

Условие

Цель этого эксперимента — определить плотность ρ стекла, из которого изготовлена меньшая пробирка.

Погрузите пробирку в ёмкость с водой и снимите зависимость глубины погружения пробирки y от уровня x воды в ней. Добейтесь того, чтобы пробирка плавала вертикально! Что для этого нужно сделать?

В своей тетради начертите таблицу, в которую занесите зависимость y от x . Укажите, относительно какого уровня вы измеряете параметры x и y . По результатам своих измерений постройте график $y(x)$. На графике должно быть не менее 7 точек. Из графика найдите отношение внутреннего диаметра d пробирки к её внешнему диаметру D .

Независимо определите диаметры d и D и сравните их отношение с полученным ранее из графика.

Определите массу меньшей пробирки m , её объём V и рассчитайте плотность ρ .

Плотность воды $\rho_0 = 1,00 \text{ г/см}^3$.

Оборудование. Исследуемая малая пробирка; большая пробирка (или мензурка), в которую помещается исследуемая пробирка; ёмкость с водой, например, обрезанная сверху пустая пластиковая бутылка объёмом 1,5–2,0 л (ёмкость должна быть достаточно глубокой, чтобы пробирка полностью погружалась в воду); шприцы объёмом 1 мл и 20 мл; миллиметровая бумага; скотч и ножницы (по требованию).

Рекомендации организаторам

Внутренний диаметр большой пробирки должен быть больше внешнего диаметра малой (исследуемой) пробирки.

Примерные критерии оценивания

Указано, как добиться вертикального плавания пробирки 1
 Таблица измерений $y(x)$, не менее 7 точек 2
 Построен график $y(x)$, на котором не менее 7 точек 2
 По графику найдено отношение d/D 1
 Определён внешний диаметр D 1
 Определён внутренний диаметр d 1
 Выведена формула (1) для массы пробирки 1
 Измерены объёмы V_1 и V_2 :
 хотя бы при трёх различных глубинах погружения 2
 менее, чем при трёх различных глубинах погружения 1
 Полученное значение m 1
 Измерение объёма пробирки V 2
 Полученное значение ρ 1

Возможное решение

Для того, чтобы пробирка плавала вертикально, нужно налить в нее некоторое количество воды. Та часть пробирки, для которой мы проводим измерения глубины погружения, должна быть цилиндрической. Для измерения требуемых уровней воды наклеим на пробирку с помощью скотча полоску миллиметровой бумаги, которая будет служить нам шкалой. Параметры x и y можно измерять относительно произвольного фиксированного уровня.

Таблица 1: результаты измерений.

№	1	2	3	4	5	6	7
x , мм	30	33	34	38	41	43	47
y , мм	96	98	99	102	104	106	108

Пусть начальный объём воды в пробирке равен $V_{1,0}$, а начальный объём вытесненной пробиркой воды равен $V_{2,0}$. Тогда текущий объём воды в пробирке V_1 равен

$$V_1 = V_{1,0} + \frac{\pi d^2}{4} x,$$

а текущий объём вытесненной пробиркой воды V_2 равен

$$V_2 = V_{2,0} + \frac{\pi D^2}{4} y.$$

По закону Архимеда:

$$(m + \rho_0 V_1)g = \rho_0 V_2 g.$$

Подставив выражения для V_1 и V_2 в закон Архимеда, получим:

$$m + \rho_0 \left(V_{1,0} + \frac{\pi d^2}{4} x \right) = \rho_0 \left(V_{2,0} + \frac{\pi D^2}{4} y \right).$$

Из этой формулы видно, что y линейно зависит от x , то есть угловой коэффициент на графике (рис. 1) равен $k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{d^2}{D^2}$. В нашем случае $k = 0,73 \pm 0,05$, откуда $\frac{d}{D} = \sqrt{k} = 0,85 \pm 0,03$.

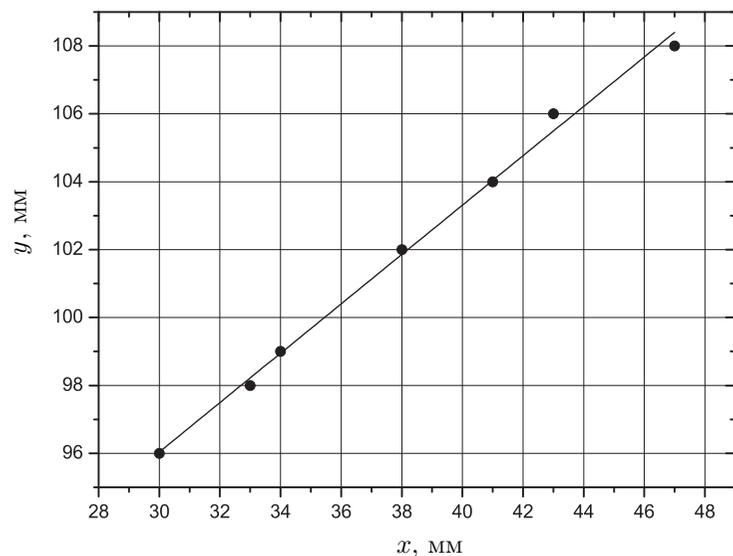


Рис. 1

Обмотав пробирку кусочком миллиметровой бумаги, определим периметр $P = \pi D = 50,0 \pm 1,0$ мм. Тогда внешний диаметр $D = 15,9 \pm 0,3$ мм.

