



Республиканская физическая олимпиада 2023 года (Заключительный этап)

Теоретический тур

9 класс.

1. Полный комплект состоит из трех заданий.
2. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.

Внимание!

3. Помимо условий Вы получите тетрадь для черновиков и Листы ответов. Листы ответов содержат отдельные разделы в соответствии с пунктами полученных Вами заданий. На свободных местах (помеченных как «Вывод формулы» Вы должны кратко привести: основные идеи решения, рисунки (при необходимости), исходные уравнения и их обоснования, сделанные приближения, основные математические преобразования, окончательные результаты. Конечные формулы и требуемые численные значения занесите в соответствующие выделенные поля. Если по условию заданий от Вас требуется построение графика, используйте подготовленные бланки в Листах ответов, не забудьте подписать и оцифровать оси координат. Рекомендуем сначала решать в черновике (в отдельной тетради), а затем красиво оформить решение на Листах ответов. Используйте только лицевую сторону Листов ответов, писать на обороте листа запрещается.



Черновики проверяться не будут!

4. Подписывать Листы ответов и черновик запрещается.
5. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
6. После окончания работы сложите листы ответов в соответствии с нумерацией страниц.
7. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.

Пакет заданий содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических задач (5 стр.).

Задание 1. Термометр Галилея.



Термометр Галилея — запаянный стеклянный цилиндр, наполненный жидкостью, в которой плавают стеклянные сосудики-буйки. К каждому такому сферическому поплавку прикреплена снизу золотистая или серебристая бирка с выбитым на ней значением температуры. В зависимости от размера термометра количество поплавков внутри бывает от 3 до 11. В настоящее время термометр представляет эстетическую ценность в качестве эффектного предмета интерьера.

При изменении температуры изменяются плотности жидкости и материала поплавков. Поэтому изменяются условия плавания поплавков – они могут либо тонуть, либо всплывать. Конечно, точно измерять температуру с помощью этого термометра невозможно, но детали прибора должны быть изготовлены с высокой точностью. В данной задаче вам необходимо рассчитать характеристики этой забавной игрушки.

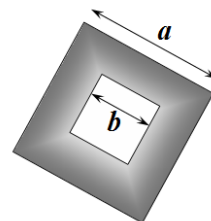
Часть 1. Тепловое расширение.

При нагревании тела все его линейные размеры тела изменяются одинаково. Во многих случаях относительное изменение размеров тела пропорционально изменению температуры и описывается формулой

$$l = l_0(1 + \alpha(t - t_0)), \quad (1)$$

где l - длина тела при температуре t , l_0 - длина тела при температуре t_0 , α - коэффициент линейного расширения вещества, из которого изготовлено тело. По аналогичному закону изменяются все линейные размеры тела.

1.1 Квадратная металлическая пластина изготовлена из металла с коэффициентом теплового расширения α . В середине пластины проделано квадратное отверстие. При температуре t_0 длина стороны внешнего квадрата равна a , длина стороны отверстия - b . Пластину нагревают на Δt градусов. Укажите, что произойдет с площадью отверстия (увеличится, уменьшится, не изменится).



Если площадь отверстия изменится, то найдите ее изменение ΔS .

Изменение плотности однородного тела может быть описано формулой

$$\rho = \rho_0(1 + \gamma(t - t_0)), \quad (1)$$

где V - объем тела при температуре t , V_0 - длина тела при температуре t_0 , γ -тепловой коэффициент изменения плотности вещества, из которого изготовлено тело.

1.2 Выразите коэффициент теплового изменения плотности γ через коэффициент линейного расширения α . Считайте эти коэффициенты малыми.

Часть 2. Массы поплавков.

Здесь и далее будем считать, что сосуд термометра Галилея заполнен дистиллированной водой. Тепловое расширение воды носит сложный характер и не подчиняется линейным законам (1) и (2). В Таблице 1 в Листах ответов приведены значения
9 класс. Теоретический тур. Вариант 2.

удельного объема воды v_0 при различных температурах t . Удельным объемом называется объем единицы массы вещества. Будем считать, что поплавки являются полыми стеклянными шариками, диаметр которых при температуре $t_0 = 20,0^\circ$ равен $D = 2,000$ см. Шарики частично заполнены подкрашенной водой, масса каждого шарика-поплавка (вместе с водой внутри) равна $m_0 = 4,000$ г. К шарикам подвешивают золотую бирку, с выбитым значением температуры. Плотность золота при температуре $t_0 = 20,0^\circ$ равна $\rho_1 = 19,32 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Назовем температурой всплытия t^* поплавка такую температуру, при которой поплавок (с биркой) может находиться в состоянии равновесия внутри жидкости. Именно эту температуру указывает на бирках поплавок.

2.1 Поплавок находится внутри жидкости, находящейся при температуре всплытия. Что произойдет с шариком (начнет тонуть, начнет всплывать, останется в равновесии), если температура повысится?

2.2 На бирках поплавок указаны температуры всплытия. При некоторой температуре часть шариков плавает у поверхности, часть затонула. Как определить температуру термометра по числам, указанным на бирках? Как оценить погрешность измерения температуры в этом случае?

Для предварительного расчета пренебрежем тепловым расширением стекла поплавок и золота бирки.

2.3 Для каждого значения температуры, приведенной в таблице 1, рассчитайте значение массы бирки m_1 , чтобы для этого поплавок указанная температура была температурой всплытия.

При проведении испытаний оказалось, что термометр имеет систематическую погрешность. Для ее исправления разработчики решили учесть тепловое расширение стекла, из которого изготовлены поплавки, а тепловым расширением золота по-прежнему пренебрегать. Коэффициент линейного теплового расширения стекла равен $\alpha = 9,200 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

2.4 Рассчитайте, на сколько надо изменить массу Δm_1 каждой бирки, чтобы исключить погрешность прибора.

