

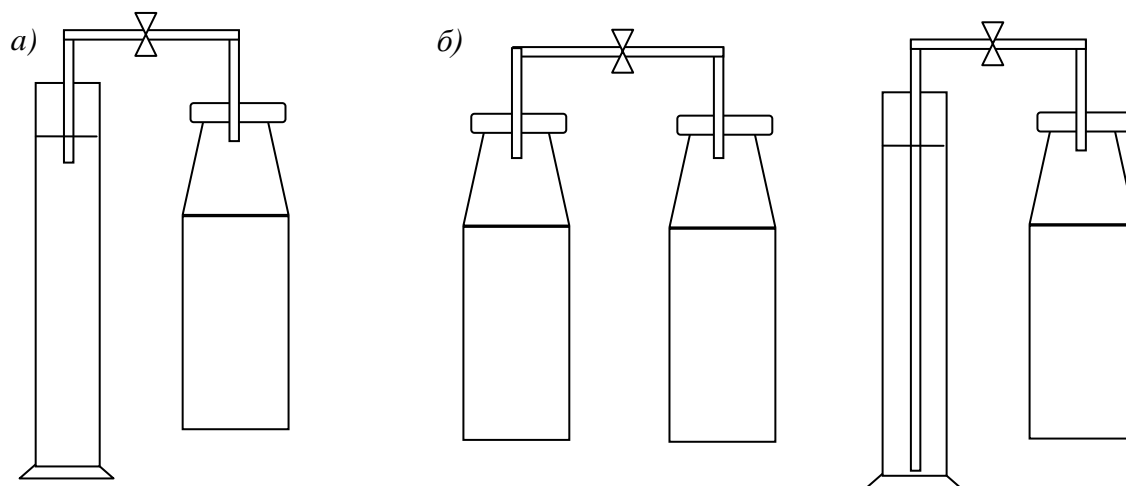
10 класс

10 класс. Задача 1: “Температура бутылки”

Задание: Определите температуры, при которых закупоривали бутылки. Известно, что давление насыщенных паров воды при температуре 20°C $P_n = 2,3 \text{ кПа}$.

Оборудование: 2 одинаковые бутылки, заранее закупоренные при температурах выше (T_1) и ниже (T_2) температуры T_0 в помещении, мерный цилиндр, штатив с лапкой, термометр, пробки с выводами, зажимы, пластиковые трубки, вода по требованию, салфетки, линейка. Барометр для определения давления воздуха в помещении.

Решение



Заполним мензурку водой комнатной температуры, опустим в нее трубку от одной из бутылок. Чуть приоткрывая кран, по появлению пузырька или по движению воды вверх определим, повышенное или пониженное давление в этой бутылке.

Опыт *a)*. Возьмем бутылку с давлением, меньшим атмосферного давления. Опустим идущую от нее трубку в мензурку с водой и дадим затечь воде в бутылку. Подождем некоторое время, чтобы температура выровнялась, а процесс прекратился. По изменению уровня воды в мензурке найдем объем перетекшей воды. Для устранения влияния гидростатического давления и эффекта сифона верхний край бутылки должен быть вровень с уровнем воды в мензурке.

Обозначим атмосферное давление P_0 , объем бутылки V_0 . Тогда, учитывая, что в бутылке образуется насыщенный пар при температуре воды (при температуре 20°C $P_n = 2,3 \text{ кПа}$):

$$\frac{P_0 V_0}{T_1} = \frac{(P_0 - P_n)(V_0 - V_g)}{T_0},$$

$$T_1 = T_0 \frac{P_0 V_0}{(P_0 - P_n)(V_0 - V_g)}. \quad (1)$$

Опыт б). Для определения исходной температуры для бутылки с повышенным давлением попробуем чуть приоткрыть кран при опущенной до дна трубке в глубокую мензурку. Если сразу появляется пузырек и давления столба жидкости недостаточно, опустошим от воды первую бутылку, соединим бутылку с повышенным давлением трубкой с ней. При этом часть газа перейдет в первую бутылку, а давление в бутылках станет равным среднему арифметическому исходного давления в исследуемой бутылке и атмосферного.

