Задания заключительного этапа Олимпиады школьников СПбГУ по физике 2023-2024 гг.

Участникам заключительного этапа Олимпиады по физике предлагался один из заранее заготовленных вариантов, состоявший из 5 задач. Каждая задача составлялась в нескольких вариациях. При проверке работ проверялась корректность ход решения задачи и итогового ответа. Часть задач предлагались к решению участникам разных классов. Ниже в обозначениях задач указывается, участникам из каких классов они предназначались

Структура разбиения тем задач по вариантам для разных классов:

8.1 – равномерное движение, путь, перемещение, работа с графиком

8.2 – теплоемкости, теплота сгорания топлива, изменение температуры кипения с высотой

8-9.1 – статические блоки

8-9.2– сила Архимеда, закон Гука

8-9.3 – давление жидкости, сообщающиеся сосуды, гидростатика.

9-10.1 – Искусственные спутники

9-10.2 – Равноускоренное движение

10-11.1 – Электрические цепи с нелинейными элементами

10-11.2 – Статика

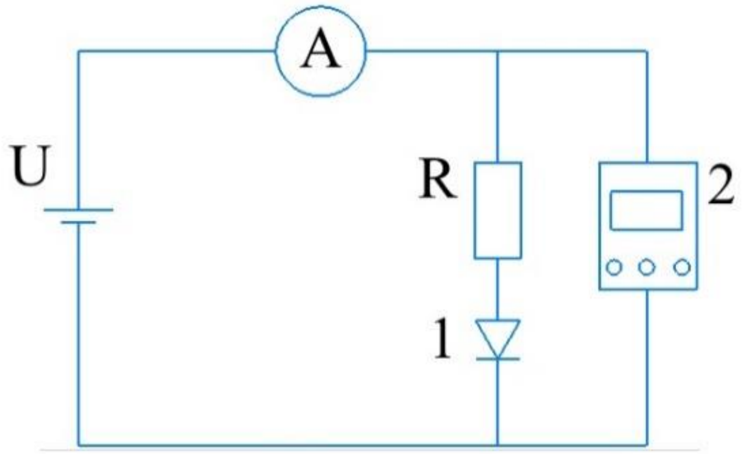
10-11.3 – Гидродинамика

11.1 – Диффузия

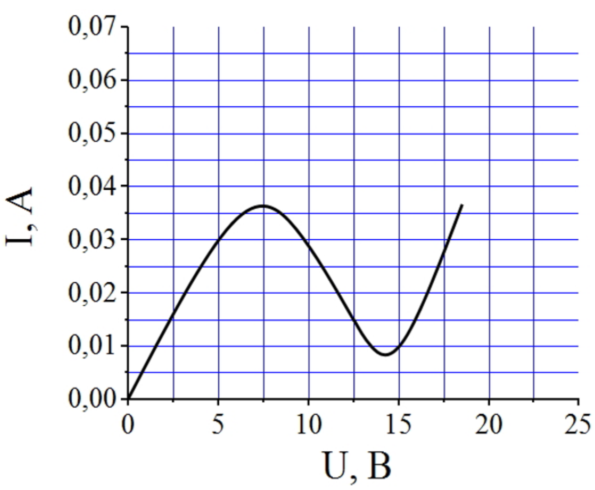
11.2 – Магнитная индукция

Задача 11.1

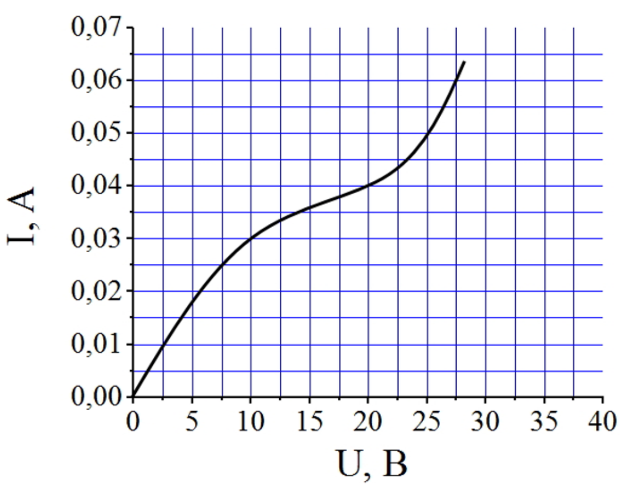
Резистор R, туннельный диод 1 и прибор 2 включены в электрическую схему, как показано на рисунке. Напряжение источника U, питающего цепь, составляет 20 В. Максимально допустимая мощность источника составляет 1 Вт. Сопротивление резистора R составляет 500 Ом. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) диода и прибора изображены на графиках ниже. Определите показания амперметра, если схема работает в допустимом режиме. Внутренним сопротивлением источника пренебрегите.



