



# 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.

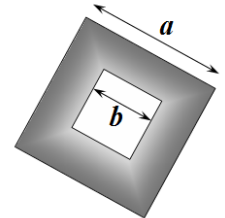
### Часть 1. Тепловое расширение.

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  $t_0$ ,  $\alpha$  - 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  $\alpha$ . В середине пластины проделано квадратное отверстие. При температуре  $t_0$  длина стороны внешнего квадрата равна  $a$ , длина стороны отверстия -  $b$ . Пластину нагревают на  $\Delta t$  градусов. Укажите, что произойдет с площадью отверстия (увеличится, уменьшится, не изменится).



Если площадь отверстия изменится, то найдите ее изменение  $\Delta S$ .

Изменение плотности однородного тела может быть описано формулой

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

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

**1.2** Выразите коэффициент теплового изменения плотности  $\gamma$  через коэффициент линейного расширения  $\alpha$ . 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 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-поплавок (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  $t^*$  поплавок такую температуру, при которой поплавок (с биркой) может находиться в состоянии равновесия внутри жидкости. Именно эту температуру указывает на бирках поплавков.

**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 поплавков 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  $\Delta m_1$  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  $\Delta m_1$  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.



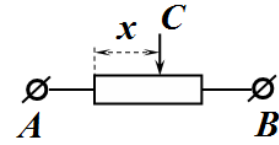
### Часть 4. Масса Солнца.

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.

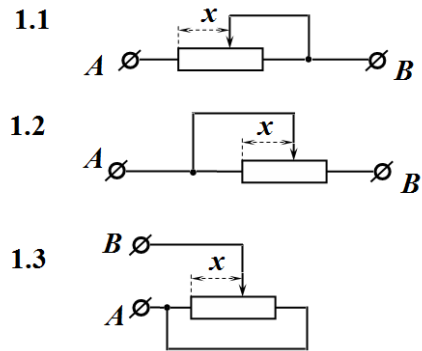
Реостат электроплитки  $AB$  изготовлен из однородной проволоки длины  $l$ , полное сопротивление которой равно  $R_0$ . Положение движка реостата  $C$  (средний вывод) описывается длиной участка проволоки  $|AC| = x$ . Обозначим отношение длины участка  $AC$  к длине всей проволоки  $z = \frac{x}{l}$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



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.

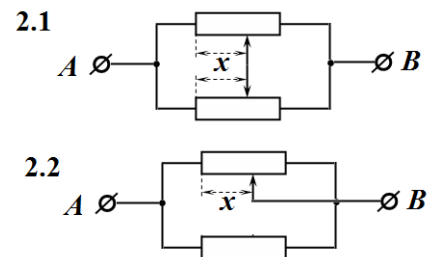
#### Часть 1. Один реостат.

**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.



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



#### 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

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



# Республиканская физическая олимпиада 2023 года (Заключительный этап)

## Теоретический тур

### 10 класс.

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

#### **Внимание!**

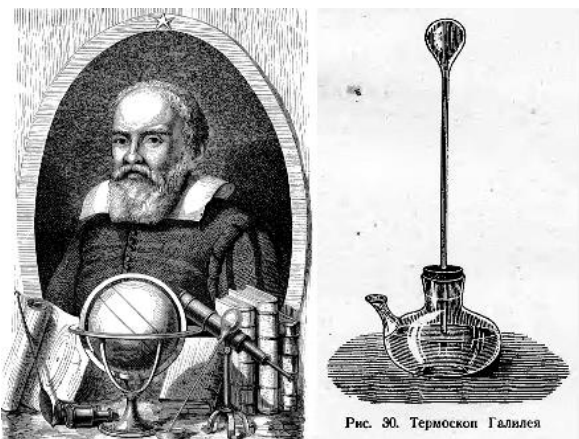
3. Помимо условий Вы получите тетрадь для черновиков и Листы ответов. Листы ответов содержат отдельные разделы в соответствии с пунктами полученных Вами заданий. На свободных местах (помеченных как «Вывод формулы» Вы должны кратко привести: основные идеи решения, рисунки (при необходимости)), исходные 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 (4 стр.).



## Задание 1. Термоскоп Галилея.

Первый термоскоп сконструировал итальянский физик Галилео Галилей примерно в 1592—1600 годах.

**Термоскоп** (греч. Θέρμη [термо] «тепло» + σκοπέω [скопео] «смотрю») — устройство, которое показывает изменения температуры, родоначальник современных термометров. Типичная конструкция термоскопа представляет собой трубку, в которой жидкость поднимается и опускается при изменении температуры.

Молодой, но талантливый белорусский физик Федор, прочитав это сообщение, решил превзойти знаменитого итальянского ученого: не только самостоятельно сконструировать и изготовить подобный прибор, но и снабдить его точно рассчитанной температурной шкалой. Тем, более, что Федор только что изучил газовый законы, еще не известные во времена Г.Галилея.

### Часть 1. Конструирование и градуировка в идеальном случае.

Федор нашел стеклянную трубку, измерил ее размеры: Длина трубки  $l = 50$  см; внутренний диаметр  $d = 0,50$  см. Федор закрепил трубку вертикально, нижний конец трубки опустил в широкий сосуд с водой. Погруженной в воду частью трубки можно пренебречь, также можно считать, что уровень воды в нижнем сосуде постоянен. К верхней части трубки прикрепил сосуд, объем которого  $V_1$  Федор тщательно рассчитал. Рядом с трубкой располагается шкала, по которой можно измерять высоту  $h$ , на которую поднимается вода в трубке.

Для расчетов используйте следующие параметры:

Плотность воды  $\rho = 1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  и не зависит от температуры;

Атмосферное давление постоянно и равно  $P_0 = 1,00 \cdot 10^5 \text{ Па}$  ;

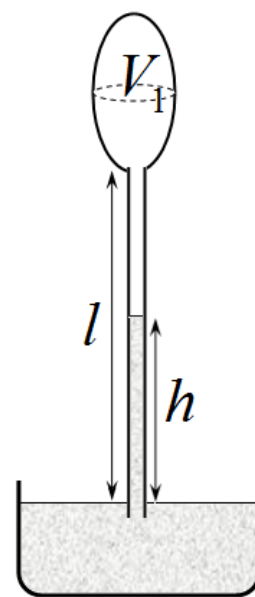
Ускорение свободного падения  $g = 10,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  ;

Абсолютный нуль температуры  $\tau = -273^\circ\text{C}$  .

Федор решил, что с помощью данного прибора необходимо измерять температуру в диапазоне от  $t_{\min} = 10^\circ\text{C}$  до  $t_{\max} = 40^\circ\text{C}$  (по его мнению, именно в таком диапазоне изменяется температура в квартирах).

Федор рассудил, **что давлением насыщенных паров воды внутри термоскопа можно пренебречь** так, как в выбранном диапазоне температур оно значительно (более, чем в 10 раз) меньше атмосферного давления.

