

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

Участникам заключительного этапа Олимпиады по физике предлагался один из заранее подготовленных 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

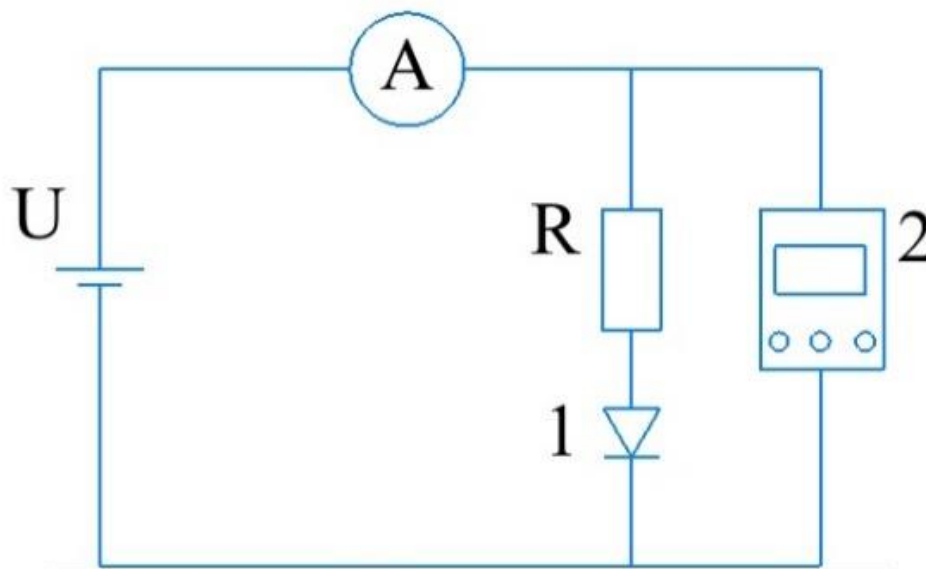
10-11.3 – Гидродинамика

11.1 – Диффузия

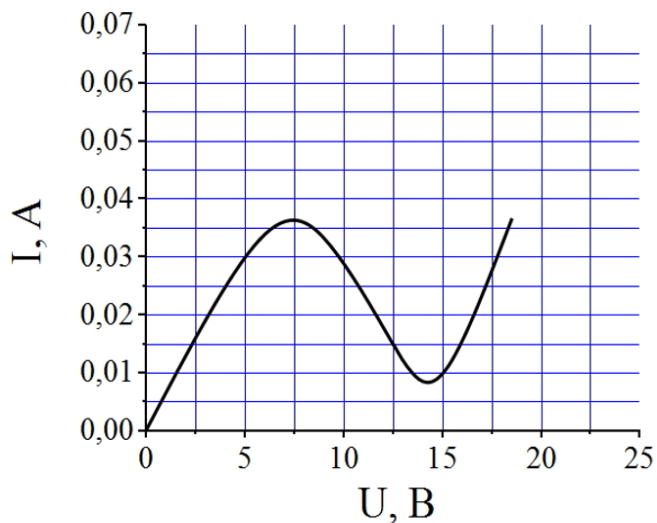
11.2 – Магнитная индукция

Задача 11.1

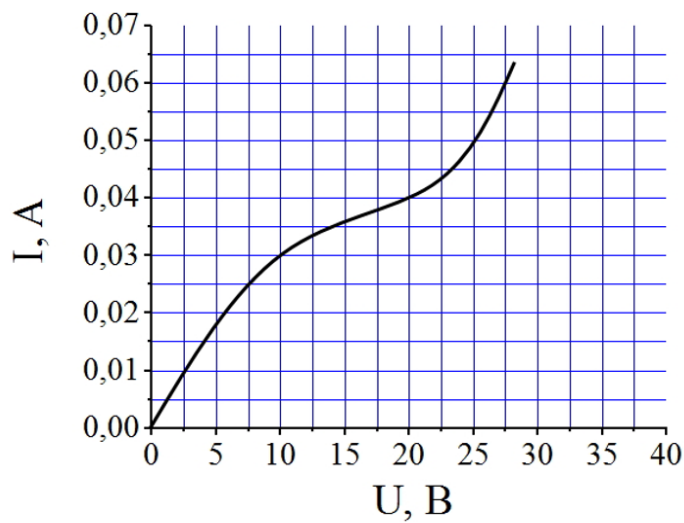
Резистор R , туннельный диод 1 и прибор 2 включены в электрическую схему, как показано на рисунке. Напряжение источника U , питающего цепь, составляет 20 В. Максимально допустимая мощность источника составляет 1 Вт. Сопротивление резистора R составляет 500 Ом. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) диода 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)



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.

