



Республиканская физическая олимпиада 2022 года (III 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.
3. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. При недостатке бумаги обращайтесь к организаторам!
3. Подписывать рабочие листы запрещается.
4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.



Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!

Может, вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.

Пакет заданий содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических задач (6 стр.).

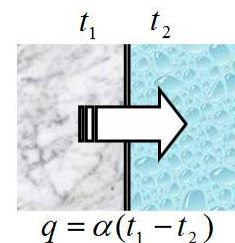
Задание 10-1. Теплоотдача.

В данном задании рассматриваются процессы установления теплового равновесия в различных системах. Для решения задачи Вам понадобятся следующие (почти очевидные) теоретические сведения.

1. Если два тела приведены в тепловой контакт, то количество теплоты, перетекающее через единицу площади соприкосновения (поток теплоты) в единицу времени пропорционально разности температур тел

$$q = \alpha(t_1 - t_2), \quad (1)$$

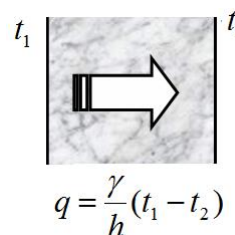
коэффициент α называется коэффициентом теплоотдачи и является характеристикой соприкасающихся тел.



2. Поток теплоты в единицу времени через слой вещества толщиной h пропорционален разности температур границ слоя и обратно пропорционален толщине слоя h :

$$q = \frac{\gamma}{h}(t_1 - t_2). \quad (2)$$

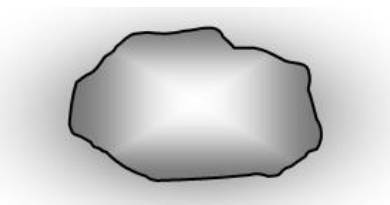
Коэффициент γ называется коэффициентом теплопроводности и является характеристикой вещества.



Во всех задачах данного раздела рассматривается стационарный режим, когда распределение температур не зависит от времени.

Задача 1.1. Радиоактивный метеорит.

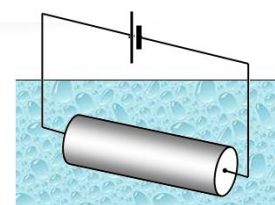
Оказалось, что сплошной однородный метеорит состоит из радиоактивного материала. Вследствие радиоактивного распада внутри метеорита постоянно выделяется теплота. Теплопроводность метеорита очень велика. Метеорит помещают в жидкость, температура которой поддерживается постоянной. Оказалось, что установившаяся температура метеорита превышает температуру окружающей жидкости на величину $(\Delta t)_0$.



1.1.1 Чему будет равна разность температур метеорита и окружающей жидкости $(\Delta t)_1$, если все линейные размеры метеорита увеличить в n раз?

Задача 1.2. Цилиндрический нагреватель.

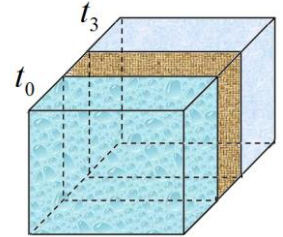
В качестве нагревателя электронагревателя служит однородный цилиндр, подключенный торцами к токоподводящим контактам, электрическим сопротивлением которых можно пренебречь. Теплопроводность нагревателя очень велика. Нагреватель подключен к источнику постоянного напряжения. В кипящей воде (при нормальном атмосферном давлении) температура нагревателя равна $t_0 = 120^\circ\text{C}$. Все линейные размеры цилиндра увеличивают на 25%.



1.2.1 Чему будет равна температура такого увеличенного цилиндра в кипящей воде, при его подключении к тому же источнику напряжения?

Задача 1.3. Теплоизоляция.

Для изучения теплоизоляционных свойств материала, из него изготовили плоскую пластину, которую поместили в сосуд в качестве перегородки, разделив сосуд на две части. Сосуд заполняют водой. Причем с одной стороны от пластины температуру воды поддерживают постоянной и равной $t_0 = 100^\circ\text{C}$. С другой стороны пластины - вода, находящаяся при постоянной температуре $t_3 = 10,0^\circ\text{C}$. После установления теплового равновесия проводят измерения температур поверхностей пластины, которые обозначим: t_1 - температура стороны пластины, обращенной к горячей воде; t_2 - температуру стороны, контактирующей с холодной водой. По результатам измерений оказалось, что $t_2 = 15,0^\circ\text{C}$.



1.3.1 Чему равна температура другой стороны пластины t_1 ?

1.3.2 Чему будут равны температуры обеих сторон пластины, если толщину пластины увеличить в 2 раза? Температуры воды с разных сторон от пластины остались неизменными.

При решении данной задачи допускается проведение промежуточных численных расчетов.

Задание 10-2. Молекулярная физика с химией.

Многие химические реакции протекают в газовой фазе. При изменении химического состава газовых смесей (вследствие протекания химических реакций) зависимости параметров газов (давления, температуры) меняют свой привычный вид. В данном задании вам необходимо рассмотреть влияние простой обратимой химической реакции на параметры газов. Все газы можно считать идеальными.