Настройку термоскопа Федор проводил следующим образом. Трубку с сосудом сверху вертикально опускают в воду в нижнем сосуде, так, она незначительно погружается в воду. Погруженной в воду частью трубки можно пренебречь, также можно считать, что уровень воды в нижнем сосуде постоянен. После этого воду нагревают до температуры  $t_{\max} = 40^\circ\text{C}$  , воздух в трубке также нагревается до этой же температуры. Воздух частично выходит из трубки, тем самым оказывается, что при этой температуре высота уровня воды в трубке равна





$h = 0$ . При остывании уровень воды в трубке повышается, тем самым данный прибор можно использовать в качестве комнатного термометра.

**1.1** Рассчитайте, при каком объеме верхнего сосуда  $V_1$  вода полностью заполнит трубку (т.е. высота уровня воды в трубке станет равной  $h = l$ ), если температура опустится до значения  $t_{\min} = 10^\circ\text{C}$ .

Для дальнейших расчетов удобно использовать следующие параметры:

$\alpha = \frac{\rho g l}{P_0}$  - отношение гидростатического давления воды в полностью заполненной трубке;

$\beta = \frac{lS}{V_1 + lS}$  - отношение объема трубки к полному объему термоскопа (верхнего сосуда и трубки);

$z = \frac{h}{l}$  - относительная высота уровня воды в трубке (отношение высоты уровня к длине трубки).

**1.2** Рассчитайте численные значения параметров установки  $\alpha$  и  $\beta$ .

**1.3** Получите уравнение, позволяющее рассчитать зависимость относительной высоты уровня воды в трубке от температуры в комнате  $z(t)$ . В качестве параметров этого уравнения должны входить только безразмерные параметры  $\alpha, \beta$  и минимальная температура  $t_{\min}$ .

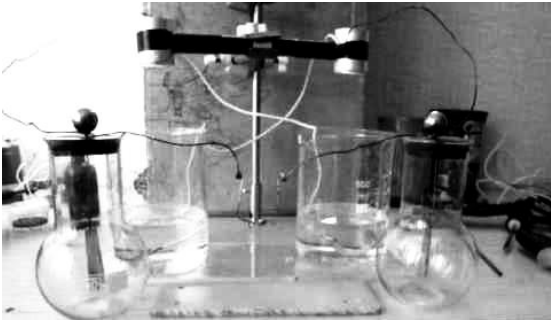
**1.4** Постройте градуировочный график зависимости  $z(t)$ . Результаты расчетов (в том числе и промежуточные) приведите в Таблице 1 Листов ответов. График постройте на приведённом бланке Листов ответов.

## Часть 2. Реальные измерения.

В ходе экспериментальной проверки изготовленного термоскопа Федор обнаружил, что показания прибора заметно отличаются от рассчитанных значений. Федор понял, что **давлением водяных паров внутри термоскопа пренебрегать нельзя**. Найти зависимость давления насыщенных водяных паров от температуры не представляет труда. Эта зависимость в используемом диапазоне температур приведена в Таблице 2 Листов ответов. Там же для наглядности приведен график этой зависимости. В этой части вы должны провести расчет зависимости высоты поднятия воды в трубке от температуры с учетом влияния водяных паров. Все параметры прибора остались прежними.

**2.1** Получите уравнение, позволяющее рассчитать зависимость относительной высоты уровня воды в трубке от температуры в комнате  $z(t)$ . В качестве параметров этого уравнения должны входить только безразмерные параметры  $\alpha, \beta$ , минимальная температура  $t_{\min}$ , а также отношение давления насыщенных паров воды к атмосферному давлению  $\gamma = \frac{P_{\text{нас.}}}{P_0}$ .

**2.2** Рассчитайте значения относительной высоты уровня воды в трубке от температуры  $z(t)$ , для температур, приведенных в Таблице 2. Постройте график полученной зависимости.



## Задание 2. Капельница Кельвина.

**Капельница Кельвина** — электростатический генератор, изобретённый Уильямом Томсоном (лордом Кельвином) в 1867 году. Простая конструкция позволяет, тем не менее, получить напряжения порядка  $10 \text{ кВ}$ .

В настоящее время имеется много различных модификаций этого прибора, который в настоящее время рассматривается как забавная игрушка.

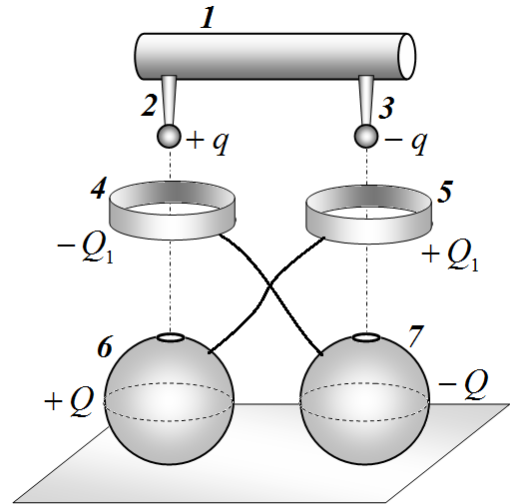
В данном задании рассмотрим следующую упрощенную модель этого устройства.

Цилиндрический сосуд 1, заполненный водой, снабжен двумя небольшими трубочками — капельницами 2 и 3, из которых с некоторым интервалом падают капли. Капли пролетают через проводящие кольца 4 и 5 и попадают в проводящие сферические сосуды 6 и 7 с небольшими отверстиями. Сосуды соединены с кольцами «крест-накрест».

Принцип работы этого электростатического генератора очевиден:

- изначально сосудам 6 и 7 сообщают небольшие электрические заряды противоположного знака  $+Q$  и  $-Q$ ; радиусы этих сосудов равны  $R$ . Электростатическим воздействием одного сосуда на другой следует пренебречь;
- часть этих зарядов  $\pm Q_1$  перетекает на кольца 4 и 5; два кольца служат обкладками конденсатора, электрическая емкость которого равна  $C$ ; так как эта емкость мала, то следует считать, что  $|Q_1| \ll |Q|$ ; Радиусы колец равны  $r$ , они находятся на расстоянии  $h$  от концов трубок с каплями, толщина колец значительно меньше из радиусов;
- электрическое поле колец индуцирует на каплях заряды  $\pm q$ , радиусы капель равны  $a$ ; расстояние от сосудов 6 и 7 до капель достаточно велико, поэтому влиянием поля сосудов на капли можно пренебречь; Расстояние между каплями также значительно больше радиусов капель; сосуд с водой 1 заземлен;

Таким образом, капли приобретают электрический заряд, который при попадании капли в сосуд передается соответствующему сосуду, увеличивая его заряд.