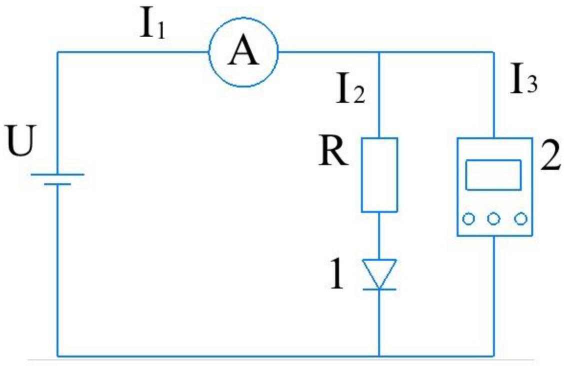
ВАХ туннельного диода (1)



ВАХ прибора (2)



Решение:



Обозначим токи, как показано на рисунке 4 и составим систему из трех уравнений:

$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ U_0 = U_R + U_1 \\ U = U_2 \quad , \end{cases}$$

где U_1- напряжение на туннельном диоде U_2-наприжение на приборе.

Перепишем систему уравнения в следующем виде:

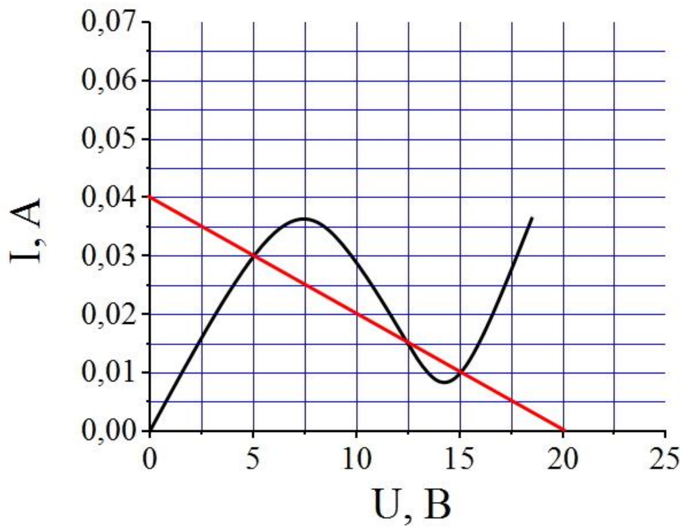
$$\begin{cases} I_1 = I_2 + I_3 \\ U_0 = I_2 \cdot R + U_1 \\ U = U_2 \end{cases}$$

Из ВАХ прибора найдем ток, протекающий через него: $I_3 = 0.04$ А.

Из системы уравнений получим уравнения для тока через резистор и диод:

$I_2 = \frac{U - U_1}{R}$.

Графическим методом найдем ток через диод и резистор.



Ток I_2 может принимать значения 0.03 А, 0.015 А, 0.01 А.

Следовательно общий ток цепи I_1 может также принимать три различных значения 0.05 А, 0.055 А, 0.07 А, но он не может превысить 0.05 А из-за ограничения в мощности.

Задача 11.2

Вариант 1:

Мотоциклист пытается сдвинуть тяжелый груз массой M с места с помощью своего заднеприводного мотоцикла. Он привязал груз веревками к оси заднего колеса, запустил двигатель и стал постепенно увеличивать обороты заднего колеса. В некоторый момент переднее колесо оторвалось от земли, двигатель пришлось заглушить, но груз так и не сдвинулся с места. Определите, груз какой массы нужно закрепить мотоциклисту на оси переднего колеса, чтобы получилось сдвинуть груз с места. Радиус колес равен R, расстояние между осями колес равно L, масса мотоцикла с мотоциклистом равна m, а их центр тяжести расположен посередине между осями колес. Коэффициент трения скольжения колеса о поверхность равен μ и монотонно возрастает с частотой обращения заднего колеса.