Трехатомная молекула A_2B (A и B - символы химических элементов, например, молекула CO_2) может самопроизвольно распасться под действием теплового движения на две молекулы:



Если в сосуде находится N_1 молекул A_2B , то за малый промежуток времени Δt распадается

$$\Delta N_1 = aN_1\Delta t \quad (2)$$

молекул A_2B . Постоянная a называется скоростью распада (считайте ее известной). Возможна и обратная реакция рекомбинации (объединения) молекул:

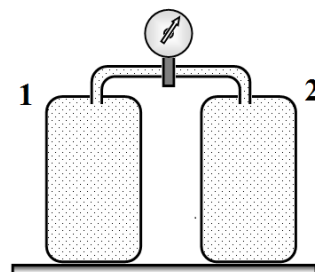


Если в сосуде находится N_2 молекул AB , то за малый промежуток времени Δt в реакцию вступают

$$\Delta N_2 = bN_2n_3\Delta t \quad (4)$$

молекул AB . Постоянная b называется скоростью рекомбинации (эта величина также известна). В формуле (4) n_3 - концентрация молекул B . При рекомбинации молекул выделяется теплота q (в расчете на одну образовавшуюся молекулу).

Для исследования этой реакции используется следующая установка. Два одинаковых герметических сосуда соединены трубкой, в которую вмонтирован манометр, позволяющий измерять малую разность давлений в сосудах $\Delta P = P_1 - P_2$. Также имеется возможность измерять температуры газов в сосудах. Объемы сосудов равны V . Первый сосуд заполняют одним молем исследуемого газа A_2B . Во втором сосуде содержится один моль идеального стабильного газа (т.е. никаких реакций в этом сосуде не происходит). Температура газа в этом сосуде поддерживается постоянной и равной T_0 .



Считайте, что в начальный момент времени $t = 0$ в сосуде содержится только трехатомный газ A_2B . Затем в этом сосуде начинаются описанные реакции (1) и (3). Обозначим: число молекул A_2B , AB , B в сосуде 1: N_1 , N_2 , N_3 , соответственно, а концентрации этих молекул - n_1 , n_2 , n_3 . Начальную концентрацию молекул A_2B (когда других молекул в сосуде нет) - n_0 .

Часть 1. Изотермический процесс.

В этой части задания будем считать, что температура газа в сосуде 1 поддерживается постоянной и равной T_0 .

1.1 Выразите начальную концентрацию молекул в сосуде n_0 через параметры, приведенные в условии задачи. Выразите концентрации молекул A_2B и B n_1 , n_3 через концентрацию молекул AB - n_2 .

Так как все концентрации выражаются через концентрацию молекул AB , то далее эту концентрацию будем обозначать $n_2 = n$. Также можете использовать значение начальной концентрации n_0 как известное.

1.2 Получите уравнение, описывающее скорость изменения концентрации молекул AB с течением времени $\frac{\Delta n}{\Delta t}$.

По прошествии некоторого времени в сосуде устанавливается динамическое равновесие, при котором значения концентраций газов в сосуде не изменяются.

1.3 Рассчитайте равновесные концентрации всех газов в сосуде после достижения теплового равновесия $\bar{n}_1, \bar{n}_2, \bar{n}_3$.

Далее будем считать, что скорость распада молекул значительно меньше скорости их рекомбинации $a \ll b n_0$.

1.4 Получите приближенные формулы для равновесных концентраций всех газов в сосуде после достижения теплового равновесия $\bar{n}_1, \bar{n}_2, \bar{n}_3$ при выполнении условия (5).

Далее используйте эти приближенные формулы для равновесных концентраций. Также используйте приближенные методы и формулы. Например, при $x, y \ll 1$ можно использовать приближенную формулу

$$\frac{1+x}{1+y} \approx 1+x-y.$$

При наличии в формулах малого безразмерного параметра в разных степенях, оставляют слагаемые, в которых степень малого параметра минимальна.

1.5 Найдите разность давлений в сосудах ΔP после достижения динамического равновесия.

1.6 Оцените характерное время τ достижения динамического равновесия.

Часть 2. Процесс без теплообмена.

В этой части задания считайте, что сосуды являются теплоизолированными. Теплоемкостью сосудов можно пренебречь. По-прежнему, считайте, что в момент времени $t = 0$ в сосуде 1 содержится только газ A_2B при температуре T_0 в количестве одного моля. Молярные теплоемкости двухатомного AB и данного трехатомного газов A_2B в изохорном процессе равны $C_v = \frac{5}{2}R$, а одноатомного газа $C_v = \frac{3}{2}R$.

2.1 Рассчитайте изменение температуры газа $\Delta T = T - T_0$ при достижении динамического равновесия в сосуде.

2.2 Найдите разность давлений в сосудах ΔP после достижения динамического равновесия в теплоизолированном сосуде 1.