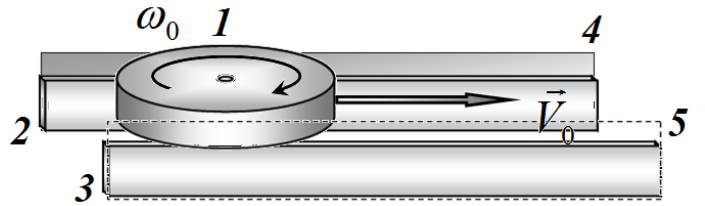
1. Пусть заряды каждого сосуда равны  $\pm Q$ . Найдите, какие заряды  $\pm Q_1$  возникают на кольцах.

2. Рассчитайте электрические заряды капель  $\pm q$ . Величину этого заряда можно представить в виде  $q = \alpha Q$ , где  $\alpha$  - некоторый безразмерный коэффициент. Запишите формулу для этого коэффициента.

3. Обозначим заряды сосудов до падения первых капель  $\pm Q_0$ . Найдите заряды этих сосудов, после того, как в них упало по  $N$  капель. Ответ выразите через коэффициент  $\alpha$ .

### Задание 3. Диск на рельсах.

Массивный однородный диск 1 радиуса  $R$  может скользить по двум узким горизонтальным параллельным рельсам 2 и 3. Диск опирается на рельсы своими краями. Коэффициент трения диска о рельсы равен  $\mu$ . По бокам рельсов расположены упорные стенки 4 и 5, не позволяющие диску соскользнуть с рельсов. Трением диска об эти упорные стенки можно пренебречь.



#### Часть 1. Динамика вращательного движения.

Пусть ось диска удерживается **неподвижной**, при этом диск вращается, опираясь на рельсы. Диск раскрутили до угловой скорости  $\omega_0$  и положили на рельсы. Обозначим скорость крайних точек диска относительно его центра  $v = \omega R$ .

**1.1** Покажите, что изменение модуля скорости крайних точек диска описывается уравнением

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -4 \frac{F_{тр.}}{m}, \quad (1)$$

где  $F_{тр.}$  - сила трения, действующая на диск со стороны одного рельса,  $m$  - масса диска.

*Это уравнение описывает изменение скорости вращательного движения и в случае наличия поступательного движения.*

**Подсказка:** Кинетическая энергия диска, вращающегося вокруг собственной оси с угловой скоростью  $\omega$  равна

$$E_{кин.} = \frac{mR^2 \omega^2}{4} = \frac{mv^2}{4}. \quad (2)$$

**1.2** Найдите, за какое время угловая скорость диска уменьшится в два раза.

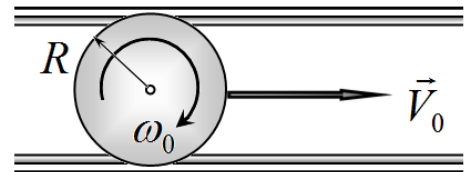
**1.3** Найдите, сколько оборотов сделает диск до полной остановки.

#### Часть 2. Движение диска по рельсам.

Далее считаем, что диск может двигаться поступательно по рельсам.

Диск раскручивают до угловой скорости  $\omega_0$  вокруг его оси, аккуратно кладут на рельсы и сообщают скорость  $V_0 = 2\omega_0 R$ , направленную вдоль рельсов.

вид сверху



**2.1** Нарисуйте схематические графики зависимости модулей скорости поступательного движения  $V$  и скорости вращательного движения относительно оси  $v = \omega R$  от времени.

**2.2** Через какое время после начала движения скорости поступательного  $V$  и вращательного движения  $v$  станут равными?

**2.3** Рассчитайте среднее ускорение оси диска после того, как скорости поступательного и вращательного движения стали равными.

**2.4** Найдите, какой полный путь пройдет диск до остановки (ответ выразите через  $V_0$  и  $\mu$ ).



# Республиканская физическая олимпиада 2023 года (Заключительный этап)

## Теоретический тур

### 11 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.

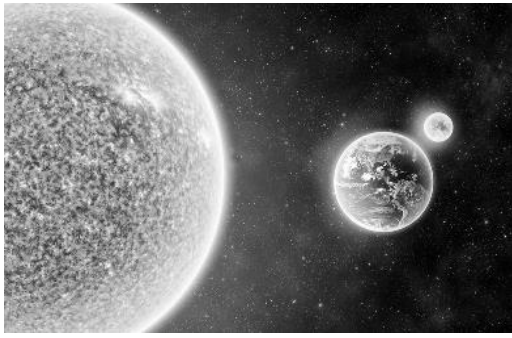


***Черновики проверяться не будут!***

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 (6 стр.).



### Задание 1. Размер Солнца.

Средний видимый диаметр Солнца —  $31'59''$  (изменяется от  $31'31''$  до  $32'36''$ ).

Для расчетов примем, что угловой размер Солнца равен  $\alpha = 32'$ .

К каким наблюдаемым эффектам это приводит? Решите данную задачу!

1. У вас есть металлический шарик, диаметр которого равен 5,0 мм. На каком расстоянии от глаза нужно расположить шарик, чтобы он полностью закрывал Солнце?

Интенсивность равна энергии излучения, падающего на единицу площади поверхности в единицу времени. Солнечная постоянная — суммарная мощность солнечного излучения, проходящего через единицу площади, ориентированной перпендикулярно потоку солнечных лучей; считайте, что на поверхности Земли она равна  $A=1,2$  кВт/м<sup>2</sup>.

2. На листе бумаги получают изображение Солнца с помощью линзы, диаметр которой равен 10 см, а фокусное расстояние линзы 25 см. Найдите интенсивность света, падающего на полученное изображение Солнца.

3. Воздушный шар радиуса  $R=5,0$  м поднимается над поверхностью Земли. Солнце находится на высоте  $\beta = 30^\circ$  над горизонтом. При какой максимальной высоте подъема шара его тень будет видна на поверхности Земли?

4. Источником излучения в интерференционной схеме Юнга служит весь диск Солнца. С помощью светофильтров из излучения Солнца выделяют монохроматическую компоненту с длиной волны  $\lambda = 550$  нм. При каком максимальном расстоянии  $d$  между отверстиями в экране можно наблюдать интерференционную картину?

*При выполнении всех частей данного задания вам необходимо построить ход световых лучей, объясняющих ваше решение.*



## Задание 2. Кислород и водород – методы охлаждения.

**Йоханнес Дидерик Ван-дер-Ваальс** — голландский физик. В первую очередь известен как автор уравнения Ван-дер-Ваальса, с хорошей точностью описывающего поведение реального газа. За открытие этого уравнения в 1910 году был удостоен Нобелевской премии.

При обычных условиях (при температурах близких к комнатным, давлениях близких к атмосферному) свойства газов хорошо описываются уравнением состояния идеального газа Менделеева – Клапейрона

$$P = \frac{RT}{V}, \quad (1)$$

Здесь и далее рассматривается один моль газа,  $P$  - давление газа,  $T$  - абсолютная температура,  $V$  - объем, который занимает один моль газа (молярный объем),  $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$  - универсальная газовая постоянная. В модели идеального газа пренебрегают:

- размерами молекул (которые рассматриваются как материальные точки);
- дистанционным взаимодействием молекул.

