

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования

_____ Р.С. Сидоренко
«__» марта 2015 г.



Республиканская физическая олимпиада 2015 год (Заключительный этап)

Теоретический тур

11 класс.

1. Полный комплект состоит из трех не связанных между собой заданий.
2. При оформлении работы каждую задачу начинайте с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика, вторая - для черновика. При недостатке бумаги обращайтесь к оргкомитету!
3. Подписывать тетради и отдельные страницы запрещается.
4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.



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.

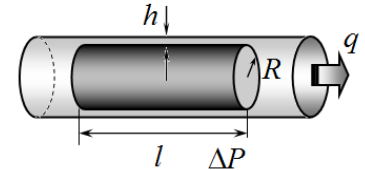
11 класс

Задача 11-1. Гидроатмосферный подъемник

1. Введение.

При движении жидкости существенную роль играют силы вязкого трения – силы, возникающие между слоями жидкости, движущимися с разными скоростями, а также силы, действующие между движущейся жидкостью и стенками сосуда.

Пусть жидкость движется по горизонтальной трубе, внутри которой находится неподвижный цилиндрический цилиндр, коаксиальный с трубой (играющий роль препятствия). Радиус цилиндра равен R , длина l , толщина зазора между боковой поверхностью цилиндра и стенками трубы равна h (она значительно меньше радиуса цилиндра $h \ll R$)



Если разность давлений жидкости на торцах цилиндра равна ΔP , то расход жидкости q (объем, протекающий в единицу времени) протекающий через зазор определяется формулой:

$$q = \frac{\pi R h^3}{6\eta l} \Delta P, \quad (1)$$

где η - характеристика протекающей жидкости, которая называется *вязкостью* (в данной задаче рассматривается вода, ее вязкость η и плотность ρ считайте известными).

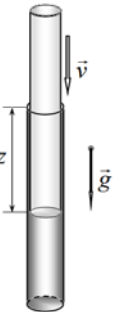
Пусть расход воды в описанной трубе с цилиндром постоянен и равен q .

1.1	Найдите суммарную силу вязкого трения, действующую на воду в зазоре между цилиндром и трубой $F_{\text{вязк.}}$.
1.2	Найдите силу вязкого трения, действующую на боковую поверхность цилиндра $F_{\text{бок.}}$.
1.3	Найдите отношение силы вязкого трения, действующей на боковую поверхность цилиндра, к разности сил давления F_0 , действующих на торцы цилиндра $\frac{F_{\text{бок.}}}{F_0}$.

Часть 2. Описание эффекта (пробирка в пробирке).

Принцип работы рассматриваемого гидроподъемника может быть изучен на простом устройстве, состоящем из двух длинных пробирок. Каждую из них можно считать цилиндрической трубкой, закрытой с одного конца. Диаметры пробирок различаются мало, поэтому меньшая из них входит в большую и может скользить в ней. Обозначим радиус меньшей пробирки R , ее массу m . Толщина зазора между стенками пробирок (когда меньшая находится в большей) мала по сравнению с радиусами пробирок и равна h .

2.1 Большую пробирку располагают вертикально и полностью заполняют водой. После этого в нее аккуратно опускают меньшую пробирку, и она медленно начинает опускаться.

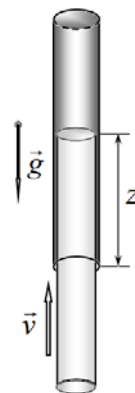


2.1.1	Найдите, на какую максимальную глубину z_{\max} опустится меньшая пробирка.
2.1.2	Постройте схематический график зависимости скорости пробирки $v(z)$ от глубины погружения z .
2.1.3	Оцените время погружения пробирки от начального положения $z = 0$ до глубины $0,5z_{\max}$.

Математическая подсказка. При движении тела в вязкой среде, на него действуют силы вязкого трения, зависящие от скорости движения тела. Наличие этих сил приводит к тому, что скорость тела изменяется достаточно медленно, поэтому в уравнении второго закона Ньютона $ma = F(x, v)$, можно пренебречь слагаемым ma . Такое приближение называется квазистационарным. Кстати, оно же используется при описании электрического тока на основании закона Ома.

