

Задания экспериментального тура IV этапа Всеукраинской олимпиады по физике
11 класс

Задача 1
Оборудование

Индивидуальное

- штатив с горизонтально закрепленным стержнем;
- печенье овсяное - 2 шт.;
- лазерный диск с тремя отверстиями по периметру;
- линейка;
- отрезок медной проволоки диаметром 0,45 мм и длиной 0,7-1 м;
- две монеты по 5 копеек (масса монеты 4,30 г).

Групповое

- часы с большой секундной стрелкой (2-3 на группу).

Задание

1. Изготовьте крутильный маятник, подвесив лазерный диск горизонтально на медной проволоке.
2. Пользуясь предоставленным оборудованием определите момент инерции I овсяного печенья относительно оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно плоскости печенья.
3. Определите массу печенья.
4. Определите модуль упругости меди для деформации сдвига G .

Теоретическая справка

Момент инерции тела относительно некоторой оси характеризует его инертность при вращательном движении вокруг этой оси. Произведение углового ускорения тела на его момент инерции равен суммарному моменту сил, действующих на тело: $M = I \cdot \varepsilon$.

Это уравнение выражает второй закон Ньютона для вращательного движения.

Момент инерции тела зависит не только от массы тела, но и от его формы и размеров, а также от положения оси вращения. Так, момент инерции материальной точки массы m равен mr^2 , где r - расстояние от оси вращения. Момент инерции однородного диска массы m и радиуса r относительно оси, проходящей через центр перпендикулярно плоскости диска, составляет $mr^2/2$.

Теорема Штейнера: момент инерции тела относительно произвольной оси равен сумме момента инерции тела относительно параллельной оси, проходящей через его центр масс, и произведения массы тела на квадрат расстояния между этими осями.

Из теории упругости известно, что при *деформации закручивания* момент силы, необходимый для закручивания цилиндрического стержня радиусом r и длиной l на угол φ , может быть рассчитан по формуле

$$M = G \cdot \frac{\pi r^4}{2l} \cdot \varphi,$$

где G - модуль упругости материала стержня для деформации сдвига.

Задача 2
Оборудование

Индивидуальное

- стаканчик на 80 мл;
- пипетка;
- фильтровальная бумага;
- полоска прозрачного пластика;
- источник постоянного напряжения на 9 В;
- вольтметр на 6 В с внутренним сопротивлением 6 кОм;
- резистор на 1 кОм;
- линейка;
- соединительные провода;
- миллиметровка;
- пластилин;
- скрепки канцелярские.

Групповое

- раствор сернокислого натрия водный 10% с добавлением фенолфталеина – 1 л;
- часы с большим циферблатом и секундной стрелкой 2 на группу;
- ножницы – 5 на группу.

Задание

Предложите методику определения дрейфовой скорости ионов гидроксидов.

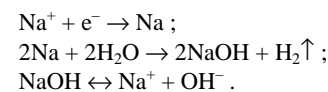
Рассчитайте подвижность ионов гидроксидов и их радиус.

Проанализируйте полученные результаты и сравните рассчитанный радиус с характерным размером молекулы воды.

Справочные данные: коэффициент вязкости воды при комнатной температуре составляет $1,0 \cdot 10^{-3}$ Па·с

Теоретическая справка

При пропускании электрического тока через раствор сернокислого натрия на катоде происходит выделение металлического натрия, который, взаимодействуя с водой, образует гидрат окиси натрия:



Ионы гидроксидов обнаруживаются с помощью фенолфталеина по фиолетовой окраске раствора. Под действием внешнего электрического поля ионы дрейфуют от катода к аноду, следовательно, область фиолетовой окраски распространяется в направлении от катода к аноду со скоростью дрейфа ионов.

Подвижность ионов μ представляет собой отношение скорости их дрейфа v во внешнем поле к напряженности E этого поля.

Сила вязкого трения шарика, равномерно движущегося в жидкости, определяется по формуле Стокса:

$$F = 6\pi\eta r v,$$

где η - коэффициент вязкости, r - радиус шарика, v - его скорость.

В отчетах к обеим задачам приведите:

- теоретическое обоснование предложенной Вами экспериментальной методики;
- план проведения измерений;
- меры, которые Вы предприняли для обеспечения наименьшей погрешности измерений;
- таблицу с исходными данными, промежуточными и окончательными результатами;
- оценку погрешности измерений.

11 клас, задача № 1

Теоретичне обґрунтування експериментальної методики дослідження

Під крутильним маятником розуміють конструкцію, що являє собою тіло, підвішене на вертикальній дротині. Передбачається, що вибір точки підвісу і розподіл маси тіла дають можливість забезпечити вертикальність підвісу під час крутильних коливань системи.

Період крутильних коливань $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{\chi}}$, де I — момент інерції тіла відносно осі обертання, χ — коефіцієнт пропорційності у формулі для моменту сили $M = \chi\varphi$.

Згідно з умовою задачі $\chi = G \frac{\pi r^4}{2l} = G \frac{\pi d^4}{32l}$, де $d = 0,45$ мм — діаметр дротини.

Розглянемо випадки:

1) Лазерний диск разом із дротяним кріпленням, яке забезпечує його горизонтальність і можливість подальшого «завантаження» печивом і монетками — відповідний момент інерції позначимо I_0 .

2) Лазерний диск разом із дротяним кріпленням та двома монетками, розташованими на краю диска симетрично відносно його центра. Центри монеток — на відстанях a_M від центра диска, радіуси монеток r_M , монетки дають вклад у момент інерції $I_M = 2m_M(\frac{r_M^2}{2} + a_M^2)$.