Внутренний диаметр пробирки можно измерить, долив в неё шприцем воду и измерив изменение уровня Δx . Объём налитой воды $\Delta V_1 = \frac{1}{4}\pi d^2 \Delta x$ нам известен, поскольку мы наливаем её шприцем. У нас получилось $d = 14,0 \pm 0,7$ мм.

Объёмы V_1 и V_2 можно измерить непосредственно: воду в пробирку мы заливаем шприцем, а объём вытесненной воды найдём погружая малую пробирку в большую на ту же глубину. Тогда масса пробирки

$$m = \rho_0(V_2 - V_1). \quad (1)$$

Делаем это для 4-5 значений y и проводим усреднение.

$$m = 16,1 \pm 0,3 \text{ г.}$$

С помощью большой пробирки и шприцев, найдем внутренний $V_{1, \max}$ и внешний объём $V_{2, \max}$ исследуемой пробирки. Тогда объём стекла пробирки $V = V_{2, \max} - V_{1, \max}$. Полученное нами значение: $V = 7,5 \pm 0,3$ мл.

Находим плотность стекла:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad \rho = 2,15 \pm 0,12.$$

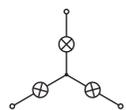
Условие

Рис. 2

Внутри «серого» ящика находятся три идеальные одинаковые батарейки, включенные в лучи «звезды». Выводы помечены буквами А, В, С.

Точка соединения трёх ламп изолирована.

1. Убедитесь, что яркости свечения (сопротивления) ламп действительно одинаковы. Поясните, как вы это установили.
2. Исследуйте схему соединения батареек в «сером» ящике с помощью трёх одинаковых ламп, соединённых «звездой» (рис. 2). Укажите схему соединения батареек внутри «серого» ящика.
3. Подключите к каждому выводу «серого» ящика по одному лучу «звезды», содержащей лампочки. Определите яркость свечения каждой лампы. Покажите теоретически, что указанная вами схема не противоречит полученным результатам.

Предостережение

Не оставляйте схему включённой на длительное время, чтобы не «сжечь» лампы и не разрядить батарею.

Оборудование. «Серый ящик» с батарейками, три лампы накаливания, соединённые «звездой».

Примерные критерии оценивания

Проверено, что лампы одинаковые.....	2
Указаны возможные способы подключения ламп к «серому» ящику.....	1
Указаны результаты измерений (1 балл за каждую пару выводов).....	3
Подбирается не только правильный вариант, но и исключаются остальные.....	0,5
Указано, что смена полярности батарей не приводит к изменению результатов измерений.....	0,5
Проведена проверка применимости 6 вариантов схем по измерениям с двумя лампами (по 0,5 балла за каждый).....	3
Показано, что в верной схеме к выводу С подключена одна батарея.....	1
Указано, что в отличить выводы А и В невозможно.....	1
Указан результат измерений при подключении трёх ламп.....	1
Проверено, что указанная схема не противоречит результатам измерений с тремя лампами.....	2

Возможное решение

1. Найдём такие выводы «серого» ящика, что при подключении двух ламп обе лампы светятся. Поскольку лампы соединены последовательно, то через них протекает ток одинаковой силы. Тогда одинаковая яркость свечения свидетельствует об одинаковой мощности и, следовательно, об одинаковом сопротивлении ламп. Достаточно проверки для двух разных пар ламп.
2. Для определения схемы в «сером» ящике наблюдаем за яркостью свечения ламп при их различном подсоединении к выводам серого ящика.

При подсоединении двух ламп получаем следующие результаты:

выводы А и В: две лампы горят **ярко**;

выводы А и С: две лампы горят **тускло**;

выводы В и С: две лампы горят **тускло**;

Определим схему, перебрав все варианты, и исключим те, которые не подходят под проведённые измерения. Все остальные возможные варианты (полученные заменой полярности батареек) будут давать тот же результат при присоединении ламп, что и 6 вариантов, приведённых ниже:

Схема	Причина, по которой не подходит, или указание верности схемы
	Существует пара выводов, для которых лампы не горят
	Для всех пар выводов лампы не горят
	Существует пара выводов, для которых лампы не горят
	Получаем три разных яркости
	Существует пара выводов, для которых лампы не горят
	Удовлетворяет всем условиям, верная схема

При подключении пар выводов, один из которых С, лампы горят тускло, поэтому выводу С соответствует луч с одной батарейкой. При подключении выводов А и В — две батарейки, лампы горят ярко.

Верная схема приведена на рис. 3. Луч с двумя батареями отличить от луча без батарей по характеру свечения нельзя, поэтому возможны две схемы (без учёта изменения полярностей).

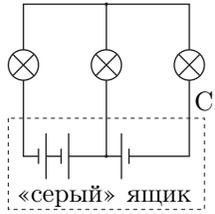


Рис. 3

3. При подсоединении трёх ламп к «серому» ящику: лампа А светится ярко, В — ярко, С — не светится. В этом случае, считая батареи идеальными, а сопротивления ламп одинаковыми, можно рассчитать схему и получить, что силы токов, текущих через выводы А, В равны, а через вывод С ток не течёт. Этот результат можно получить качественными рассуждениями. Если мысленно отключить лампу С, то напряжения на одинаковых лампах (подключенных к А и В) равны, и равны Э.Д.С. одной батареи. Тогда, учитывая полярность третьей батареи, лампа С подсоединяется к контактам, исходное напряжение на которых нулевое. Поэтому, она гореть не будет (даже независимо от её сопротивления), а лампы В и А будут гореть одинаково ярко.