2.2 Если большую пробирку заполнить водой, погрузить в нее меньшую пробирку и резко перевернуть систему вверх дном, то при некоторой высоте подъема меньшая пробирка начнет медленно подниматься вверх.

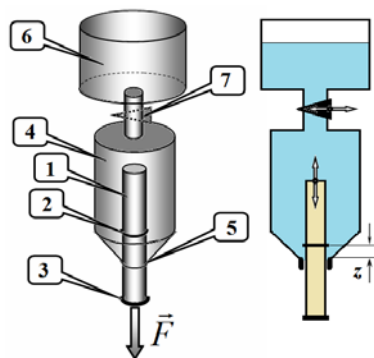
2.1.1	Найдите, при какой минимальной высоте подъема z_{\min} меньшая пробирка начнет подниматься вверх.
2.1.2	Постройте схематический график зависимости скорости пробирки от высоты ее подъема $v(z)$.
2.1.3	Оцените время подъема пробирки от высоты $1,5z_{\min}$ до высоты $2z_{\min}$.



Часть 3. Подъемник.

На основании рассмотренного устройства сконструирован гидроатмосферный подъемник, схема которого показана на рисунке.

Пробирка 1 с двумя упорами 2 (точно на середине пробирки) и 3 (в ее нижней части) вставлена вертикально в горлышко бутылки 4 полностью заполненной водой, диаметр горлышка 5 которой незначительно превышает внешний диаметр бутылки. Бутылка соединена трубкой с краном 7 с большим открытым сосудом-накопителем 6 также заполненным водой. Пробирка может двигаться вертикально внутри бутылки, при ее любом положении (в том числе и на упорах) вода может просачиваться в зазор между горлышком бутылки и пробиркой. В качестве координаты, определяющей положение пробирки z , используется расстояние от горлышка бутылки до середины пробирки (упора 2).



Длина пробирки l , площадь ее поперечного сечения - S . Пробирка начинает подниматься внутри бутылки, если она погружена в нее на одну четверть своей длины. В бутылку 4 воздух не попадает, высота бутылки больше, чем $\frac{l}{2}$. Плотность воды ρ , ускорение свободного падения - g .

Принцип работы устройства следующий.

1	Пробирка находится в крайнем нижнем положении. Кран закрывают, пробирка начинает подниматься вверх. При этом она подключается к некоторому внешнему устройству, над которым совершается полезная работа.	
2	Когда пробирка достигает крайнего верхнего положения, кран открывают, и вода из сосуда накопителя очень быстро поступает в бутылку. Внешнее устройство отключается, пробирка быстро опускается вниз.	

3.1	Определите массу пробирки.
3.2	Нарисуйте график рассмотренного циклического процесса: зависимость силы действующей на пробирку со стороны внешнего устройства F от координаты пробирки z . Считайте все процессы квазистационарными (т.е. считайте, что в любом положении пробирка находится в состоянии равновесия).
3.3	Рассчитайте, какую максимальную полезную работу может совершить подъемник за один цикл.
3.4	Найдите КПД устройства (определение КПД в этом случае сформулируйте самостоятельно).

Задача 11-2. Перераспределение зарядов.

К сожалению, задачи с равномерно распределенными по объему электрическими зарядами являются искусственными, потому, что не известно, как реально создать такие системы. Поэтому рассмотрим более реальную систему и проанализируем динамику изменения распределения зарядов.

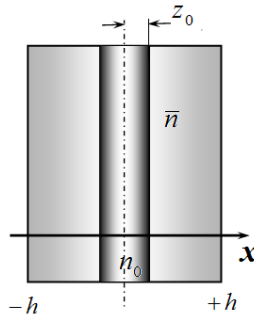
Зададим характеристики рассматриваемой пластины: пластина является слабо проводящей с удельным электрическим сопротивлением ρ (не путайте с объемной плотностью зарядов!), концентрация свободных электронов (заряд электрона e) внутри этой пластины равна \bar{n} .

1. Под действием электрического поля напряженности E электроны внутри проводника движутся со средними скоростями

$$v = \beta E \quad (1)$$

где величина β называется подвижностью электронов. Выразите подвижность электронов внутри данной пластины, через ее характеристики ρ, \bar{n} .