Задание 10-3. Скатывание без проскальзывания.

Существует множество задач, в которых брусок движется по наклонной плоскости при наличии трения. В зависимости от коэффициента трения и угла наклона плоскости брусок может либо скользить по плоскости, либо покоиться.

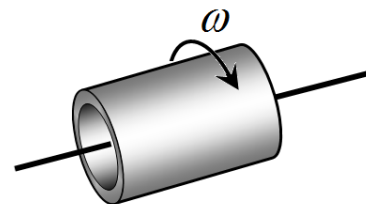
Если на наклонную плоскость поместить трубку, то она всегда будет скатываться, но может катиться либо без проскальзывания, либо проскальзывать.

Целью данного задания является анализ такого движения. Далее будем рассматривать однородную тонкостенную трубку, радиус которой равен R , а масса m равномерно распределена по стенкам трубки. Толщина стенок трубки значительно меньше ее радиуса.

Часть 1. Динамика вращательного движения.

Сложное движение твердого тела можно рассматривать как суперпозицию двух составляющих: поступательного движения центра масс и вращения вокруг оси, проходящей через центр масс тела. Движение центра масс подчиняется уравнению второго закона Ньютона. Вращение тела описывается углом поворота φ , угловой скоростью $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ и угловым ускорением – скоростью изменения угловой скорости $\beta = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ (величиной аналогичной обычному ускорению). В этой части на основании закона сохранения энергии Вы должны самостоятельно получить основное уравнение динамики вращательного движения трубки, определяющее угловое ускорение вращения трубки.

1.1 Трубка вращается вокруг неподвижной собственной оси с угловой скоростью ω . Чему равна кинетическая энергия трубки?

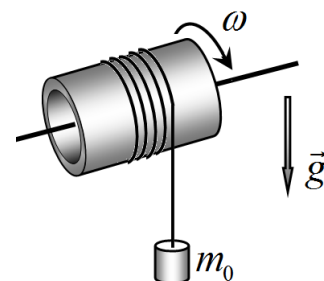


Для реализации такого движения можно считать, что трубка насажена на очень легкий вал, диаметр которого равен внутреннему диаметру трубки.

1.2 Трубка катится (с проскальзыванием) по горизонтальной поверхности. Скорость оси трубки равна \vec{v}_c , угловая скорость вращения вокруг оси трубки ω . Чему равна кинетическая энергия трубки в этом случае?

1.3 Чему равна кинетическая энергия трубки, которая катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности, если скорость ее оси равна \vec{v}_c ?

Трубку снова насадили на неподвижную горизонтальную ось, на его поверхность намотали легкую прочную нить, к концу которой привязали груз массы m_0 . Груз отпускают, он начинает опускаться, раскручивая трубку.



1.4 Чему равно изменение кинетической энергии трубки при опускании груза на малую величину Δh ?

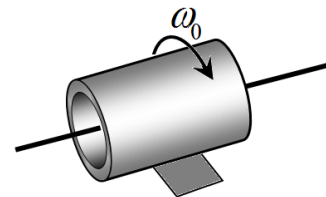
1.5 Найдите ускорение груза a угловое ускорение трубки β .

1.6 Выразите угловое ускорение трубки через момент силы натяжения нити $M = TR$ (это и будет уравнение динамики вращательного движения).

Рекомендуем использовать следующую формулу: если некоторая величина x изменяется на малую величину Δx , то ее квадрат изменяется на величину

$$\Delta(x^2) = 2x\Delta x.$$

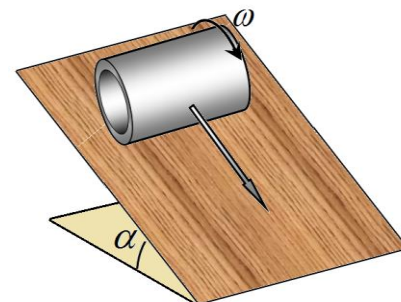
Трубка, закрепленной на неподвижной горизонтальной оси, сообщили угловую скорость ω_0 . После чего к ее поверхности поднесли пластинку, которая действует на трубку с постоянной силой трения F .



- 1.7 Найдите зависимость угловой скорости трубки от времени $\omega(t)$.
1.8 Сколько оборотов сделает обруч до остановки?

Часть 2. Скатывание с наклонной плоскости.

Трубку кладут на наклонную плоскость, образующую угол α с горизонтом, так что ось трубки располагается горизонтально, и отпускают. Трубка начинает скатываться с наклонной плоскости. Коэффициент трения трубки о плоскость равен μ . Обозначим силу трения, действующую на боковую поверхность трубки F .



- 2.1 Найдите ускорение оси трубки a и ее угловое ускорение β в зависимости от силы трения F .
2.2 Найдите значение силы трения, если трубка катится без проскальзывания.
2.3 Определите, при каких углах наклона плоскости α к горизонту, качение цилиндра будет проходить без проскальзывания (при фиксированном значении коэффициента трения μ).