Эти приближения исключают описание процесса перехода газа в жидкое состояние.

В 1873 году голландский физик Ван-дер-Ваальс предложил модернизировать уравнение (1) посредством введения двух поправок:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}, \quad (2)$$

$b$  - величина примерно равная собственному объему молекул, второе слагаемое описывает уменьшение давления газа вследствие взаимного притяжения молекул. Не сложно показать, что внутренняя энергия одного моля газа, описываемого уравнением Ван-дер-Ваальса (2), определяется по формуле

$$U = C_v T - \frac{a}{V}, \quad (3)$$

Где  $C_v$  - молярная теплоемкость газа в изохорном процессе. В данной задаче Вам необходимо рассмотреть некоторые процессы, которые приводят к охлаждению газа, которое является необходимым условием для последующего сжижения газов.

В задаче рассматриваются свойства двух газов: кислорода  $O_2$  и водорода  $H_2$ . Для этих газов

$C_v = \frac{5}{2} R$ ; поправки Ван-дер-Ваальса:

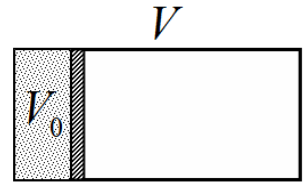
Для кислорода  $a = 0,138 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^{-2}}$ ,  $b = 31,9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$ ;

Для водорода  $a = 0,0245 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^{-2}}$ ,  $b = 26,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$ .

**В своих расчетах используйте разумные приближения, обеспечивающие нужную точность результатов. Свои приближения обоснуйте.**

## Часть 1. Адиабатическое расширение «в пустоту»

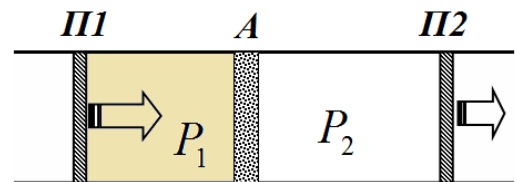
Одним из способов охлаждения газов является его адиабатическое (т.е. без теплообмена с окружающей средой) расширение. Эффект достигается и в том случае, когда газ расширяется без совершения работы. Такой процесс схематически реализуется следующим образом: теплоизолированный сосуд объема  $V$  разделен на две части перегородкой, в одной части объема  $V_0$  сосуда находится газ, в другой – вакуум. В некоторый момент времени перегородку резко убирают, газ расширяется и занимает весь объем сосуда.



- 1.1** Один моль газа расширяется в пустоту, при этом его объем изменяется от  $V_0$  до  $V$ . Найдите, чему равно изменение температуры газа, если  
А) газ идеальный (т.е. подчиняется уравнению (1));  
Б) газ подчиняется уравнению (2).
- 1.2** Рассчитайте численное значение изменения температуры газа в описанном процессе, если его давление изменяется от  $P_0 = 10 \text{ атм} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ Па}$  до  $P_1 = 1,0 \text{ атм} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Начальная температура газа равна  $T_0 = 300 \text{ К}$ . Расчет проведите для кислорода и водорода.

## Часть 2. Дросселирование.

Дросселирование – процесс перетекания газа через пористую перегородку под действие постоянного перепада давления и без теплообмена с окружающей средой.

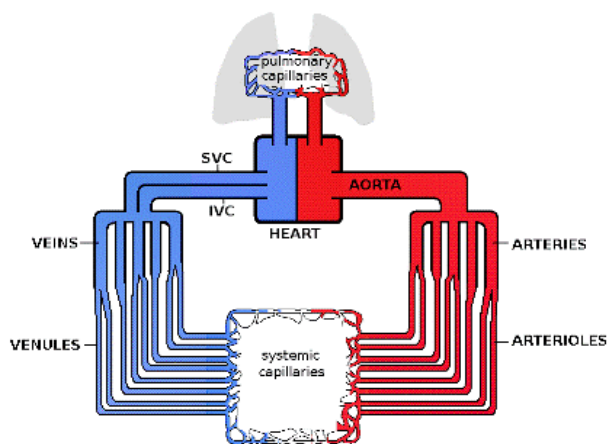


Длинная цилиндрическая труба разделена пористой перегородкой  $A$  через которую газ может медленно просачиваться. Первоначально весь газ находится между подвижным поршнем  $П1$  и перегородкой, поршень  $П2$  примыкает к перегородке. Затем поршни начинают медленно передвигать, при этом газ просачивается через перегородку. Поршни передвигают так, что до перегородки давление газа поддерживается постоянным и равным  $P_1$ , за перегородкой давление газа также поддерживается постоянным и равным  $P_2$ . При реализации этого процесса  $P_2 \ll P_1$ , поэтому газ за перегородкой оказывается разряженным и его можно считать идеальным, подчиняющимся уравнению (1).

Обозначим начальную температуру газа  $T_1$ , а температуру газа после того, как он весь просочится через перегородку -  $T_2$ ; начальный объем газа  $V_1$ , его объем после перетекания через перегородку -  $V_2$ . Теплоемкостью трубы, поршней и перегородки можно пренебречь, потери теплоты в окружающую среду также пренебрежимо малы.

- 2.1** Найдите изменение температуры газа при его перетекании через пористую перегородку  $\Delta T = T_2 - T_1$ . Ответ выразите через начальную температуру газа  $T_1$  и его начальный объем  $V_1$ . Используйте указанное приближение: до перегородки газ подчиняется уравнению Ван-дер-Ваальса (2); после протекания через перегородку – уравнению идеального газа (1).
- 2.2** Найдите, при какой максимальной начальной температуре  $T_{1\text{max}}$  газ в процессе дросселирования будет охлаждаться.
- 2.3** Рассчитайте численные значения температуры  $T_{1\text{max}}$  для кислорода и для водорода.

### Задание 3. Гемодинамика - артериальная система.



**Гемодинамика** — движение крови по сосудам, возникающее вследствие разности гидростатического давления в различных участках кровеносной системы.