Пусть внутри рассмотренной пластины возник тонкий слой толщиной $2z_0$, в котором создана избыточная концентрация электронов n_0 (например, с помощью электронной пушки¹). С течением времени эта область избыточного заряда будет расплываться.



2 С какой скоростью будет двигаться граница области z с избыточной концентрацией электронов?

3 Найдите зависимость избыточной концентрации электронов $n(x)$ от координаты x в разные моменты времени. Постройте схематические графики этой зависимости для нескольких (наиболее характерных времен), укажите параметры этих зависимостей.

4 Нарисуйте схематический графики зависимости потенциала $\varphi(x)$ для тех же моментов времени, какие вы рассмотрели в п.3.

5 Оцените время, за которое все избыточные электроны окажутся на поверхности пластины.

¹ Конечно, проще «нанести» электроны на поверхность пластины, но (1) симметричные задачи проще решаются, суть рассматриваемых процессов при этом не изменяется!

Задача 11-3. Вода из воздуха

В данной задаче на примере работы юного экспериментатора Федя вам предлагается рассмотреть возможность получения некоторого количества воды из воздуха при помощи различных физических процессов. Водяной пар и воздух в решении можете считать идеальными газами.

Для решения задачи вам может понадобиться график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры, представленный на отдельном бланке. При желании вы можете делать любые пометки и построения на данном графике. По окончании работы вложите данный бланк в тетрадь с решением.

Наконец, напомним вам некоторые физические постоянные (никто не гарантирует, что все из них вам понадобятся):

Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(К·моль)

Постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹

Постоянная Больцмана $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Молярная масса воды $M = 1,8 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

Удельная теплоемкость воды $c_v = 4200$ Дж/(кг·°С)

Нормальное атмосферное давление $p_{атм} = 1,01 \cdot 10^5$ Па

Температура кипения воды (при $p_{атм}$) $T_{кип} = 100$ °С = 373 К

Ускорение свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с²

Юный экспериментатор Федя, захотев получить воду прямо из воздуха, поставил физический эксперимент. Федина установка представляет собой вертикальный цилиндрический герметичный сосуд с поршнем малой массы, способным двигаться практически без трения. Считайте, что поршень создает дополнительное давление которым, по сравнению с атмосферным, можно пренебречь. В начальном положении в сосуд через отверстие поступает воздух из комнаты. Для сжатия воздуха Федя помещает сосуд в холодильную установку. Все процессы считайте достаточно медленными.

Температура воздуха в комнате $T_1 = 20$ °С, его относительная влажность $\varphi = 77\%$. Начальный объем сосуда с поршнем $V_1 = 5,0$ л.

1. До какой температуры необходимо охладить сосуд, чтобы водяной пар начал конденсироваться?

2. Определите массу воды, образующейся в результате такого охлаждения.

3. Определите, за сколько таких «охлаждений» можно будет собрать один стакан воды ($m_c = 200$ г).

Для повторения процесса Федя организует цикл по следующей схеме. После охлаждения из сосуда собирается вся влага, затем сосуд медленно нагревается обратно до комнатной температуры. При достижении комнатной температуры Федя открывает отверстие для поступления окружающего воздуха. Выждав достаточное время, юный экспериментатор снова охлаждает сосуд.

4. Схематически (без точных числовых значений) изобразите p - V диаграмму для водяного пара в описанном циклическом процессе. Укажите направление процесса на диаграмме.

5. Оцените полное количество работы, совершаемое над содержимым сосуда за один цикл.

Для определения «трудоемкости» процесса получения воды из воздуха Федя придумал следующую характеристику – удельную работу конденсации (Θ), – равную работе, затраченной на образование 1 килограмма воды.

6. Оцените удельную работу конденсации для данного цикла

Для определения «трудоемкости» процесса получения воды из воздуха Федя придумал следующую характеристику – удельную работу конденсации (Θ), – равную работе, затраченной на образование 1 килограмма воды.

Для определения «трудоемкости» процесса получения воды из воздуха Федя придумал следующую характеристику – удельную работу конденсации (Θ), – равную работе, затраченной на образование 1 килограмма воды.

