



Республиканская физическая олимпиада 2022 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.
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 (4 стр.).

Задание 1. Архимедова разминка.

Данная задача состоит из двух не связанных между собой задач.

Задача 1.1 Шар на дне сосуда.

На дне сосуда, заполненного водой, покоится шар радиуса R . Высота уровня воды в сосуде равна h , причем $h = 4R$. Плотность воды ρ , ускорение свободного падения g .

1.1.1 Найдите силу давления воды, действующую на верхнюю половину поверхности шара.

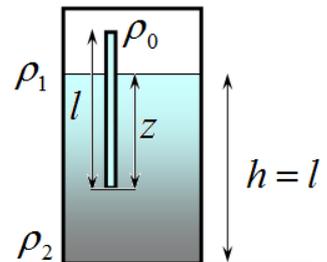
Подсказка.

Объем шара равен $V = \frac{4}{3}\pi R^3$. Площадь поверхности шара равна $S = 4\pi R^2$.

Задача 1.2 Однородный стержень в неоднородной жидкости.

В данной задаче рассматриваются условия плавания стержня в жидкости, плотность которой изменяется с глубиной.

Тонкий однородный стержень длины l , изготовленный из материала плотности ρ_0 , погружен в сосуд, заполненный жидкостью. Высота уровня жидкости в сосуде равна длине стержня $h = l$. Плотность жидкости у поверхности равна ρ_1 , далее она возрастает по линейному закону с увеличением глубины z и достигает значения ρ_2 у дна сосуда.



1.2.1 Установите, каком соотношении между заданными плотностями ρ_0, ρ_1, ρ_2 стержень может плавать в вертикальном положении.

1.2.2 Найдите глубину погружения нижнего конца стержня z при его вертикальном положении, в зависимости от заданных значений плотностей ρ_0, ρ_1, ρ_2 .

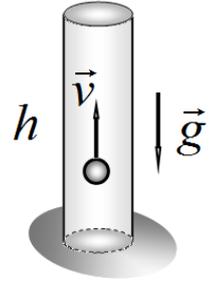
1.2.3 Установите, при каком соотношении между заданными плотностями ρ_0, ρ_1, ρ_2 стержень может плавать в вертикальном положении, находясь в положении устойчивого равновесия при глубине погружения $z \approx l$. Считайте, что при этом стержень дна не касается. Можно ли реализовать такую ситуацию на практике?

Задание 2. Знаете ли Вы МКТ?

В данном задании вам необходимо решить несколько взаимосвязанных задач, чтобы продемонстрировать свое понимание основ молекулярно-кинетической теории и умение использовать математический аппарат этой теории.

Часть 1. Всего один шарик.

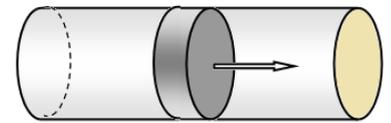
В вертикальном закрытом сосуде высотой h , находится небольшой шарик массы m , движущийся вертикально. Сопротивлением воздуха следует пренебречь, а его удары о дно и крышку сосуда считать абсолютно упругими, ускорение свободного падения равно g . Когда шарик находится у дна сосуда, его скорость равна v_0 . Можно считать, что удары шарика происходят достаточно часто, поэтому следует рассчитывать средние силы давления шарика за промежуток времени, значительно превышающий время между ударами.



- 1.1 Найдите среднюю силу давления шарика на дно сосуда, если $v_0^2 < 2gh$.
- 1.2 Пусть скорость шарика у дна сосуда $v_0 > \sqrt{2gh}$. Рассчитайте средние силы давления шарика на дно и крышку сосуда, а также разность этих сил.

Часть 2. Очень много молекул.

В закрытом с обеих сторон цилиндрическом сосуде находится легкий подвижный тонкий поршень, который делит сосуд на две равные части. Площадь поршня (она же площадь поперечного сечения сосуда) равна S . По обе стороны от поршня находится по одному молу одноатомного идеального газа, молярная масса которого равна M . Температура газа с обеих сторон поршня одинакова и равна T_0 , давление газа P_0 . Поршень начинает двигаться вдоль сосуда с постоянной скоростью u , которая значительно меньше средней скорости теплового движения молекул газа. Действие силы тяжести не учитывать. Удары молекул о поршень можно считать абсолютно упругими.