Вариант 2:

Мотоциклист пытается сдвинуть камень массой M с места с помощью своего заднеприводного мотоцикла. Он привязал груз веревками к оси заднего колеса, запустил двигатель и стал постепенно увеличивать обороты заднего колеса. В некоторый момент переднее колесо оторвалось от земли, двигатель пришлось заглушить, но камень так и не сдвинулся с места. Мотоциклист решает закрепить на корпусе мотоцикла дополнительный груз массой Δm, расположив его на отрезке между осями колес. Определите, на каком расстоянии от оси заднего колеса ему нужно расположить этот груз, чтобы получилось сдвинуть камень с места. Радиус колес равен R, расстояние между осями колес равно L, масса мотоцикла с мотоциклистом равна m, а их центр тяжести расположен посередине между осями колес. Коэффициент трения скольжения колеса о поверхность равен μ и монотонно возрастает с частотой обращения заднего колеса.

Решение:

Допустим, груз сдвинулся. Минимальная масса груза будет тогда, когда переднее колесо почти оторвалось. Следовательно, весь вес приходится на заднее колесо. По второму закону Ньютона:

$$(m + \Delta m)g = N_1$$

Если переднее колесо оторвалось, то в горизонтальном направлении движет только сила трения от заднего колеса:

$$\mu_0 Mg = \mu N_1 = \mu(m + \Delta m)g$$

Условие отрыва переднего колеса из правила моментов (то, что сила реакции опоры на второе колесо равно нулю $N_2 = 0$).

Вариант 1: масса дополнительного груза неизвестна

$$\mu(m + \Delta m_x)gR = \frac{mgL}{2} + \Delta m_x gL$$

$$\Delta m_x = \frac{m\left(\frac{L}{2} - \mu R\right)}{\mu R - L}$$

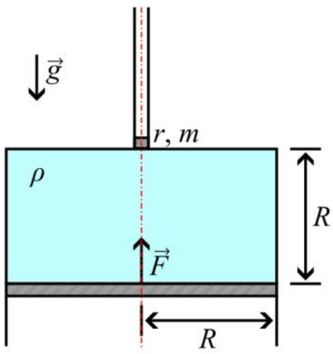
Вариант 2: расположение дополнительного груза неизвестно

$$x = \mu\left(1 + \frac{m}{\Delta m}\right)R - \frac{mL}{2\Delta m}$$

Задача 11.3

Вариант 1:

В сосуде с двумя поршнями, как показано на рисунке, находится идеальная несжимаемая жидкость в поле силы тяжести. Трение между поршнями и стенками отсутствует. В начальный момент поршни и жидкость покоятся. Затем большой поршень начинает действовать на жидкость с постоянной силой $\boldsymbol{F}$, в результате чего маленький поршень начинает подниматься. **Найдите максимальную высоту подъёма** малого поршня $\boldsymbol{h_{max}}$, используя предположения, что $\boldsymbol{r} << \boldsymbol{R}$ и $\boldsymbol{r} << \boldsymbol{h_{max}}$, где $\boldsymbol{r}$ - радиус узкой трубки, $\boldsymbol{R}$ **-** радиус большого поршня. Считайте, что жидкость движется без завихрений и скорость однородна по сечению узкой трубки. Известны следующие величины: масса $\boldsymbol{m}$ и радиус **r** малого поршня, радиус **R** большого поршня и приложенная к нему сила $\boldsymbol{F}$, плотность жидкости $\boldsymbol{\rho}$, ускорение свободного падения $\boldsymbol{g}$.



Решение:

Найдём максимальную высоту через энергии. В данной системе работа **A** совершается поршнем, когда он перемещается. За счёт этой работы увеличиваются кинетические и потенциальные энергии малого поршня и жидкости:

$$A = \Delta E_{\text{пот,пор}} + \Delta E_{\text{кин,пор}} + \Delta E_{\text{пот,ж}} + \Delta E_{\text{кин,ж}}$$

Получим выражения для каждого из слагаемых, пренебрегая малыми величинами.

