

Теоретический тур, 11 класс

1. Куда упадет шарик?

С лодки, движущейся по течению реки, опускают в воду металлический шарик. Шарик падает на дно реки на расстоянии l_1 по горизонтали от места, где его опустили в воду. Если опустить в воду шарик с лодки, движущейся против течения, то шарик падает на дно на расстоянии l_2 ниже по течению. Для лодки, переплывающей реку по траектории, перпендикулярной течению реки, расстояние до точки падения на дно составляет l_3 .

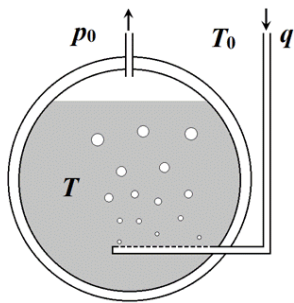
1 Чему равно расстояние до точки падения на дно для лодки, движущейся в озере той же глубины, что и река?

2 Во сколько раз скорость лодки больше скорости течения?

Величина проекции скорости шарика на вертикальное направление при падении в воду равна нулю, закон зависимости силы сопротивления при движении шарика в воде неизвестен, все расстояния отсчитываются по горизонтали от места падения шарика в воду до места падения его на дно. Течение реки и ее глубина везде одинаковы. Двигатель лодки развивает постоянную силу тяги независимо от направления движения.

2. «Буль-буль»

В реакторе в водном растворе некоторого вещества в результате химической реакции выделяется тепло с мощностью $N = 5$ кВт. Для регулирования температуры в реактор через трубки с маленькими отверстиями, проложенными на дне реактора, продувается воздух. Давление воздуха, подающегося в реактор, можно считать равным атмосферному $P_0 = 10^5$ Па, температуру – равной температуре помещения $T_0 = 22$ °С. Определите объемный расход воздуха q , необходимый для поддержания в реакторе температуры $T < T_K$, где $T_K = 100$ °С – температура кипения водного раствора при атмосферном давлении. Считайте $T_K - T \ll T_K$. Определите численное значение q для $T = 95$ °С.



Молярная теплота испарения при температуре T для воды известна: $\lambda = 40$ кДж/моль. Давление насыщенного водяного пара вблизи T_K меняется практически линейно с коэффициентом $\alpha = 3.5$ кПа/°С. Давление насыщенного пара над раствором в точности соответствует давлению насыщенного водяного пара. Теплотой, идущей на нагрев воздуха, можно пренебречь. Перепад давления на отводящей из реактора газ трубке пренебрежимо мал. В отсутствие подачи воздуха в реактор, теплообмена с окружающей средой нет.

3. Пластина с шайбой

Часть 1. Тонкий стержень из диэлектрика равномерно заряжен с линейной плотностью заряда λ . Точка A расположена на расстоянии h от стержня и равноудалена от его концов. Стержень виден из точки A под углом 2φ (рис. 1). Определите напряженность электрического поля в точке A .

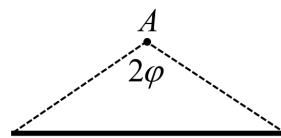


Рис. 1

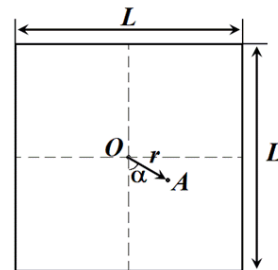


Рис. 2

Часть 2. Тонкая диэлектрическая квадратная пластина с длиной стороны L равномерно заряжена с поверхностной плотностью $\sigma > 0$. В точку A , смещенную в плоскости пластины на малое расстояние $r \ll L$ относительно ее центра (т. O) под углом $\alpha = 60^\circ$ к стороне квадрата (рис. 2), помещают маленькую гладкую диэлектрическую шайбу массы m с зарядом $q < 0$. Шайбу отпускают без начальной скорости.

2.1 Определите величину и направление ускорения шайбы сразу после того, как ее отпустили.

2.2 Через какое время шайба впервые окажется на минимальном расстоянии от центра пластины?

Силы тяжести нет, пластина закреплена.

4. Виток в витке

Индуктивность кольца радиуса R , сделанного из тонкой проволоки, равна L .

1 Найдите индуктивность проволочного кольца, у которого все геометрические размеры в 2 раза больше.

Если в плоскости кольца радиуса R поместить сверхпроводящее колечко с вдвое меньшими геометрическими размерами так, чтобы плоскости колец и их центры совпадали (рис. 3), то индуктивность кольца радиуса R оказывается равной L_1 .