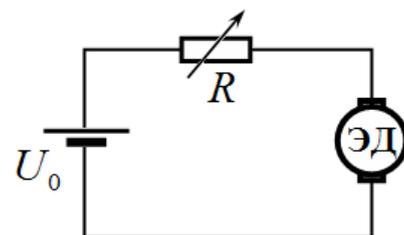


- 2.1 Чему равны среднеквадратичная скорость молекул газа $\langle v_{кв.} \rangle$ и среднеквадратичная проекция скорости газа на произвольное направление (например, на ось x) $\langle v_{кв.x} \rangle$
- 2.2 Оцените силу сопротивления, действующую на поршень со стороны газа в начальный момент его движения. Считайте, что пластина уже имеет скорость u , но ее смещением можно пренебречь.
- 2.3 Оцените изменение температур газа с обеих сторон от поршня, при смещении поршня на малую величину Δx .

Указание. При строгом решении данной задачи следует использовать различные средние значения. При проведении оценок везде используйте среднеквадратичные скорости и их проекции.

Задание 3. Электромобиль.

Игрушечный электромобиль снабжен электродвигателем ЭД, подключенным к источнику постоянного напряжения U_0 . Для регулировки скорости электромобиля используется переменный резистор R , электрическое сопротивление которого изменяется от нуля до некоторого максимального значения R_{max} . Электрическая схема электромобиля показана на рисунке. Сопротивлением проводов, обмотки двигателя и внутренним сопротивлением источника можно пренебречь.



При испытании игрушки оказалось, что

- 1) сила тяги F , развиваемая электродвигателем (переданная на его ведущие колеса) пропорциональна силе тока I , протекающего через обмотку двигателя

$$F = kI, \quad (1)$$

- 2) сила сопротивления воздуха F_c , действующая на автомобиль, пропорциональна квадрату скорости автомобиля v

$$F_c = \beta v^2. \quad (2)$$

В формулах (1) – (2) k и β – некоторые постоянные размерные коэффициенты.

При испытании электромобиля оказалось, что максимальная скорость, которую может достичь автомобиль, движущийся по твердой горизонтальной поверхности (когда можно пренебречь силой трения качения), равна v_{max} , при этом сила тока в цепи равна I_0 . При застопоренном двигателе минимальная сила тока в цепи равна I_1 , причем $\frac{I_1}{I_0} = \gamma$. При численных расчетах считайте, что $\gamma = 2,0$.

При решении задачи учитывайте, что единственным известным параметром является величина γ , поэтому все окончательные формулы должны содержать только этот параметр!

Часть 1. Движение по твердой горизонтальной поверхности.

В данной части считайте, что на движущийся автомобиль действует только сила сопротивления воздуха (сила трения качения пренебрежимо мала). Вам требуется рассчитать характеристики электромобиля при его установившемся равномерном движении по твердой горизонтальной поверхности. Для теоретического описания движения электромобиля удобно использовать следующие относительные величины:

- отношение сопротивления переменного резистора к его максимальному сопротивлению:

$$x = \frac{R}{R_{\text{max}}}; \quad (3)$$

- отношение скорости электромобиля к его максимальной скорости:

$$y = \frac{v}{v_{\text{max}}}; \quad (4)$$

- отношение силы тока в цепи к силе тока при максимальной скорости:

$$z = \frac{I}{I_0}. \quad (5)$$

- 1.1 Получите систему уравнений, позволяющую найти зависимости относительной скорости и относительной силы тока от относительного сопротивления резистора - $y(x)$ и $z(x)$. В эту систему уравнений помимо указанных переменных может входить только единственный известный параметр γ .
- 1.2 Найдите зависимость относительной скорости автомобиля от относительного сопротивления резистора $y(x)$.
- 1.3 Найдите зависимость относительной силы тока в цепи от относительного сопротивлении резистора $z(x)$.
- 1.4 Найдите зависимость КПД электродвигателя η от его скорости $\eta(y)$.
- 1.5 Постройте точные графики полученных зависимостей $y(x)$, $z(x)$, $\eta(y)$.

Часть 2. Движение автомобиля по ковру.

В этой части рассматривается движение автомобиля по ковру, когда на автомобиль помимо описанной силы сопротивления воздуха действует постоянная, не зависящая от скорости, сила трения качения, равная

$$F_{тр.} = \varepsilon \beta v_{\max}^2, \quad (6)$$

где v_{\max} - определенная ранее максимальная скорость при движении по твердой горизонтальной поверхности; $\varepsilon = 0,10$.

- 2.1 Рассчитайте, при каких значениях относительного сопротивления x переменного резистора автомобиль сможет двигаться по ковру.
- 2.2 Определите, как изменится максимальная скорость движения автомобиля вследствие появления силы трения качения.

Подсказка. При работе электродвигателя в его обмотке возникает ЭДС самоиндукции!