Работу можно выразить как

$$A = FH = Fh\frac{r^2}{R^2}$$

Где было использовано соотношение

$$hr^2 = HR^2$$

т.к. объём жидкости сохраняется (объём жидкости, поднявшейся в узкую трубку, равен объёмы, вытесненному большим поршнем).

Увеличение потенциальной энергии поршня в поле силы тяжести находится как:

$$\Delta E_{\text{пот,пор}} = mgh$$

Увеличение кинетической энергии поршня находится как:

$$\Delta E_{\text{кин,пор}} = \frac{m v_r^2}{2}$$

где v_r - скорость поршня и жидкости в узкой трубке радиуса r.

Увеличение потенциальной энергии жидкости в поле силы тяжести можно найти как:

$$\Delta E_{\text{пот,ж}} = E_{\text{пот,ж}}(h) - E_{\text{пот,ж}}(0) = \rho\pi r^2 h\ g\ \left(\frac{1}{2}h + R\right) - \rho\pi R^2 H\ g\ \left(\frac{1}{2}H\right)$$
$$= \rho\pi r^2 h\ g\ \left(\frac{1}{2}h + R - \frac{1}{2}H\right)$$

где $\rho\pi r^2 h$ - масса жидкости в узкой трубке, а $\left(\frac{1}{2}h + R\right)$ - высота центра масс над начальным уровнем большого поршня. В рассматриваемом состоянии системы этот объём жидкости появился вместо вытесненного большим поршнем объёма $\rho\pi R^2 H$ с центром масс на высоте $\frac{1}{2}H$.

Так как имеется следующее соотношение

$$\frac{H}{h} = \frac{r^2}{R^2} << 1$$

то есть H << h, последним слагаемым в выражении $\Delta E_{\text{пот,ж}}$ можно пренебречь, и тогда

$$\Delta E_{\text{пот,ж}} = \rho\pi r^2 h\ g\ \left(\frac{1}{2}h + R\right)$$

Увеличение кинетической энергии жидкости можно записать как

$$\Delta E_{\text{кин,ж}} = \rho\pi r^2 h \frac{v_r^2}{2} + E_R$$

Где E_R - кинетическая энергия жидкости в большом резервуаре. Вблизи большого поршня жидкость двигается вверх с его скоростью, а вблизи соединения с узкой трубкой ускоряется. В общем случае, её стоит вычислять как

$$E_R = \rho \int\limits_V \frac{v(\vec{x})}{2} d\vec{x}$$

Характерные размеры переходной области, где жидкость ускоряется и движется со скоростью, уже близкой к v_r, совпадают с радиусом узкой трубки. Можно считать, что в остальной области скорость близка к скорости большого поршня v_R. Тогда можно подобрать две константы C_1 и C_2, значения которых имеют порядок единицы, что

$$E_R = C_1 \rho\pi r^2 r \frac{v_r^2}{2} + C_2 \rho\pi R^2 R \frac{v_R^2}{2}$$

Из несжимаемости жидкости, для скоростей имеется соотношение

$$v_r r^2 = v_R R^2$$

Откуда

$$v_R^2 = v_r^2 \frac{r^4}{R^4}$$

Тогда

$$E_R = \rho\pi r^2 r \frac{v_r^2}{2}\left(C_1 + C_2 \frac{r}{R}\right)$$

Теперь видно, с учётом r << h, что эта часть кинетической энергии много меньше первого слагаемого в выражении $\Delta E_{\text{кин,ж}}$. То есть кинетической энергией жидкости в большом резервуаре можно пренебречь. Тогда можно записать

$$\Delta E_{\text{кин,ж}} = \rho\pi r^2 h \frac{v_r^2}{2}$$

В итоге получаем следующее уравнение:

$$Fh\frac{r^2}{R^2} = mgh + \frac{mv_r^2}{2} + \rho\pi r^2 h\, g\, \left(\frac{1}{2}h + R\right) + \rho\pi r^2 h \frac{v_r^2}{2}$$

