

## Вступ

Освітній стандарт і програма шкільного курсу фізики передбачають оволодіння учнями методологічними навиками. Саме для цього на уроках фізики учні виконують експериментальні завдання.

Експериментальні завдання з фізики можна розділити на дві групи за учбовими цілями. Зміст завдань першої групи відповідає стандартним шкільним лабораторним роботам. Тут мету проведення занять можна сформулювати таким чином:

навчити учнів умінню спостерігати фізичні явища і виявляти в них істотні ознаки і характеристики;

прищепити первинні навички користування простими вимірювальними приладами;

виховати строгу технологічну дисципліну у виконанні заданого алгоритму дій;

навчити веденню протокольних записів, початковій математичній обробці і представленню результатів вимірювань.

Другу групу утворюють творчі роботи, в яких учням потрібно:

розробити і обґрунтувати методику виконання завдань з урахуванням наявного набору обладнання і матеріалів;

продумати послідовність виконання завдань і скласти план дій;

розробити теорію і методику вимірювань в нестандартних умовах;

розробити таблиці для протокольних записів і математичної обробки експериментальних результатів;

у необхідних випадках представити результати в графічній формі;

оцінити точність результатів вимірювань і дати аргументований висновок.

Такі задачі типові для експериментального туру учнівських фізичних олімпіад.

У сьогоdnішній методиці проведення лабораторних робіт, починаючи з молодших і закінчуючи випускними класами, переважає детально алгоритмізований стиль, коли всі дії учня строго регламентовані. Якщо для початкового навчання фізиці це допустимо, більш того, необхідно, то в подальших класах така форма проведення робіт гальмує розвиток самостійності. Хід виконання роботи учень повинен продумати самостійно, скласти план послідовних дій від ідеї до завершення роботи. Одних лабораторних занять для формування навичок експериментування явно недостатньо. Необхідно практикувати домашні завдання, що передбачають проведення спостережень або експериментальних вимірювань і досліджень, експериментальні задачі на уроках. Експериментальні задачі - це маленькі дослідження. Тут учень сам повинен висунути ідею експерименту і теоретично її обґрунтувати. Потім він повинен спланувати експеримент, з максимально можливою ретельністю провести необхідні вимірювання і обробити їх. Крім того, необхідно оцінити похибки вимірювань, представити результат вимірювань і зробити

висновки. Саме такі задачі пропонуються учасникам експериментального туру фізичних олімпіад.

При виконанні експериментальних задач набір вимірювальних приладів звичайно обмежений: лінійка, рулетка, мірний циліндр, ручний секундомір і т.д. При цьому, якщо, наприклад, ставиться задача виміряти товщину дроту за допомогою лінійки, то не можна скористатися при цьому точнішим приладом - штангенциркулем або мікрометром.

Учні повинні знати критерії і норми, за якими оцінюється якість виконання експериментального завдання. Їм можна показати як приклад наступну таблицю.

| Показник                                                                                                  | Бали |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Формулювання ідеї, або варіантів ідеї експерименту і їх теоретичне обґрунтування, логічна структура опису | 3    |
| Кількість і якість проведених вимірювань                                                                  | 2    |
| Обчислення з врахуванням правил округлення                                                                | 1    |
| Оцінка абсолютної і відносної похибки вимірювання                                                         | 1    |
| Форма представлення результатів (таблиці, графіки, схеми)                                                 | 1    |
| Формулювання висновків, їх обґрунтування                                                                  | 2    |
| Всього:                                                                                                   | 10   |

Завдання експериментатора під час розв'язування задач розбивається на частини. У першій з них вирішується технічна проблема - розробка теорії і методики досліджень і їх матеріальне, технічне забезпечення. Друга неодмінна частина - оцінка точності і надійності результатів спостережень і вимірювань. Тільки після завершення цієї частини можна формулювати висновок, обов'язковою вказавши межі достовірності результату. Наприклад, збільшуючи масу вантажу в нитяному маятнику, учень одержав наступну трійку періодів: 1,775, 1,750 і 1,740 секунд. Аналізуючи результати, він заявляє, що «із збільшенням маси маятника спостерігається закономірне зменшення періоду коливань». Проте, оцінивши похибки вимірювань (вони складають 3%), він відмовився від свого «відкриття», і у висновку вказав, що в межах похибки залежність періоду коливань нитяного маятника від маси не знайдена. При цьому він одержав наочний урок, коли три різні числа (1,775, 1,750 і 1,740) слід вважати рівними, а закономірна зміна результатів експерименту - простою випадковістю.