При расчете характеристик движения крови по сосудам будем использовать следующие упрощения:

- все сосуды являются цилиндрическими, их форма остается неизменной при изменении давления крови; стенки сосудов не проницаемы для крови;
- распределение давлений внутри кровеносной системы стационарно, т.е. не зависит от времени, иными словами вместо регулярных пульсаций, обусловленных сжатием сердца, рассматриваем усредненное по времени распределение давлений, давление, создаваемое сердцем, также считаем постоянным;
- объем крови, протекающий в единицу времени через поперечное сечение (эта величина часто называется расход жидкости -  $q$ ) цилиндрической трубы радиуса  $R$  и длины  $L$ , описывается формулой Пуазейля:

$$q = \frac{\pi R^4}{8\eta L} \Delta P, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  - разность давлений на концах трубы,  $\eta$  - коэффициент вязкости протекающей жидкости, если жидкость идеальная (в которой силами вязкого трения пренебрегают), то  $\eta = 0$ ; можно считать, что формула (1) применима и для изогнутых труб;

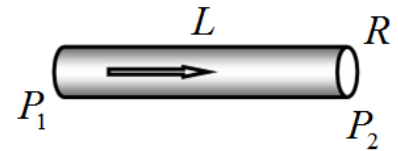
- кровь является несжимаемой вязкой жидкостью, плотность которой  $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ; вязкость крови  $\eta = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;
- суммарный расход крови в большом круге кровообращения равен  $q_0 = 6,0 \frac{\text{л}}{\text{мин}}$ ;
- давление в 1 мм рт. ст. равно 133 Па.

Артериальная система человека (по которой кровь поступает от сердца к мышцам и другим органам) состоит из системы разветвляющихся сосудов: аорта, крупные артерии, мелкие артерии, капилляры. Будем считать, что геометрические размеры всех сосудов в этих группах одинаковы; каждый более крупный сосуд разветвляется в одном месте на более мелкие сосуды (см. рисунок на заставке к задаче). Характеристики сосудов артериальной системы приведены в Таблице 1 Листов ответов. В этой таблице:  $d_i$  - диаметр сосуда,  $l_i$  - длина сосуда;  $n_i$  - число сосудов данной группы.



## Часть 1. Предварительные расчеты.

Жидкость вязкости  $\eta$  протекает по цилиндрической трубе радиуса  $R$  и длины  $L$ , расход жидкости равен  $q$ .



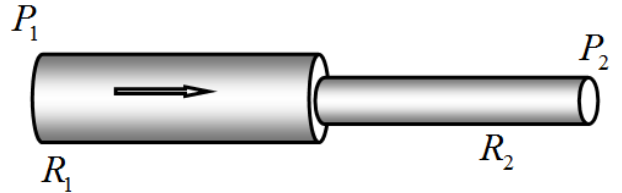
**1.1** Получите формулы, описывающие следующие характеристики движения жидкости:

**1.1.1** Среднюю по поперечному сечению скорость течения жидкости.

**1.1.2** Среднее время движение порции жидкости по трубе.

**1.1.3** Разность давлений жидкости на концах трубы  $\Delta P = P_1 - P_2$ .

Жидкость протекает по трубе, состоящей из двух сочлененных труб, радиусы которых равны  $R_1$  и  $R_2$ , длины этих труб равны  $l_1$  и  $l_2$ . Плотность жидкости  $\rho$ , вязкостью жидкости можно пренебречь  $\eta \approx 0$ . Расход жидкости равен  $q$ .



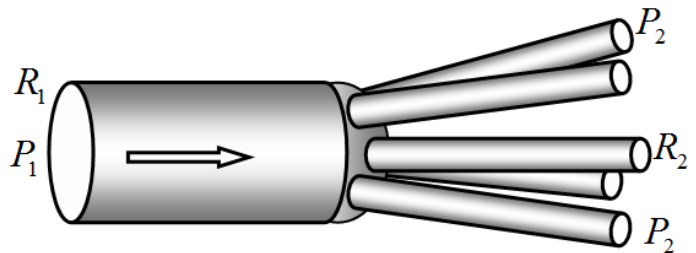
**1.2** Найдите, чему равна разность давлений  $\delta P = P_1 - P_2$  на концах трубы. Укажите область, в которой происходит этот скачок давлений.

Далее можете считать, что полученная формула для скачка давления применима и для вязких жидкостей.

По описанной выше сочлененной трубе протекает жидкость, вязкость которой равна  $\eta$ . На концах трубы поддерживается постоянная разность давлений  $\Delta P = P_1 - P_2$ .

**1.3** Рассчитайте расход жидкости по этой трубе. Ответ выразите, через разность давлений, вязкость жидкости и геометрические размеры трубы.

Жидкость, вязкостью которой можно пренебречь, протекает по системе труб, состоящей из одной трубы радиуса  $R_1$  и  $n$  одинаковых труб меньшего радиуса  $R_2$ . Расход жидкости через эту систему (равный расходу в первой трубе) равен  $q$ .



**1.4** Найдите, чему равен скачок давлений на стыке труб  $\delta P = P_1 - P_2$ .

Полученную формулу также можно применять для вязкой жидкости.

## **Часть 2. Характеристики кровотока в артериальной системе человека.**

Будем считать, что артериальная система заканчивается на середине капилляров (далее начинается венозная система).

**2.1** Используя приведенные в условии данные, рассчитайте для каждой группы сосудов следующие характеристики (численные результаты занесите в соответствующие графы Таблицы 2 в Листах ответов):

**2.1.1** Среднюю скорость течения крови по сосудам этой группы.

**2.1.2** Среднее время движения крови по артериальной системе.

**2.1.3** Разность давлений на концах сосудов каждой группы (для капилляров – между началом капилляра и его серединой).

**2.1.4** Скачки давлений при переходе от одной группы сосудов к следующей.

**2.1.5** Общую разность давлений в артериальной системе человека, от входа аорты до середины капилляра.

**2.2** Сравните полученное значение разности давлений со средним сердечным давлением  $p \approx 100 \text{ мм рт. ст.}$  Кратко объясните возникшее противоречие – выскажите предположение о том, как все-таки работает кровеносная система?



**Республиканская физическая  
олимпиада 2023 года  
(Заключительный этап)**

**Теоретический тур**

***Листы ответов  
9 класс***

***Уважаемые участники олимпиады!***

***Заполненные Вами листы ответов являются основным «продуктом» Вашего творчества на олимпиаде, свидетельством Ваших знаний, Ваших способностей, Вашего таланта. Отнеситесь к ним предельно серьезно и аккуратно. Жюри будет проверять только эти Листы.***

***Настоятельно рекомендуем сначала провести решение в тетради-черновике. Черновик Вы должны сдать, но он проверяться не будет.***

***Оформляйте решения задач и отдельных пунктов на специально отведенных для них страницах. К каждому заданию добавлен 1 чистый лист, используйте его, если Вам не хватило отведенного места.***

***Используйте только лицевую сторону Листов ответов.***

***Подписывать Листы ответов запрещено.***

Желаем успехов в выполнении этой работы!

## Задание 1. Термометр Галилея (листы ответов).

### Часть 1. Тепловое расширение.

1.1 Площадь отверстия (нужное подчеркнуть):

А) увеличится;    Б) уменьшится;    В) не изменится.