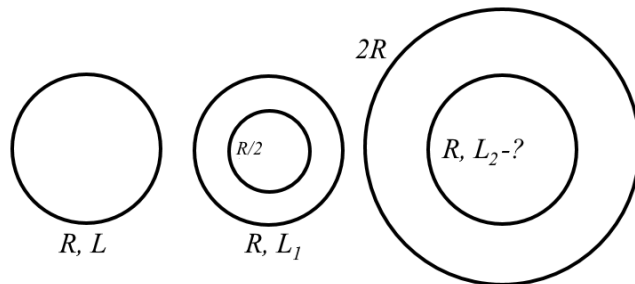


Рис. 3

2 Какой станет индуктивность кольца L_2 радиуса R при помещении его внутрь сверхпроводящего кольца со вдвое большими геометрическими размерами? Плоскости и центры колец во втором случае также совпадают.

5. Прозрачный слой

В шаре радиуса $2R$ из оптически прозрачного материала имеется сферическая полость радиуса R . Центры шара и полости совпадают. Внутри полости воздух. Из воздуха снаружи на поверхность шара падает луч света (рис. 4). При каких значениях угла падения луча на поверхность шара α луч проникнет внутрь полости? Рассмотрите два случая:

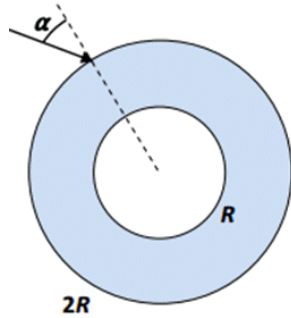


Рис. 4

1 Показатель преломления вещества шара постоянен и равен $n = 2$.

2 Показатель преломления вещества шара линейно уменьшается при увеличении расстояния r от центра: $n(r) = 2.5 - 0.5 \frac{r}{R}$, $R \leq r \leq 2R$.

Показатель преломления воздуха считать равным $n_0 = 1$.

11-Е1. Капилляр

При ламинарном (без завихрений) течении жидкости по трубке скорость движения изменяется от нуля у стенки трубки до максимального значения на ее оси (пуазейлевский профиль скоростей). Так как соседние слои жидкости движутся с различными скоростями, между ними возникает сила трения, значение которой характеризуется физической величиной η , называемой коэффициентом вязкости. Согласно формуле Пуазейля, объем жидкости Q , протекающий по трубке в единицу времени (расход), связан с коэффициентом вязкости соотношением

$$Q = \frac{\Delta p \pi r^4}{8 \eta l},$$

где Δp – разность давлений на концах трубки, r – радиус трубки, l – длина трубки. При этом формула Пуазейля применима, только если длина трубки удовлетворяет соотношению $l \gg l_0 \sim \frac{1}{\eta} \sqrt{\rho \sigma r^3}$, иначе пуазейлевский профиль скоростей не успеет установиться. Здесь ρ – плотность жидкости, σ – коэффициент поверхностного натяжения.

Вам предлагается определить вязкость выданной Вам неизвестной жидкости.

Оборудование: шприц с неизвестной жидкостью вместимостью 5 мл, шприц с подкрашенной водой вместимостью 10 мл, капилляры диаметром 0,3 мм (10 штук), линейка, секундомер, пластина из оргстекла.

Примечание: Выданные Вам салфетки предназначены для поддержания рабочего места сухим и чистым и не входят в состав оборудования. Миллиметровая бумага может использоваться только для построения графиков и также не входит в состав оборудования. Пластина из оргстекла предлагается в качестве рабочей поверхности для проведения экспериментов. Спички нужны только как заглушки для шприцев и также не входят в состав оборудования.

Задание

1 Определите краевой угол смачивания θ внутренней поверхности капилляра водой. Коэффициент поверхностного натяжения воды принять равным: $\sigma_{\text{в}} = 0.073 \text{ Н/м}$, плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$, ускорение свободного падения $g = 9.8 \text{ м/с}^2$.

Примечание: краевой угол смачивания – угол, который образуется между касательной к поверхности

жидкости в точке ее контакта с твердой поверхностью (рис. 1).