## Вимірювання, похибки, обчислення

Розв'язуючи експериментальні задачі, проводячи вимірювання, потрібно вміти аналізувати результати, робити висновки. Оскільки всі вимірювання проводяться з певною точністю, їх результат завжди наближений. Тому після досліджень потрібно знати ступінь достовірності одержаного результату.

Різницю між дійсним значенням шуканої величини і одержаним результатом  $a_{\text{досл}}$  називають *абсолютною похибкою*, яка позначається  $\Delta a$ . Якщо значення фізичної величини знаходять безпосередньо засобами вимірювання (вагу – динамометром, напругу – вольтметром), таке вимірювання називають *прямим*. Якщо ж фізичну величину знаходять за формулою, що пов'язує її з іншими фізичними величинами, які визначають прямим вимірюванням

(швидкість рівномірного руху за формулою  $v = \frac{S}{t}$ , де шлях вимірюють лінійкою, а час– секундоміром), то таке вимірювання називають *посереднім*.

Результат вимірювань величини  $a$  записується так:  $a = a_{\text{досл}} \pm \Delta a$ , де  $a_{\text{досл}}$  – значення фізичної величини, знайдене за допомогою прямих або посередніх вимірювань,  $\Delta a$  – абсолютна похибка вимірювань.

Похибка вимірювань у шкільних умовах зазвичай визначається *інструментальною похибкою* вимірювального приладу  $\Delta_a$ , *похибкою відліку* –  $\Delta_v$  а та *випадковою похибкою*  $\Delta_{\text{вип}}$   $a$ :  $\Delta a = \Delta_a + \Delta_v + \Delta_{\text{вип}}$  (1).

**Інструментальні похибки** зазначають у паспорті приладу або на їх шкалах. У нижче наведеній таблиці вказано інструментальні похибки вимірювальних засобів, які часто використовуються при виконанні експериментальних завдань.

| № п/п | Засоби вимірювань      | Границя вимірювань | Ціна поділки (крок дискретизації) | Абсолютна інструментальна похибка |
|-------|------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1     | Лінійка учнівська      | До 50 см           | 1 мм                              | $\pm 1$ мм                        |
| 2     | Стрічка вимірювальна   | 150 см             | 5 мм                              | $\pm 5$ мм                        |
| 3     | Лінійка демонстраційна | 1 м                | 1 см                              | $\pm 0,5$ см                      |
| 3     | Мензурка               | До 250 мл          | 1 мл                              | $\pm 1$ мл                        |
| 4     | Динамометр навчальний  | 4 Н                | 0,1 Н                             | $\pm 0,05$ Н                      |
| 5     | Секундомір механічний  | 0-30 хв            | 0,2 с                             | $\pm 1$ с за 30 хв                |
| 6     | Секундомір електронний | 0-30 хв            | 0,1 с                             | $\pm 0,3$ с                       |
|       |                        |                    | 0,01 с                            | $\pm 0,03$ с                      |

Як бачимо абсолютна інструментальна похибка дорівнює або половині ціни поділки засобу або ціни поділки. Якщо вимірювальний засіб не зазначений у таблиці (наприклад медичний шприц), то інструментальну похибку доцільно брати такою, що дорівнює ціні поділки приладу.

Для визначення інструментальної похибки вимірного приладу необхідно знати його клас точності  $\gamma$ , який здебільшого зазначається на шкалах приладів цифрою, обведеною колом. Клас точності показує відсоток, який складає абсолютна інструментальна похибка від значення верхньої межі вимірювань за шкалою приладу. Так, якщо межа вимірювань амперметра 2 А, а на шкалі приладу вказано клас точності  $\gamma=4\%$ , то із співвідношення  $\gamma = \frac{\Delta_i I}{I_{\max}} \cdot 100\%$ , абсолютна інструментальна похибка

$$\text{дорівнює } \Delta_i I = \frac{\gamma \cdot I_{\max}}{100\%} = 0,08 \text{ А}.$$

**Похибка відліку** для цифрових приладів дорівнює нулю. Для інших вимірювальних засобів **похибка відліку** дорівнює нулю у випадку, коли вказівник приладу (рівень рідини в мензурці) збігається з штрихом шкали даного засобу.

