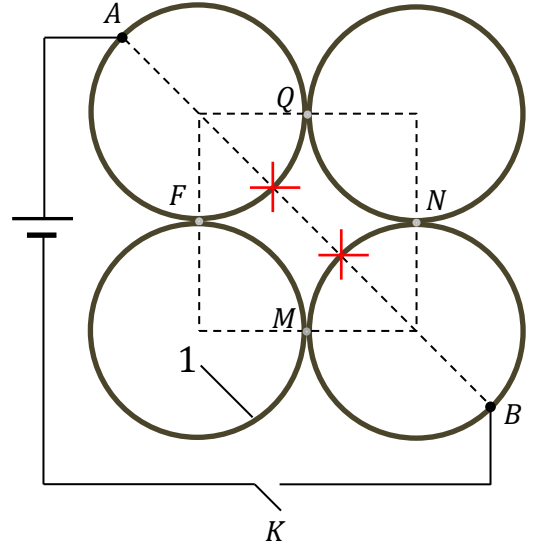
$$Q = cm\Delta t$$

— тепло, подведенное к воде от нагревательного элемента. В итоге искомое время

$$\tau = \frac{15cmR\Delta t}{32U^2}.$$

Численный расчет:

$$\tau(\text{мин}) = \frac{15 \cdot 4200 \cdot 3 \cdot 55 \cdot 100}{32 \cdot 220^2 \cdot 60} \cong 11 \text{ мин.}$$





Ответ:  $\tau = \frac{15cmR\Delta t}{32U^2} \cong 11$  мин.

Критерии оценивания	Балл
Указано, что по воде ток идти не будет	1
Схема упрощена из соображений симметрии	4
Найдено сопротивление $R_1$	1
Найдено сопротивление $R_{AFMD}$	1
Найдено сопротивление всего нагревательного элемента	1
Определена работа тока и применен закон Джоуля—Ленца	2
Определено тепло необходимое для нагрева воды	2
Получен верный ответ	2
Всего баллов	14