В системе поршень и жидкость сначала будут ускоряться, затем, когда поршень поднимется выше равновесного положения, он начнёт замедляться. В наивысшей точке его скорость обратиться в ноль:

$$v_r = 0$$

И в уравнении можно будет сократить h. Получим

$$F\frac{r^2}{R^2} = mg + \rho\pi r^2 g\, \left(\frac{1}{2}h_{max} + R\right)$$

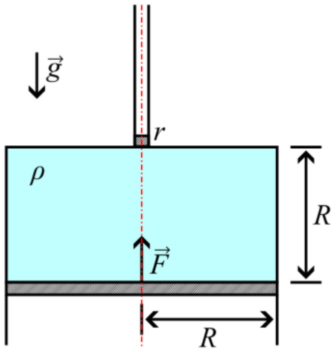
Откуда можно найти h_{max}

$$\frac{1}{2}h_{max} + R = \frac{F\frac{r^2}{R^2} - mg}{\rho\pi r^2 g}$$

$$h_{max} = \frac{2F}{\rho\pi R^2 g} - \frac{2m}{\rho\pi r^2} - 2R$$

Вариант 2:

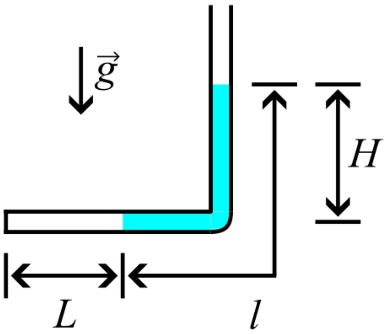
В сосуде с двумя поршнями, как показано на рисунке, находится идеальная несжимаемая жидкость в поле силы тяжести. Трение между поршнями и стенками отсутствует. В начальный момент поршни и жидкость покоятся. Затем большой поршень начинает действовать на жидкость с постоянной силой $\boldsymbol{F}$, в результате чего маленький поршень начинает подниматься. **Найдите массу малого поршня**, если в определённый момент движения были измерены высота подъёма $\boldsymbol{h_0}$ и скорость $\boldsymbol{v_0}$ поршня. Используйте предположения, что $\boldsymbol{r} << \boldsymbol{R}$ и $\boldsymbol{r} << \boldsymbol{h_0}$, где $\boldsymbol{r}$ - радиус узкой трубки, $\boldsymbol{R}$ **-** радиус большого поршня. Считайте, что жидкость движется без завихрений и скорость однородна по сечению узкой трубки. Также известны следующие величины: радиус **r** малого поршня, радиус **R** большого поршня и приложенная к нему сила $\boldsymbol{F}$, плотность жидкости $\boldsymbol{\rho}$, ускорение свободного падения $\boldsymbol{g}$.



Задача 11.1

Вариант 1:

Изогнутый капилляр, запаянный с одной стороны и открытый с другой, частично заполнен жидкостью плотностью ρ. Радиус капилляра много меньше его длины. У запаянного конца капилляра находится воздушный пузырь, отрезанный от внешней среды слоем жидкости. Границы между жидкостью и газом перпендикулярны стенкам капилляра.



В результате диффузии частиц газа сквозь жидкость объем пузырька постепенно уменьшается. В некоторый момент времени расположение столбика жидкости и пузыря воздуха в капилляре было таким, как изображено на рисунке. Определите скорость, с которой будет опускаться столбик жидкости в этот момент, если плотность потока диффузии частиц сквозь столб жидкости постоянна вдоль столба жидкости и пропорциональна разности концентраций частиц у поверхностей жидкости:

$$J = -\mathrm{C}\,\frac{n - n_b}{l}.$$

Эта величина показывает, сколько частиц проходит через единицу площади за единицу времени. В приведенном выражении n – концентрация частиц газа во внешней среде, n_b – концентрация частиц газа в пузыре, l – полная длина участка капилляра, заполненного жидкостью, С – коэффициент пропорциональности.

Жидкость не испаряется, газ в пузырьке считайте идеальным, давление во внешней среде равно P, температура равна T. Ускорение свободного падения равно g. Геометрические параметры, приведенные на рисунке, считайте известными.

Решение:

Давление газа и концентрация частиц связаны как:

$$P = nkT$$

Тогда поток диффузии выражается как:

$$J = -\frac{\mathrm{C}}{KT}\frac{P - P_b}{l},$$

Столб жидкости создаёт дополнительное давление, поэтому

$$P_b = P + \rho g H$$

Откуда можно выразить диффузионный поток

$$J = \frac{C\rho g H}{kTl}$$

Эта величина показывает, сколько молекул проходит через единицу площади за единицу времени:

$$dN = J\, dS\, dt$$

Зная, сколько молекул уходит из пузыря, можно понять, как меняются его размеры.