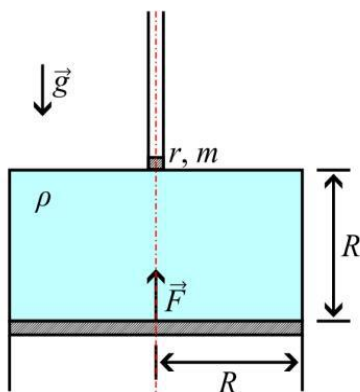
Вариант 2:

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.

Задача 11.3

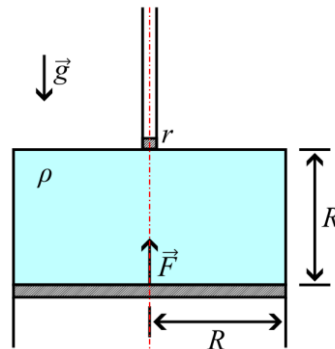
Вариант 1:

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 F , в результате чего маленький поршень начинает подниматься. **Найдите максимальную высоту подъёма** малого поршня h_{max} , используя предположения, что $r \ll R$ и $r \ll h_{max}$, где r - радиус узкой трубки, R - радиус большого поршня. Считайте, что жидкость движется без завихрений и скорость однородна по сечению узкой трубки. Известны следующие величины: масса m и радиус r малого поршня, радиус R большого поршня и приложенная к нему сила F , плотность жидкости ρ , ускорение свободного падения g .



Вариант 2:

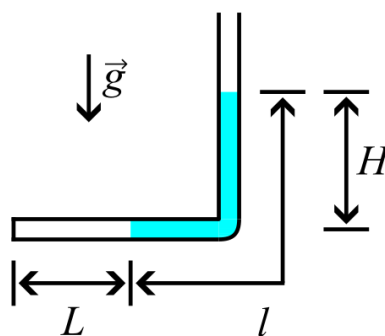
В сосуде с двумя поршнями, как показано на рисунке, находится идеальная несжимаемая жидкость в поле силы тяжести. Трение между поршнями и стенками отсутствует. В начальный момент поршни и жидкость покоятся. Затем большой поршень начинает действовать на жидкость с постоянной силой F , в результате чего маленький поршень начинает подниматься. **Найдите массу малого поршня**, если в определённый момент движения были измерены высота подъёма h_0 и скорость v_0 поршня. Используйте предположения, что $r \ll R$ и $r \ll h_0$, где r - радиус узкой трубки, 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 F , плотность жидкости ρ , ускорение свободного падения 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 пузырька 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:

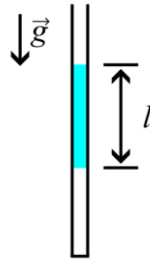
$$J = -C \frac{n - n_b}{l}.$$

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 пузырьке, l – полная длина участка капилляра, заполненного жидкостью, C – 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.

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 пузырек, 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: $J = -D \frac{dc}{dy}$ (приведена одномерная постановка, когда концентрация меняется только по координате y), где D - известный коэффициент диффузии (размерность m^2/s). Считайте, что размеры пузырька меняются очень медленно, что распределение концентрации газа в жидкости успевает установиться, т.е. на всём протяжении области, занятой жидкостью, диффузионный поток одинаков.

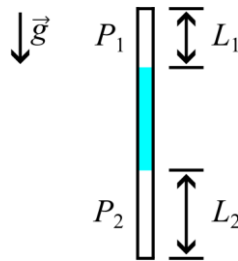
Жидкость не испаряется, газ в пузырьке считайте идеальным, давление во внешней среде равно P , температура равна T . Ускорение свободного падения равно g .

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 объём 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.



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.