Изменение площади отверстия равно:

$$\Delta S =$$

Вывод формулы:

1.2 Тепловой коэффициент изменения плотности равен

$$\gamma =$$

Вывод формулы:

## Часть 2. Массы поплавков.

Таблица 1. Удельный объем воды при различных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	$v_0 \frac{\text{см}^3}{\text{г}}$	$m_1, \text{г}$	$\Delta m_1, \text{г}$
15	1,000871		
20	1,001773		
25	1,002939		
30	1,004349		
35	1,005975		

2.1 При повышении температуры поплавков начнет (нужное подчеркнуть)

А) всплывать;    Б) тонуть;    В) останется в равновесии;

2.2 Как определить температуру жидкости?

Как определить погрешность измерения температуры?

2.3 Формула для расчета массы бирки

$m =$

Вывод формулы:

#### 2.4 Формула для изменения массы бирки

$$\Delta m_1 =$$

Вывод формулы:

#### 2.5 Общая масса золота

$$m =$$

**Дополнительный лист.**

## Задание 2. Как измеряли Вселенную. Листы ответов.

1.1 Радиус Земли (формула, численное значение):

$R =$

Вывод формулы.



## 2.1 Плотность Земли (формула, численное значение)

$$\rho =$$

Вывод формулы.

### 3.1 Расстояние до Луны (формула, численное значение)

$r =$

Вывод формулы.

#### 4.1 Масса Солнца (формула, численное значение)

$$M_c =$$

Вывод формулы.

**Дополнительный лист.**

### Задание 3. Изменение мощности. Листы ответов.

#### Часть 1. Один реостат.

##### 1.1 Формула для мощности

$$p(z) =$$

Обоснование формулы.

##### 1.2 Формула для мощности

$$p(z) =$$

Обоснование формулы.

##### 1.3 Формула для мощности

$$p(z) =$$

Обоснование формулы.

Графики функций 1.1 – 1.3.



**Часть 2. Два реостата.**

**2.1 Формула для мощности**

$$p(z) =$$

Обоснование формулы.

**2.2 Формула для мощности**

$$p(z) =$$

Обоснование формулы.

**Часть 3. Нелинейный реостат.**

**Таблица 1.** Сопротивление между клеммами  $R_{AB}$  при различных значениях параметра  $z$ .

$z$	$R_{AB},$ Ом							$R(z),$ Ом
0,0	0,0							
0,1	1,0							
0,2	3,8							
0,3	8,2							
0,4	13,4							
0,5	18,8							
0,6	23,0							
0,7	25,0							
0,8	23,0							
0,9	15,4							
1,0	0,0							

*Свободные графы таблицы можете использовать для промежуточных и окончательных расчетов.*

**3.1** Полное сопротивление реостата (формула и численное значение)

$$R_0 =$$

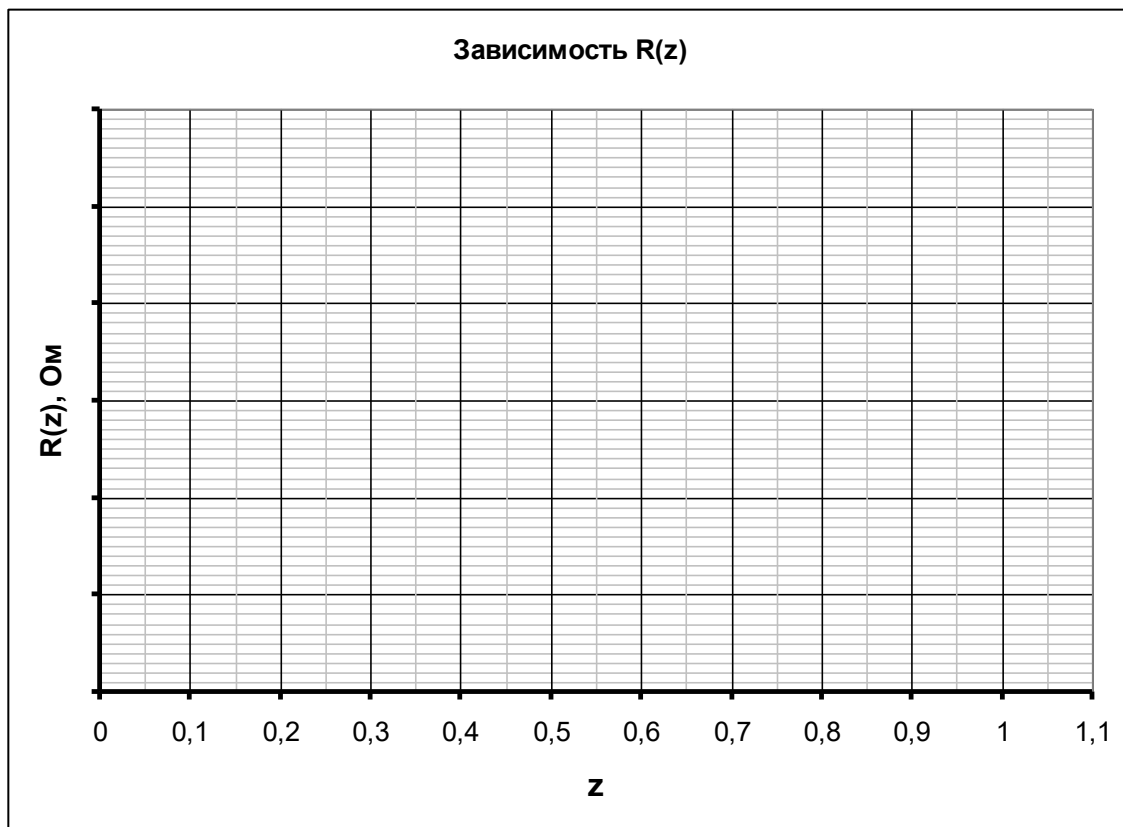
Вывод формулы.

### 3.2 Расчет значений сопротивлений $R(z)$ .

Вывод расчетных формул

*Окончательные результаты занесите в последний столбец Таблицы 1.*

График зависимости  $R(z)$ .



