



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.

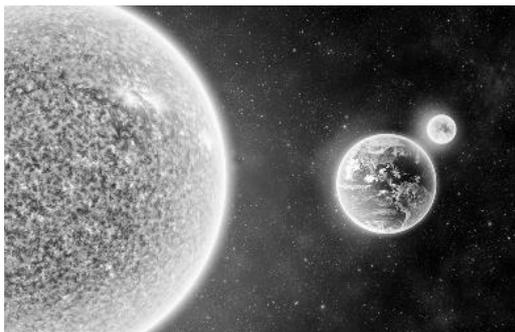


Черновики проверяться не будут!

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 имеет 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/м².

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:

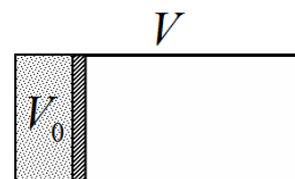
Для кислорода $a = 0,138 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^{-2}}$, $b = 31,9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$;

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»

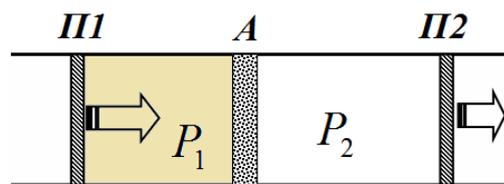
Одним из способов охлаждения газов является его адиабатическое (т.е. без теплообмена с окружающей средой) расширение. Эффект достигается и в том случае, когда газ расширяется без совершения работы. Такой процесс схематически реализуется следующим образом: теплоизолированный сосуд объема V разделен на 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.

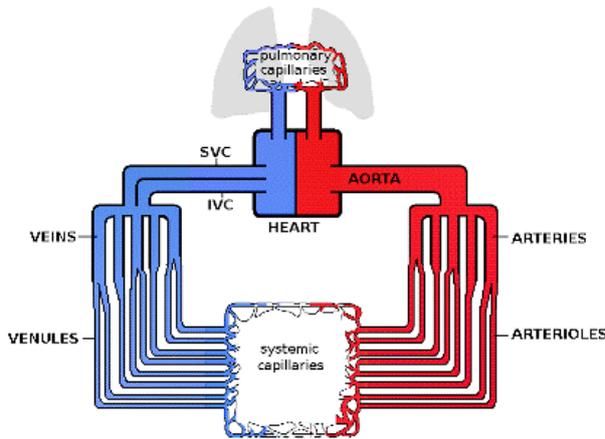


Длинная цилиндрическая труба разделена пористой перегородкой A через которую газ может медленно просачиваться. Первоначально весь газ находится между подвижным поршнем $П1$ и перегородкой, поршень $П2$ примыкает к перегородке. Затем поршни начинают медленно передвигать, при этом газ просачивается через 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 разреженным 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 ΔP - разность давлений на концах трубы, η - 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 $\eta = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$;

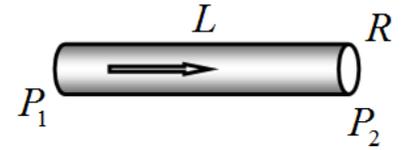
- суммарный расход крови в большом круге кровообращения равен $q_0 = 6,0 \frac{\text{л}}{\text{мин}}$;

- 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.

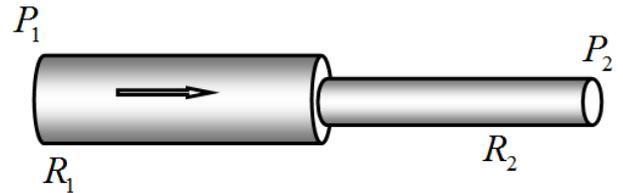
Часть 1. Предварительные расчеты.

Жидкость вязкости η 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 ρ , вязкостью жидкости можно пренебречь $\eta \approx 0$. Расход жидкости равен q .



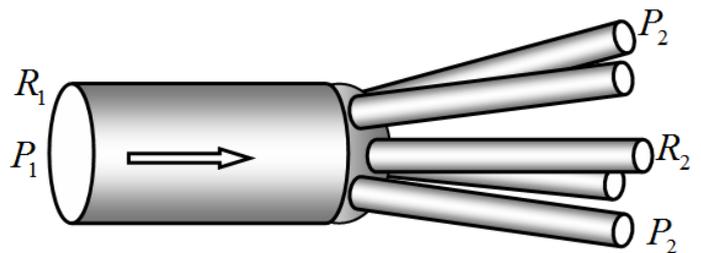
- 1.2** Найдите, чему равна разность давлений $\delta P = P_1 - P_2$ на концах трубы. Укажите область, в которой происходит этот скачок давлений.

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

По описанной выше сочлененной трубе протекает жидкость, вязкость которой равна η . 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?