2.5 Рассчитайте общую массу золота, которая пойдет на изготовление термометра, с 5 поплавками, рассчитанными на температуры, указанные в Таблице 1.

В листе ответов приведите краткий вывод расчетных формул, численные результаты расчета масс бирок m_1 и их изменения Δm_1 занесите в третий и четвертый столбцы таблицы 1.

Задание 2. Как измеряли Вселенную.

Данное задание состоит из 4 связанных между собой задач.

В задаче используется современная система единиц.

Во всех частях задания обязательно сделайте рисунки, поясняющие Ваши расчеты.

Часть 1. Радиус Земли.

Моряк, находящийся на мачте на высоте $h = 10$ м над уровнем моря, увидел свет маяка высотой $h = 10$ м над уровнем моря на расстоянии $L = 22,5$ км

1.1 Рассчитайте по приведенным данным радиус Земли.



H. Cavendish

Часть 2. Плотность Земли.

Впервые гравитационную постоянную G , входящую в закон всемирного тяготения Ньютона, измерил в 1798 году британский физик-экспериментатор Генри Кавендиш. Он же впервые рассчитал среднюю плотность Земли. По современным данным она равна

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{М}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$. Во времена Г. Кавендиша численное значение

ускорения свободного падения на поверхности Земли было известно (считайте, что $g = 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$).

2.1 Используя приведенные данные, рассчитайте среднюю плотность Земли.



Часть 3. Расстояние до Луны.

Легко измерить время между двумя последовательными полнолуниями, оно равно 29,5 суток. Длительность Земного года примем равной 365,25 суток. Считайте, что орбиты Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли являются окружностями, лежащими в одной плоскости.

3.1 Рассчитайте среднее расстояние от Земли до Луны.



Часть 4. Масса Солнца.

В настоящее время расстояния до ближайших небесных тел измеряют с высокой точностью с помощью радиолокации. По данным измерений свет распространяется от Земли до Солнца и обратно за время

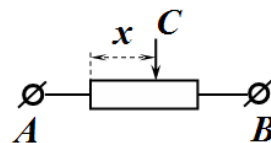
$\tau = 16,7$ мин. Скорость света в вакууме равна

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

4.1 Рассчитайте по приведенным данным массу Солнца.

Задание 3. Изменение мощности.

Реостат электроплитки AB изготовлен из однородной проволоки длины l , полное сопротивление которой равно R_0 . Положение движка реостата C (средний вывод) описывается длиной участка проволоки $|AC| = x$. Обозначим отношение длины участка AC к длине всей проволоки $z = \frac{x}{l}$.

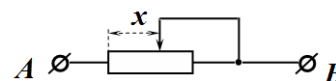


Подключая выводы реостата различными способами можно изменять электрическое сопротивление между клеммами реостата A и B . Введем величину $r = \frac{R_{AB}}{R_0}$, равную отношению сопротивления между клеммами к полному сопротивлению реостата. Электроплитка подключается к источнику постоянного напряжения U_0 . Введем величину $p = \frac{P_{AB}}{U_0^2} R_0$ - отношение мощности электроплитки при подключении ее к клеммам A и B к мощности плитки при подключении полной спирали реостата.

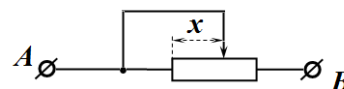
Часть 1. Один реостат.

1.1 – 1.3 На рисунке 1 показаны три различных схемы подключения выводов реостата. Для каждой схемы найдите зависимость величины p от параметра z , определяющего положение среднего вывода. На одном бланке в Листах ответов постройте графики полученных зависимостей.

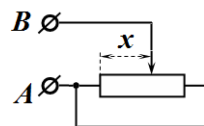
1.1



1.2



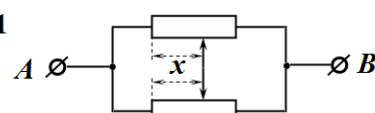
1.3



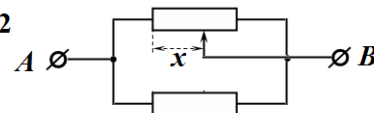
Часть 2. Два реостата.

2.1 – 2.2 Приведенные на рисунках схемы включают по 2 одинаковых, описанных выше, реостата. Считайте, что движки реостатов в схеме 2.1 смещаются одинаково (т.е. $x_1 = x_2 = x$). Для каждой схемы найдите зависимость параметра $p = \frac{P_{AB}}{U_0^2} R_0$ от параметра $z = \frac{x}{l}$.

2.1



2.2



Часть 3. Нелинейный реостат.

В некоторых устройствах (например, для регулировки громкости звука) используют реостаты, сопротивление которых нелинейно зависит от длины участка $|AC| = x$ и описывается некоторой функцией $R(x)$ (или $R(z)$). Такой реостат включен в цепь по схеме 1.3. В Таблице 1 Листов ответов приведена зависимость сопротивления R_{AB} между клеммами A и B от параметра $z = \frac{x}{l}$. График этой зависимости приведен для иллюстрации.

3.1 Найдите полное сопротивление реостата R_0 .

3.2 Используя данные Таблицы 1, рассчитайте значения функции $R(z)$ в заданных точках. Постройте график этой функции.

3.3 Предложите функцию, описывающую рассчитанную зависимость $R(z)$.

3.4 Постройте график зависимости мощности реостата ($p(z) = \frac{P(z)}{U_0^2} R_0$) от положения движка

$$z = \frac{x}{l}.$$