### 3.3 Функция, описывающая зависимость

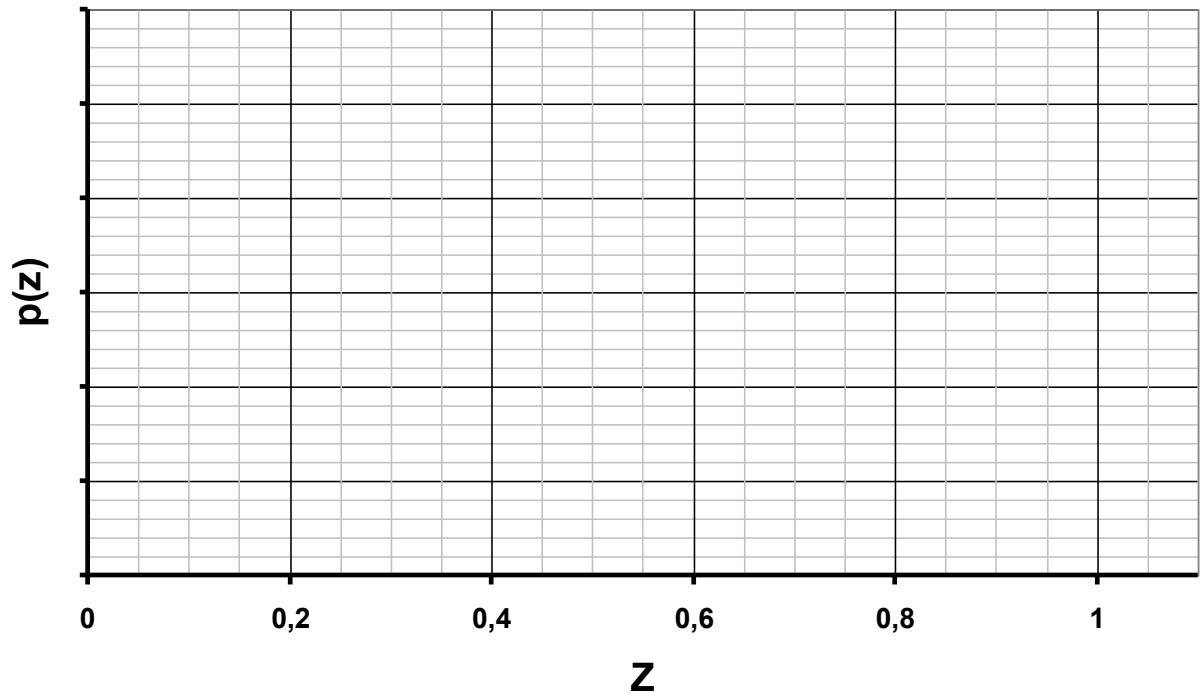
$$R(z) =$$

### 3.4 График зависимости мощности

Формула для расчета мощности



### Мощность нелинейного резистора



**Дополнительный лист.**



**Республиканская физическая  
олимпиада 2023 года  
(Заключительный этап)**

**Теоретический тур**

***Листы ответов  
10 класс***

***Уважаемые участники олимпиады!***

***Заполненные Вами листы ответов являются основным «продуктом» Вашего творчества на олимпиаде, свидетельством Ваших знаний, Ваших способностей, Вашего таланта. Отнеситесь к ним предельно серьезно и аккуратно. Жюри будет проверять только эти Листы.***

***Настоятельно рекомендуем сначала провести решение в тетради-черновике. Черновик Вы должны сдать, но он проверяться не будет.***

***Оформляйте решения задач и отдельных пунктов на специально отведенных для них страницах. К каждому заданию добавлен 1 чистый лист, используйте его, если Вам не хватило отведенного места.***

***Используйте только лицевую сторону Листов ответов.***

***Подписывать Листы ответов запрещено.***

Желаем успехов в выполнении этой работы!

## Задание 1. Термоскоп Галилея. Листы ответов.

### Часть 1. Конструирование и градуировка в идеальном случае.

#### 1.1 Расчет объема верхнего сосуда $V_1$

Формула для расчета

$$V_1 =$$

Численное значение

$$V_1 =$$

Вывод формулы

#### 1.2 Численные значения параметров установки

$$\alpha =$$

$$\beta =$$

1.3 Уравнение, позволяющее рассчитать зависимость относительной высоты уровня воды в трубке от температуры в комнате  $z(t)$ :

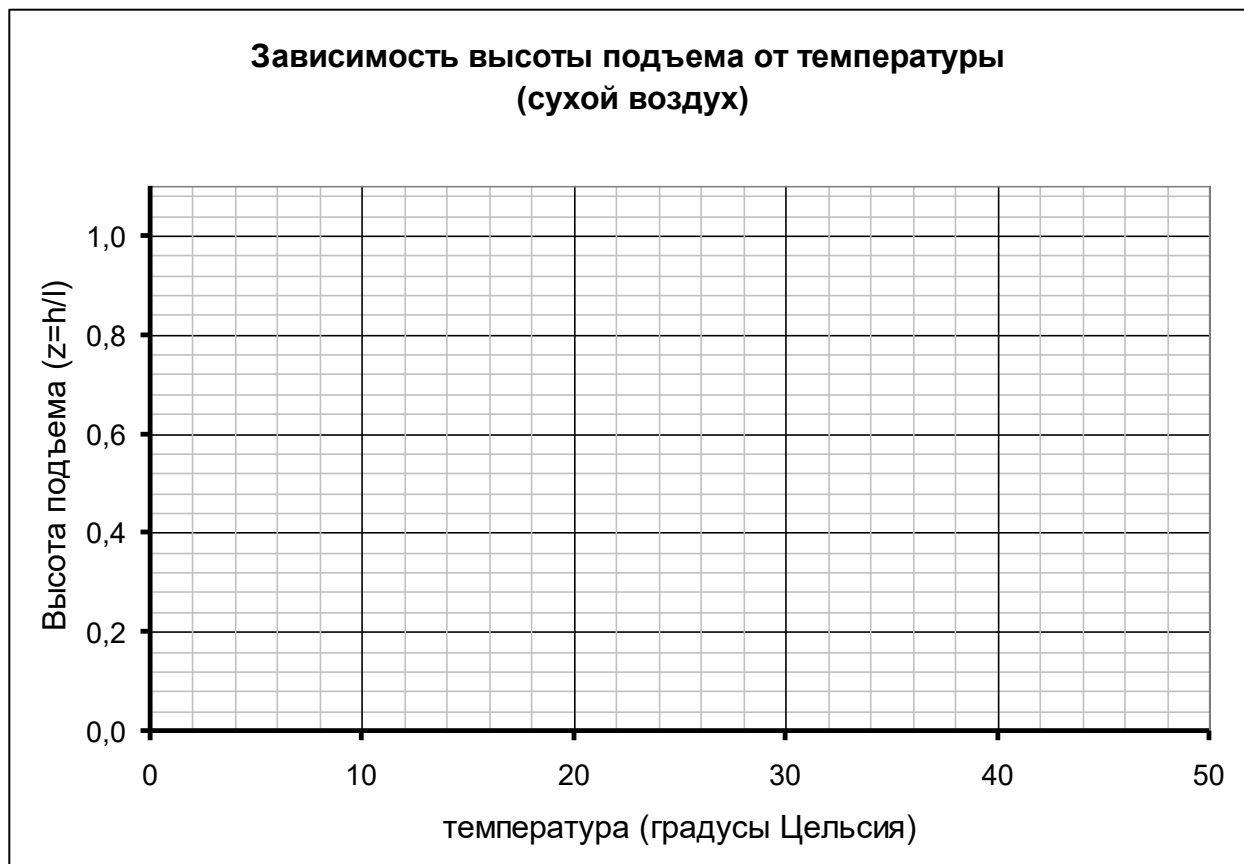
Вывод уравнения.