Для пустой бутылки

$$P_0 V_0 = \nu_0 R T_0.$$

Для бутылки с избыточным давлением

$$P_1 V_0 = \nu_1 R T_0.$$

После выравнивания давлений и температур

$$P_2 2V_0 = (\nu_0 + \nu_1) R T_0 = (P_0 + P_1) V_0.$$

Отсюда для нового давления получим

$$P_2 = \frac{P_0 + P_1}{2} = \frac{2P_0 + \Delta P_1}{2} = P_0 + \frac{\Delta P_1}{2},$$

где ΔP_1 – исходное избыточное давление.

Закрываем кран и вновь попробуем измерить избыточное давление гидростатическим методом, опуская трубку в мензурку. Если глубины мензурки не хватает и гидростатическое давление не компенсирует избыточное давление в бутылке, а воздух начинает выходить, повторяем операцию с делением избыточного давления на 2. Если гидростатическое давление у дна мензурки выше, поднимаем трубку до того момента, когда воздух начнет выходить из трубки. По полученной глубине определяем избыточное давление:

$$\frac{P_1 - P_0}{2^n} = \rho g h,$$

$$P_1 = P_0 + 2^n \rho g h, \quad (2)$$

где n – число потребовавшихся повторений деления избыточного давления на 2.

$$\frac{P_0 V_0}{T_2} = \frac{P_1 V_0}{T_0},$$

$$T_2 = T_0 \frac{P_0}{P_1} = T_0 \frac{P_0}{P_0 + 2^n \rho g h}. \quad (3)$$

Вместо измерения избыточного давления с помощью столба воды в мензурке может быть использован водяной манометр, сделанный из заполненной водой трубки. Либо может быть использован заполненный водой перевернутый мерный цилиндр (по количеству вытесненной воды)

Разбалловка:

- | | |
|--|----------|
| 1. Описан метод определения температуры T_1 и выведено выражение (1) | 3 баллов |
| 2. Найдено значение температуры T_1 | 2 балла |
| 3. Оценена погрешность определения температуры T_1 | 1 балл |
| 4. Описан метод определения температуры T_2 | 3 баллов |
| 5. Выведено выражение (2) | 2 баллов |
| 6. Выведено выражение (3) | 1 баллов |
| 7. Найдено значение температуры T_2 | 2 балла |
| 8. Оценена погрешность определения температуры T_2 | 1 балл |

10 класс. Задача 2: “Магнитный момент”

Задание: Известно, что сила взаимодействия между магнитами, находящимися на расстоянии, существенно большем их размеров, имеет вид $F = a \frac{(p_{m1})^b (p_{m2})^c}{z^d}$, где

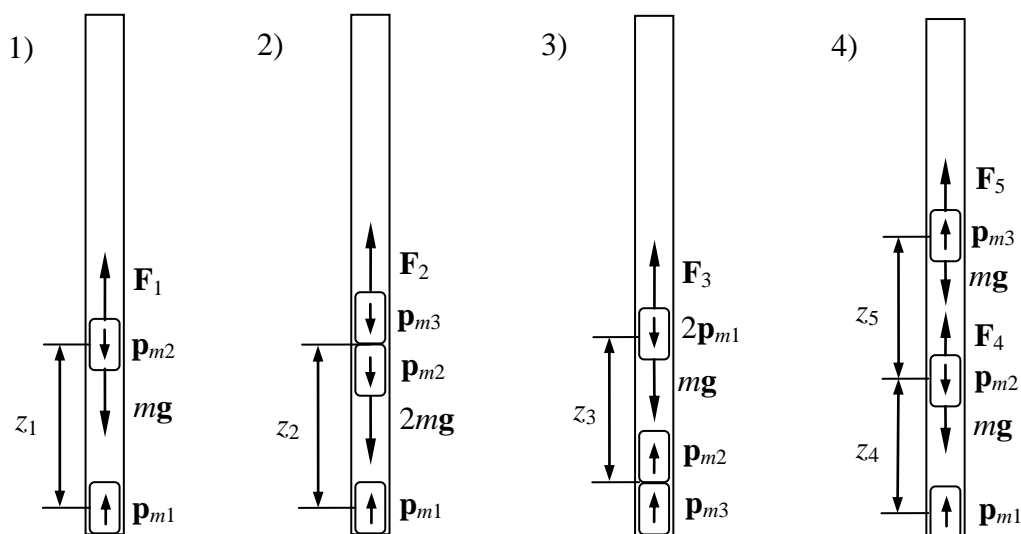
b, c, d – целые числа, p_{m1} и p_{m2} – магнитные моменты магнитов, $a = 6 \cdot 10^{-7}$ (ед. СИ) – постоянный коэффициент.