Запишем уравнение состояния идеального газа:

$$PV = NkT$$

Где

$$V = LS$$

S - площадь сечения капилляра.

Через малое dt в пузыре уменьшится количество молекул на dN, из-за чего его объем уменьшится на $dV = SdL$. В результате этого уменьшится длина вертикального участка, заполненного жидкостью, и давление уменьшится на dP. В результате уравнение состояния запишется как:

$$(P_b - dP)(L - dL)S = (N - dN)kT$$

Где

$$dP = \rho g\, dH$$

$$dH = dL$$

$$dN = \frac{\mathrm{C}\rho g H}{kTl}\, S\, dt$$

При этом изменением H в выражении для dN можно пренебречь. Подставляя, получаем:

$$(P_b - \rho g\, dL)(L - dL)S = \left(N - \frac{\mathrm{C}\rho g H}{kTl}\, S\, dt\right)kT$$

$$P_b LS\ - P_b S\, dL - \rho g LS\, dL + \rho g S\, dL^2 = NkT - \frac{\mathrm{C}\rho g H}{l}\, S\, dt$$

В этом выражении $P_b LS$ и NkT сокращаются, после чего также можно поделить выражение на S. Кроме того, слагаемым $\rho g S\, dL^2$ можно пренебречь по сравнению с другими, т.к. в нём фигурирует квадрат малой величины. В итоге:

$$(P_b + \rho g L)\, dL = \frac{C\rho g H}{l}\, dt$$

Или, расписывая P_b:

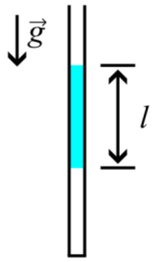
$$(P + \rho g H + \rho g L)\, dL = \frac{C\rho g H}{l}\, dt$$

Откуда скорость изменения длины пузыря:

$$v = \frac{dL}{dt} = \frac{C\rho g H}{l\big(P + \rho g (H + L)\big)}$$

Вариант 2:

Вертикальный капилляр, запаянный снизу и открытый сверху, частично заполнен жидкостью плотностью ρ. Радиус капилляра много меньше его длины. У запаянного конца капилляра находится воздушный пузырь, отрезанный от внешней среды слоем жидкости высотой l. Границы между жидкостью и газом перпендикулярны стенкам капилляра.



В результате диффузии частиц газа сквозь жидкость объем пузырька постепенно уменьшается. Определите скорость, с которой будет опускаться столбик жидкости, если процесс диффузии можно описать следующий образом:

1) Концентрация молекул газа c в жидкости у поверхности пропорциональна давлению газа P около этой поверхности: $c = \lambda P$, где λ - известный коэффициент.

2) Поток растворённых молекул газа J можно найти из закона Фика: $J = -D\frac{\mathrm{d}c}{\mathrm{d}y}$ (приведена одномерная постановка, когда концентрация меняется только по координате y), где D - известный коэффициент диффузии (размерность м^2/с). Считайте, что размеры пузыря меняются очень медленно, что распределение концентрации газа в жидкости успевает установиться, т.е. на всём протяжении области, занятой жидкостью, диффузионный поток одинаков.

Жидкость не испаряется, газ в пузырьке считайте идеальным, давление во внешней среде равно P, температура равна T. Ускорение свободного падения равно g.

Решение:

Раз на всём протяжении области, занятий жидкостью, потом постоянен, то можно заключить, что концентрация растворённого газа меняется линейно. Тогда можно написать, что поток молекул газа из пузыря наружу равен

$$J = -D\frac{c - c_b}{l} = -\lambda D\frac{P - P_b}{l}$$

Где c_b - концентрация молекул газа вблизи пузыря и P_b - давление газа в нём.