#### 1.4 График зависимости $z(t)$

Расчетные формулы

Таблица 1 для расчетов.

$t^{\circ}\text{C}$						$z$
10,00						
15,00						
20,00						
25,00						
30,00						
35,00						
40,00						



## Часть 2. Реальные измерения.

2.1 Уравнение, позволяющее рассчитать зависимость относительной высоты уровня воды в трубке от температуры в комнате  $z(t)$  :

Вывод уравнения.

## 2.2 График зависимости $z(t)$

Расчетные формулы

Таблица 2. Зависимость давления насыщенных паров воды от температуры.  
Таблица расчетов.

$t^{\circ}\text{C}$	$P_{\text{нас}}, \text{кПа}$					$z$
10,00	1,228					
15,00	1,706					
20,00	2,339					
25,00	3,169					
30,00	4,246					
35,00	5,627					
40,00	7,381					

**Зависимость высоты подъема от температуры  
(с учетом влажности)**





**Дополнительный лист.**

## Задание 2. Капельница Кельвина. Листы ответов.

1. На кольцах индуцируются заряды, модуль которых равен

$$Q_1 =$$

Вывод формулы.

2. Модуль заряда капель равен

$$q =$$

Безразмерный коэффициент равен

$$\alpha =$$

Вывод формулы.

3. Заряд сосуда после падения  $N$  капель равен

$$Q_N =$$

Вывод формулы.

**Дополнительный лист.**

### **Задание 3. Диск на рельсах. Листы ответов.**

#### **Часть 1. Динамика вращательного движения.**

##### **1.1 Вывод уравнения**

##### **1.2 Время уменьшения угловой скорости**

$t =$

Вывод формулы

##### **1.3 Число оборотов до остановки**

$N =$

Вывод формулы

#### **Часть 2. Движение диска по рельсам.**

**2.1** Схематический график зависимостей скоростей от времени



Обоснование графика  
(рисунки, качественные рассуждения, уравнения и формулы)

## 2.2 Время выравнивая скоростей

$$t_1 =$$

Вывод формулы.

## 2.3 Среднее ускорение

$$\langle a \rangle =$$

## 2.4 Полный путь до остановки



$S =$

Вывод формулы

**Дополнительный лист.**



**Республиканская физическая  
олимпиада 2023 года  
(Заключительный этап)**

**Теоретический тур**

***Листы ответов  
11 класс***

***Уважаемые участники олимпиады!***

***Заполненные Вами листы ответов являются основным «продуктом» Вашего творчества на олимпиаде, свидетельством Ваших знаний, Ваших способностей, Вашего таланта. Отнеситесь к ним предельно серьезно и аккуратно. Жюри будет проверять только эти Листы.***

***Настоятельно рекомендуем сначала провести решение в тетради-черновике. Черновик Вы должны сдать, но он проверяться не будет.***

***Оформляйте решения задач и отдельных пунктов на специально отведенных для них страницах. К каждому заданию добавлен 1 чистый лист, используйте его, если Вам не хватило отведенного места.***

***Используйте только лицевую сторону Листов ответов.***

***Подписывать Листы ответов запрещено.***

***Желаем успехов в выполнении этой работы!***

## Задание 1. Размер Солнца.

1. Формула и численное значение расстояния

$$L =$$

Рисунок и вывод формулы.

2. Интенсивность (формула и численное значение)

$$I =$$

Рисунок и вывод формулы.

### 3. Формула для высоты и ее численное значение

$$H =$$

Рисунок и вывод формулы.

**4. Максимальное расстояние между отверстиями (формула и численное значение)**

$$d <$$

Рисунок и вывод формулы.

**Дополнительный лист.**

## Задание 2. Кислород и водород – методы охлаждения.

### Часть 1. Адиабатическое расширение «в пустоту»

1.1 Изменение температуры идеального газа равно

$$\Delta T =$$

Изменение температуры газа Ван-дер-Ваальса равно (формула)

$$\Delta T =$$

Вывод формулы:



**1.2 Численные расчеты:**

Изменение температуры равно (расчетная формула):

$$\Delta T =$$

Численные значения:

Для кислорода  $\Delta T =$  ; для водорода  $\Delta T =$  ;

Вывод расчетной формулы, сделанные приближения, обоснования приближений:

## Часть 2. Дросселирование.

2.1 Формула для изменения температуры:

$$T_2 - T_1 =$$

Вывод формулы:

**2.2** Формула для максимальной температуры, при которой начинается охлаждение:

$$T_{1\max} =$$

Вывод формулы:

**2.3** Численные значения

Для кислорода

$$T_{1\max} =$$

Для водорода

$$T_{1\max} =$$

**Дополнительный лист.**

### **Задание 3. Гемодинамика -артериальная система.**

#### **Часть 1. Предварительные расчеты.**

##### **1.1 Формулы:**

**1.1.1** Средняя по поперечному сечению скорость течения жидкости (формула):

**1.1.2** Среднее время движение порции жидкости по трубе (формула):

**1.1.3** Разность давлений жидкости на концах трубы (формула):

Вывод формул:

**1.2** Разность давлений  $\delta P = P_1 - P_2$  на концах трубы (формула).

Укажите область, в которой происходит этот скачок давлений (рисунок, или словестно).

Вывод формулы.

**1.3** Расход жидкости по сочлененной трубе (формула).

Вывод формулы.

**1.4** Скачок давлений на стыке труб  $\delta P = P_1 - P_2$  (формула)

Вывод формулы



## Часть 2. Характеристики кровотока в артериальной системе человека.

Таблица 1. Характеристики артериальной системы человека

Группа сосудов	$n_i$	$d_i$	$l_i$
1) Аорта	1	15,3 мм	60 см
2) Крупные артерии	43	2,5 мм	47 см
3) Мелкие артерии	2100	0,50 мм	6,0 см
4) Капилляры	$1,7 \times 10^9$	8,0 мкм	1,2 мм

### 2.1 Расчетные формулы:

2.1.1 Средняя скорость течения крови по сосудам этой группы

2.1.2 Среднее время движения крови по артериальной системе (формула и численное значение)

2.1.3 Разность давлений на концах сосудов каждой группы (для капилляров – между началом капилляра и его серединой)

2.1.4 Скачок давления при переходе от одной группы сосудов к следующей

2.1.5 Общая разность давлений в артериальной системе человека, от входа аорты до середины капилляра (формула и численное значение)

Таблица 2. Расчетные характеристики артериальной системы человека (численные значения)

Группа сосудов	Средняя скорость течения крови, $v_i$ , м/с	Время движения $t_i$ , с	Разность давлений на концах сосуда $\Delta P_i$ , Па	Скачок давления при переходе в следующую группу $\delta P_i$ , Па
Аорта				
Крупные артерии				
Мелкие артерии				
Капилляры				-

2.2 Суммарная разность давлений: качественное объяснение

**Дополнительный лист.**