3) Лазерний диск + кріплення + одне печиво в центрі диска. Момент інерції дорівнює $I_0 + I_n$.

4) Лазерний диск + кріплення + два печива, розташованих симетрично відносно центра диска. Печива дають вклад у момент інерції $2I_n + 2m_n a_n^2$.

Для всіх 4 випадків маємо схожі рівняння, записані у зручній для подальших перетворень формі:

$$\frac{\chi}{4\pi^2} T_0^2 = I_0, \quad (1)$$

$$\frac{\chi}{4\pi^2} T_M^2 = I_0 + I_M, \quad (2)$$

$$\frac{\chi}{4\pi^2} T_1^2 = I_0 + I_n, \quad (3)$$

$$\frac{\chi}{4\pi^2} T_2^2 = I_0 + 2I_n + 2m_n a_n^2. \quad (4)$$

Звідси легко отримати вирази для шуканих величин через вимірювані періоди коливань та величини $a_{\text{п}}$, $I_{\text{М}}$. Нагадаємо, що $I_{\text{М}} = 2m_{\text{М}}(\frac{r_{\text{М}}^2}{2} + a_{\text{М}}^2)$, де за умовою $m_{\text{М}} = 4,30$ г.

$$I_{\text{п}} = I_{\text{М}} \frac{T_1^2 - T_0^2}{T_{\text{М}}^2 - T_0^2},$$

$$m_{\text{п}} = I_{\text{М}} \frac{T_2^2 + T_0^2 - 2T_1^2}{2a_{\text{п}}^2(T_{\text{М}}^2 - T_0^2)}.$$

З тих самих рівнянь можна знайти χ , а отже й шуканий модуль $G = \frac{32l\chi}{\pi d^4}$.

Остаточно маємо $G = \frac{128\pi I_{\text{М}}}{d^4(T_{\text{М}}^2 - T_0^2)}$.

Члени журі отримали такі значення:

$$I_{\text{п}} = (1,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

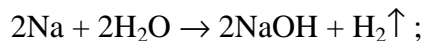
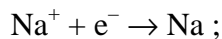
$$m_{\text{п}} = (2,9 \pm 0,3) \cdot 10^{-2} \text{ кг};$$

$$G = (3,0 \pm 0,5) \cdot 10^{10} \text{ Па}.$$

Завдання №2 11 клас

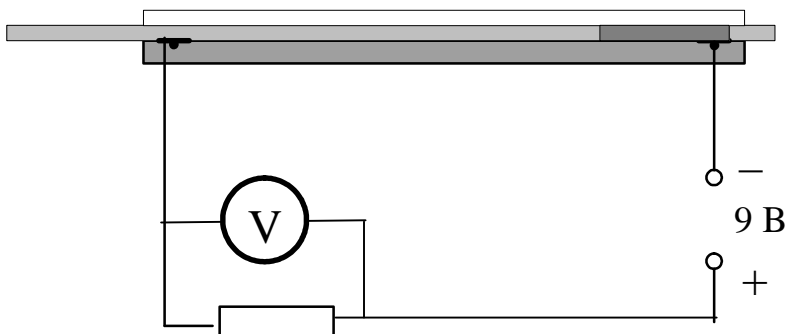
Дослідження дрейфу йонів гідроксила в зовнішньому електричному полі

1. При пропусканні електричного струму через розчин сірчанокислого натрію на катоді відбувається виділення металевого натрію, який, взаємодіючи з водою, утворює гідрат окислу натрію.



Йони гідроксилау виявляються за допомогою фенолфталеїну по фіолетовому забарвленню розчину. Під дією зовнішнього електричного поля йони дрейфують від катода до анода, отже, область фіолетового забарвлення розповсюджується в напрямі від катода до анода із швидкістю дрейфу йонів.

Варіант схеми вимірювальної установки для дослідження дрейфу йонів приведено на малюнку.



Для того, щоб розчин, яким просочений фільтрувальний папір, не висихав, на ньому за допомогою скріпок кріпиться смужка прозорого пластика, а кінець смужки фільтрувального паперу в ході експерименту поміщається в стаканчик з розчином.

2. Для визначення дрейфової швидкості йонів гідроксила за допомогою масштабної лінійки фіксуємо через певні проміжки часу t положення межі x фіолетового забарвлення розчину. Визначаємо швидкість дрейфу йонів.

3. Напруженість поля визначаємо як відношення різниці потенціалів між скріпками на відстань між ними (попередньо пересвідчуємося в однорідності електричного поля у смужці).

Для знаходження сили струму в колі враховано той факт, що струм повного відхилення стрілки вольтметра становить 1 мА, а паралельно до нього ввімкнута резистор з опором в 6 разів меншим, Таким чином, повному відхиленню стрілки вольтметра відповідає струм у колі 7 мА.

4. Для оцінки радіусу йонів r вважатимемо їх за кульки, що рухаються у в'язкому середовищі (воді) під дією електричної сили. Користуючись формулою Стокса, можемо записати

$$Eq = 6\pi\eta r v; \quad v = \mu E; \quad \text{звідки} \quad r = \frac{q}{6\pi\eta\mu} \dots$$

При обробці результатів експерименту було отримано:

Дрейфова швидкість йонів $1.3 \cdot 10^{-5}$ м/с

Рухливість йонів $3.5 \cdot 10^{-8}$ м²/(В·с)

Радіус йонів $2.4 \cdot 10^{-10}$ м