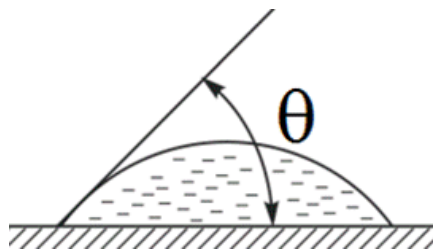


Рис. 1

- 2** Определите коэффициент поверхностного натяжения неизвестной жидкости, считая, что для нее краевой угол смачивания совпадает с краевым углом смачивания воды. Плотность неизвестной жидкости равна $\rho_{\text{ж}} = 1200 \text{ кг/м}^3$.
- 3** Предложите способ экспериментального определения коэффициента вязкости неизвестной жидкости. Приведите его теоретическое обоснование с выводом необходимых формул. Подробно опишите схему проведения эксперимента.
- 4** Определите коэффициент вязкости неизвестной жидкости.
- 5** С помощью рассчитанного значения коэффициента вязкости оцените характерную длину установления пуазейлевского профиля скоростей l_0 .

Примечания

- Замена капилляров и жидкости не предусмотрена, поэтому тщательно планируйте свои действия. Если при выполнении отдельного измерения у Вас осталась неиспользованной значительная часть капилляра, Вы можете аккуратно отломить ее и использовать еще раз. Часть капилляра, в которой побывала жидкость, повторно использовать нельзя из-за изменения свойств поверхности при смачивании.
- При длительном нахождении исследуемой жидкости на открытом воздухе некоторые легколетучие компоненты в ее составе могут частично испаряться, что существенно повлияет на качество результатов.

11-Е2. Электрический серый ящик

Вам выдан «серый ящик», электрическая схема которого частично известна (рис. 1). Сопротивление резистора $R = (1,00 \pm 0,05) \text{ Ом}$. Цвета выводов «серого ящика» соответствуют подписям на схеме. На местах пяти кружочков располагаются пять элементов: две одинаковые (в пределах погрешности производства) лампочки накаливания, два одинаковых резистора сопротивлением $r = (52 \pm 1) \text{ Ом}$ каждый и светодиод. На месте каждого кружочка располагается ровно один элемент. Лампочки и светодиод выведены наружу, и вы можете видеть, когда и как ярко они светятся.

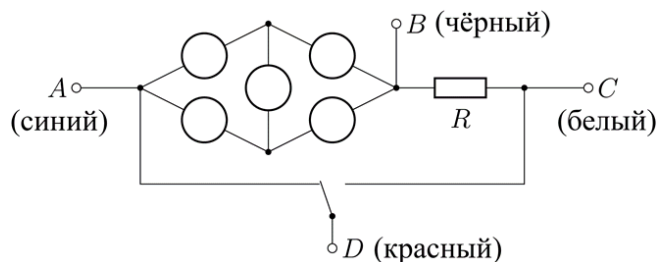


Рис. 1

С помощью предложенного оборудования:

- 1 Исследуйте зависимость $I(U)$ (вольтамперную характеристику (ВАХ)) участка АВ (не менее 12 точек в прямом и 12 точек в обратном направлении). Нарисуйте схему измерений. Постройте график $I(U)$.
- 2 Определите схему расположения элементов в сером ящике. Нарисуйте схему с указанием цвета проводов, положения элементов и направления включения диода. Аргументируйте предложенный вариант.
- 3 Определите мощность лампочки накаливания при напряжении на ней 3,0 В.
- 4 Определите вольтамперную характеристику лампочки. Опишите метод определения ВАХ лампочки, постройте график.

Погрешность оценивать не нужно!

Очень важно!

- В начале работы обязательно укажите номера выданных вам серого ящика и источника тока.
- Мультиметр можно использовать только в режимах вольтметра или омметра.
- Регулируемый источник разрешается подключать только к белому и синему выводам.
- В случае порчи источника или серого ящика из-за короткого замыкания оборудование не заменяется.
- Извлекать батарейки из держателя запрещается. Новые батарейки выдаваться не будут.
- Регулируемый источник работает в штатном режиме только при его подключении к выводам А (синий) и С (белый). Вы не сможете убедиться в его работоспособности, отключив его от схемы и подключив к нему напрямую вольтметр.
- Вы можете использовать для подключения источника только его красный и черный провода. Любые другие способы подключения к источнику или его элементам категорически запрещаются.

Оборудование: «серый ящик», регулируемый источник тока, мультиметр (можно использовать только как вольтметр или омметр), две колодки для соединения проводов, два кусочка черной пластиковой трубки. Миллиметровая бумага формата А4 может использоваться только для построения графиков.