Якщо ж значення вимірюваної величини не збігається з штрихом шкали, то за **похибку відліку** приймають її максимальне значення (**межу**), що дорівнює половині ціни поділки шкали вимірювального приладу (для механічного секундоміра ціни поділки).

При використанні набору тягарців абсолютна похибка складає 2 г на кожні 100 г маси.

Абсолютну похибку вимірювань зазвичай округлюють до однієї значущої цифри ( $\Delta a=0,028 \approx 0,03$ ). Якщо ж перша значуща цифра – одиниця, то допускається записувати дві значущі цифри, а інші відкидаються з округленням у більшу сторону.

У проміжних розрахунках допускається використовувати на одну-дві значущі цифри більше. Числове значення результату вимірювань округлюють так, щоб його остання цифра була в тому самому розряді, що й цифра похибки ( $a=7,143 \approx 7,14$ ).

Дуже часто не вдається уникнути певних похибок, пов'язаних з дією різних причин, вплив яких важко врахувати. Ці причини призводять до того, що результати повторних вимірювань за тих же умов відрізняються один від одного на величину, дещо більшу, ніж сума інструментальної похибки приладу і похибки відліку. Похибки, які виникають при цьому називають **випадковими**. Найпростішим шляхом зменшення таких похибок є проведення кількох вимірювань значень шуканої величини. Наприклад, якщо виконано  $n$  вимірювань і знайдено числові значення  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , то найбільш ймовірне значення вимірюваної величини дорівнює середньому арифметичному:

$$a_c = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}.$$

Мірою випадкових похибок є середнє квадратичне відхилення, яке називають стандартним

відхиленням і визначають із співвідношення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(a_1 - a_c)^2 + (a_2 - a_c)^2 + \dots + (a_n - a_c)^2}{n}}.$$

На практиці за випадкову похибку приймають її межу, яка дорівнює трьом стандартним відхиленням:  $\Delta_{\text{вип}} a = 3\sigma$ . Якщо ж вимірювання деякої фізичної величини за незмінних умов немає потреби проводити кілька разів, то випадкову похибку не обчислюють. В такому випадку рівняння (1) запишеться:

$$\Delta a = \Delta_a a + \Delta_b a \quad (2).$$

За відомою абсолютною похибкою можна визначити інтервал, в якому знаходиться дійсне значення шуканої величини. Наприклад, якщо довжина стола, виміряного лінійкою з ціною поділки 1 см, складає 90 см, то дійсне значення довжини знаходиться в інтервалі [89 см ; 91 см] (інструментальна похибка 0,5 см і вважаємо, що при вимірюванні не було збігу з штрихом шкали лінійки, то похибка відліку теж 0,5 см) і результат записується так:  $l = (90 \pm 1)$  см.

Абсолютна похибка теж не повністю характеризує точність вимірювання. Наприклад, абсолютна похибка 1 мм при вимірюванні тіла довжиною 10 м досить непогана, а при вимірюванні тіла довжиною декілька міліметрів досить суттєва.

Для оцінки точності вимірювань фізичної величини вводять *відносну* похибку, яку позначають символом  $\varepsilon$  (епсilon) і визначають з відношення абсолютної похибки до значення вимірюваної величини (як правило, вказують у відсотках):

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{a_{\text{досл}}} \cdot 100\%$$

Розрахунок відносних похибок посередніх вимірювань залежить від виду формули, за якою обчислюють вимірювану величину (див. таблицю).

| Вид формули              | Відносна похибка $\varepsilon$              |
|--------------------------|---------------------------------------------|
| $c = a \pm b$            | $\frac{\Delta a + \Delta b}{a \pm b}$       |
| $c = a \cdot b$          | $\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$   |
| $c = \frac{a}{b}$        |                                             |
| $c = a^n \cdot \sqrt{b}$ | $\frac{n\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{2b}$ |

Використовуючи дану таблицю можна навести приклади обчислення відносної похибки під час непрямих вимірювань

**Наприклад:**

1. В задачі № 5 даного збірника під час знаходження діаметра поршня медичного шприца отримана робоча формула  $d = \sqrt{\frac{4V}{\pi h}}$ . Відносна похибка

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{2V} + \frac{\Delta h}{2h}.$$

2. В задачі № 91 даного збірника під час знаходження атмосферного тиску отримана робоча формула  $p_a = \frac{\rho g h l_2}{l_1 - l_2}$ . Відносна похибка

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta l_2}{l_2} + \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{l_1 - l_2}.$$