Столб жидкости создаёт дополнительное давление, поэтому

$$P_b = P + \rho g l$$

Откуда можно выразить диффузионный поток

$$J = \lambda D \rho g$$

Размерность потока, как следует из закона Фика, это $\frac{1}{\text{м}^2\text{с}}$, т.е. эта величина показывает, сколько молекул проходит через единицу площади за единицу времени:

$$dN = J\, dS\, dt$$

Зная, сколько молекул уходит из пузыря, можно понять, как меняются его размеры.

Запишем уравнение состояния идеального газа:

$$PV = NkT$$

Где

$$V = LS$$

S - площадь сечения капилляра.

Через малое dt в пузыре уменьшится количество молекул на dN, из-за чего его длина уменьшится на dL. Уравнение состояния запишется как:

$$P_b(L - dL)S = (N - dN)kT$$

Где

$$dN = \lambda D \rho g\, S\, dt$$

При этом изменением H в выражении для dN можно пренебречь. Подставляя, получаем:

$$P_b(L - dL)S = (N - \lambda D \rho g\, S\, dt)kT$$

$$P_b LS\ - P_b S\, dL = NkT - \lambda D \rho g\, kTS\, dt$$

В этом выражении $P_b LS$ и NkT сокращаются, после чего также можно поделить выражение на S. В итоге:

$$P_b dL = \lambda D \rho g\, kT\, dt$$

Или, расписывая P_b:

$$(P + \rho g l)\, dL = \lambda D \rho g\, kT\, dt$$

Откуда скорость изменения длины пузыря:

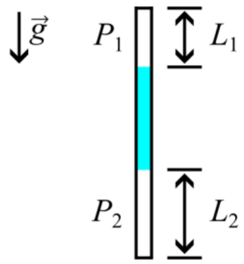
$$v = \frac{dL}{dt} = \frac{\lambda D \rho g kT}{P + \rho g l}$$

Вариант 3

Вертикальный капилляр, запаянный сверху и снизу, частично заполнен жидкостью: слой жидкости разделяет объём газа на два пузыря. Радиус капилляра много меньше его длины. Границы между жидкостью и газом перпендикулярны стенкам капилляра.

В результате диффузии частиц газа сквозь жидкость объем верхнего пузырька постепенно увеличивается, а нижнего – уменьшается. В некоторый момент времени расположение столбика жидкости и пузырей воздуха в капилляре было таким, как изображено на рисунке. Определите скорость, с которой опускается столбик жидкости в этот момент, если плотность потока диффузии частиц сквозь столб жидкости J известна. Эта величина показывает, сколько частиц проходит через единицу площади за единицу времени.

Жидкость не испаряется, газ считайте идеальным, температура равна T. Размеры пузырей и давление газа в них в рассматриваемом моменте считайте известными.



Решение

Величина диффузионного показывает, сколько молекул проходит через единицу площади за единицу времени:

$$dN = J\, dS\, dt$$

Зная, сколько молекул уходит из пузыря, можно понять, как меняются его размеры.

Запишем уравнение состояния идеального газа:

$$PV = NkT$$

Где

$$V = LS$$

S - площадь сечения капилляра.

Через малое dt в верхнем пузыре увеличится количество молекул на dN и на столько же уменьшится в нижнем. Объём верхнего увеличится на $dV = SdL$ и на столько же уменьшится объём нижнего.

Столб жидкости создаёт постоянное дополнительное давление, откуда

$$P_2 = P_1 + \rho g l$$

Где ρ - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения, l - высота столба жидкости.

Из приведённого выражения следует, что изменение давления dP в обоих пузырях будет одинаково.

В результате уравнения состояния для двух пузырей запишутся как:

$$(P_1 + dP)(L_1 + dL)S = (N_1 + dN)kT$$

$$(P_2 + dP)(L_2 - dL)S = (N_2 - dN)kT$$

Или

$$P_1L_1S + L_1S\,dP + P_1S\,dL\ + S\,dP\,dL = N_1kT + dNkT$$

$$P_2L_2S + L_2S\,dP - P_2S\,dL\ - S\,dP\,dL = N_2kT - dNkT$$

С учётом

$$P_1L_1S = N_1kT$$

$$P_2L_2S = N_2kT$$

И

$$dN = JS\,dt$$

Можно сократить ряд слагаемых, а затем поделить на S.

Кроме того, слагаемым $dP\,dL$ можно пренебречь по сравнению с другими, т.к. в нём фигурирует квадрат малой величины.