1. Определите параметры b, c, d в зависимости силы взаимодействия двух магнитов от расстояния.
2. Определите магнитный момент постоянного магнита.

Оборудование: 3 неодимовых магнита, пластиковая трубка, линейка, электронные весы на преподавательском столе по требованию.

Замечание: класть магнит на электронные весы категорически запрещается!

1. Для предотвращения переворачивания магнитиков с противоположными магнитными моментами под действием поля помещаем их в диэлектрическую трубку. Взаимодействие магнитов можно реализовать 4 способами:



По третьему закону Ньютона магнитные моменты должны входить в формулу симметричным образом, поэтому $b = c$. Переворачивая трубку в опыте 1) и последовательно меняя магнитики, убеждаемся, что массы магнитов одинаковы и их магнитные моменты также одинаковы.

$$1) \quad mg = F_1 = a \frac{(p_{m1})^b (p_{m2})^c}{z_1^n} = a \frac{p_m^{2b}}{z_1^n}, \quad (1)$$

$$2) \quad 2mg = F_2 = a \frac{(p_{m1})^b (p_{m2} + p_{m3})^b}{z_2^n} = a \frac{2^b p_m^{2b}}{z_2^n} \quad (2)$$

$$3) \quad mg = F_3 = a \frac{(p_{m1})^b (p_{m2} + p_{m3})^b}{z_3^n} = a \frac{2^b p_m^{2b}}{z_3^n} \quad (3)$$

$$4) \quad \begin{cases} mg = F_4 = a \left(\frac{(p_{m1})^b (p_{m2})^b}{z_4^n} - \frac{(p_{m2})^b (p_{m3})^b}{z_5^n} \right) = ap_m^{2b} \left(\frac{1}{z_4^n} - \frac{1}{z_5^n} \right) \\ mg = F_5 = a \left(\frac{(p_{m2})^b (p_{m3})^b}{z_5^n} - \frac{(p_{m1})^b (p_{m3})^b}{(z_4 + z_5)^n} \right) = ap_m^{2b} \left(\frac{1}{z_5^n} - \frac{1}{(z_4 + z_5)^n} \right) \end{cases} \quad (4)$$

Из (1) и (2) и равенства $z_1 = z_2 = 3.1 \text{ см}$ следует, что $b = 1$.

Из (1) и (3) получаем:

$$mg = a \frac{p_m^2}{z_1^n} = a \frac{2p_m^2}{z_3^n}, \quad \left(\frac{z_3}{z_1} \right)^n = 2, \quad n \ln \left(\frac{z_3}{z_1} \right) = \ln 2, \quad n = \frac{\ln 2}{\ln \left(\frac{z_3}{z_1} \right)} = \frac{\ln 2}{\ln \left(\frac{3.7 \text{ см}}{3.1 \text{ см}} \right)} \approx 3.92 \approx 4.$$

Из (4) следует

$$\frac{1}{z_4^4} - \frac{1}{z_5^4} = \frac{1}{z_5^4} - \frac{1}{(z_4 + z_5)^4}, \quad \frac{1}{z_4^4} = \frac{2}{z_5^4} - \frac{1}{(z_4 + z_5)^4}$$

$$z_5^4 (z_4 + z_5)^4 = 2z_4^4 (z_4 + z_5)^4 - z_4^4 z_5^4$$

Из (1) и (5) следует $mg = a \frac{p_m^2}{z_1^4}, \quad \frac{z_1^4 mg}{a} = p_m^2, \quad p_m = \sqrt{\frac{z_1^4 mg}{a}}.$

Массу магнита найдем путем взвешивания на весах линейки или трубки с двумя магнитами по краям, а затем вычитания массы трубки и деления на 2.

$$p_m = \sqrt{\frac{(3.2 \cdot 10^{-2} \text{ м})^4 \cdot 1.27 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 9.8 \text{ м/с}^2}{6 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}}} \approx 0.15 \text{ А} \cdot \text{м}^2$$

Разбалловка:

- | | |
|--|---------|
| 1. Описан метод определения показателей степеней | 2 балла |
| 2. Получены формулы для определения показателей степеней | 2 балла |
| 3. Найдены значения показателей степеней | 2 балла |
| 4. Определена масса магнита | 2 балла |
| 5. Найдено значение магнитного момента | 2 балла |
| 6. Оценена погрешность | 2 балла |