В результате система уравнений сведётся к

$$L_1\,dP + P_1\,dL\ = JkT\,dt$$

$$L_2\,dP - P_2\,dL\ = JkT\,dt$$

Из второго уравнения можно выразить dP

$$dP = \frac{P_2}{L_2}dL + \frac{JkT}{L_2}dt$$

И подставить в первое

$$L_1\,\left(\frac{P_2}{L_2}dL + \frac{JkT}{L_2}dt\right) + P_1\,dL\ = JkT\,dt$$

$$\left(P_1 + \frac{L_1}{L_2}P_2\right)\,dL\ = JkT\left(1 - \frac{L_1}{L_2}\right)\,dt$$

Откуда скорость выразится как

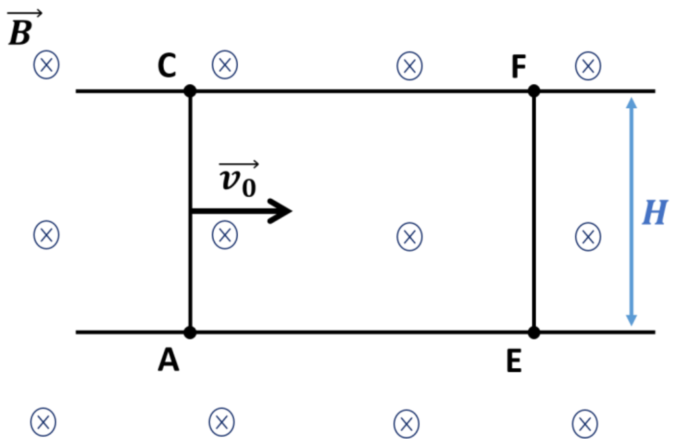
$$v = \frac{dL}{dt} = \frac{JkT\left(1 - \frac{L_1}{L_2}\right)}{P_1 + \frac{L_1}{L_2}P_2}$$

Выражая P_2, получим

$$v = \frac{JkT\left(1 - \frac{L_1}{L_2}\right)}{P_1 + \frac{L_1}{L_2}P_2}$$

Задача 11.2

Металлические стержни AC и EF расположены на параллельных проводящих рельсах, стержень EF закреплен; стержень AC может свободно передвигаться вдоль рельсов, изначально покоится. Начальное расстояние между стержнями L_0. Вся конструкция помещена в однородное магнитное поле с индукцией B (см. рисунок). Стержню AC сообщают начальную скорость v_0 по направлению к стержню EF. Определите величину и направление силы Ампера, действующую на стержень AC в момент, когда расстояние между стержнями будет равно L. Длина стержней H, масса m, сопротивление единицы длины стержней и рельсов одинаково и равно λ. Индуктивностью стержней и рельсов пренебречь.



Решение

В результате движения стержня в магнитном поле в контуре ABCD возникнет ЭДС индукции:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -BH\frac{dL}{dt}$$

где $L = L(t)$ – расстояние между стержнями. В результате по контуру будет течь ток:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{BH}{2\lambda(H+L)}\frac{dL}{dt}$$

Направление тока будет по часовой стрелке.

На подвижный стержень будет действовать сила Ампера:

$$F = m\frac{dv}{dt} = IBH = \frac{B^2H^2}{2\lambda(H+L)}\frac{dL}{dt}$$

Направление силы будет противоположно направлению начальной скорости, стержень будет тормозится. Запишем уравнение движения стержня, направив ось координат вправо ($\frac{dL}{dt} < 0$):

$$\frac{dv}{dt} = \frac{B^2H^2}{2\lambda m(H+L)}\frac{dL}{dt}$$

$$dv = \frac{B^2H^2}{2\lambda m(H+L)}dL => v(L) = v_0 + \frac{B^2H^2}{2\lambda m}\ln\left(\frac{H+L}{H+L_0}\right)$$

Имея в виду, что скорость стержня связана с изменением расстояния между стержнями, можем записать выражение для величины силы Ампера:

$$v(L) = -\frac{dL}{dt} => F = \frac{BH}{2\lambda(H+L)}\left(v_0 + \frac{B^2H^2}{2\lambda m}\ln\left(\frac{H+L}{H+L_0}\right)\right)$$