3. В задачі № 28 даного збірника під час знаходження сили отримана робоча формула

$$F_{\min} = \frac{m_m l_2 g \sqrt{dh - h^2}}{l_1 d}, \text{ де } m_m - \text{відома маса монети. Відносна похибка}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_2}{l_2} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta h}{2h} + \frac{\Delta d + \Delta h}{2(d - h)}.$$

Порядок знаходження результату при непрямих вимірюваннях фізичної величини такий:

- дослідне значення величини  $a_{\text{досл}}$  визначають за формулою, що пов'язує дану величину з іншими величинами, значення яких виміряно безпосередньо приладами;
- знаходять абсолютну похибку прямих вимірювань за формулою (1) або (2);
- знаходять відносну похибку вимірювань за відповідною формулою (див. таблицю);

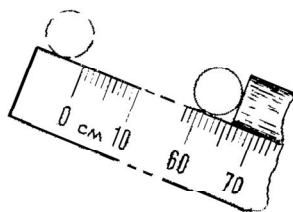
- з формули  $\varepsilon = \frac{\Delta a}{a_{\text{досл}}}$  визначають абсолютну похибку:  $\Delta a = a_{\text{досл}} \cdot \varepsilon$ ;

- записують результат, вказуючи абсолютну похибку:  $a = a_{\text{досл}} \pm \Delta a$ ;

- записують інтервал, в якому знаходиться значення фізичної величини:

$$[a_{\text{досл}} - \Delta a; a_{\text{досл}} + \Delta a].$$

Розглянемо як приклад визначення середньої швидкості руху кульки.



$S = 0,66$  м; Учень провів 5 дослідів і одержав значення часу за допомогою електронного секундоміра:  $t_1 = 1,21$  с,  $t_2 = 1,20$  с,  $t_3 = 1,18$  с,  $t_4 = 1,21$  с,  $t_5 = 1,22$  с.  $\Delta S = \Delta_i S + \Delta_e S$ .  $\Delta_i S = 0,5$  см;  $\Delta_e S = 0$ , оскільки значення довжини збігається з штрихом лінійки. Випадкова похибка при вимірюванні довжини відсутня. Отже  $\Delta S = 0,005$  м. Середнє значення часу руху  $t_c = 1,204$  с  $\approx 1,2$  с. Середнє квадратичне відхилення  $\sigma \approx 0,01$  с, а межа випадкової похибки  $\Delta_{\text{вип}} t = 0,03$  с. Тоді  $\Delta t = \Delta_i t + \Delta_e t + \Delta_{\text{вип}} t$ ;  $\Delta_i t = 0,03$  с;  $\Delta_e t = 0$ , оскільки секундомір електронний. Отже  $\Delta t = 0,06$  с.

$$v = \frac{S}{t} = \frac{0,66 \text{ м}}{1,2 \text{ с}} = 0,55 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \varepsilon = \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta t}{t} = \frac{0,005}{0,66} + \frac{0,06}{1,2} = 0,06.$$

$\Delta v = v \cdot \varepsilon \approx 0,03$  м/с. Отже, значення швидкості  $v = (0,55 \pm 0,03)$  м/с, тобто лежить в інтервалі  $[0,52 \text{ м/с}; 0,58 \text{ м/с}]$ .

Є ще один досить простий і наочний метод оцінки похибок – метод меж. При цьому методі з одержаних результатів прямих вимірювань кожної з величин беруть два значення: одне – якнайменше (явно менше за істинне), яке називається нижньою межею величини (НМ), інше – найбільше (явно більше за істинне), яке називається верхньою межею (ВМ). Між цими межами знаходиться істинне значення шуканої величини. В цьому випадку за виміряне значення величини  $x$  приймають півсуму меж, як середнє арифметичне значення її нижньої і верхньої межі:  $x = \frac{1}{2}(HM + VM)$ , а за

величину абсолютної похибки – піврізницю цих меж  $\Delta x = \frac{1}{2}(VM - HM)$ .

Приклад. Вимірюється прискорення руху тіла, що зісковзує без початкової швидкості з похилої площини. При цьому користуються формулою:

$$a = \frac{2S}{t^2}. \text{ Довжина похилої площини виміряна рулеткою з сантиметровими}$$

поділками:  $S = 120,0 \pm 0,5$  см. Час зісковзування виміряний ручним секундоміром:  $t = 2,4 \pm 0,1$  с. (вимірювання було проведене один раз).

Знаходимо НМ і ВМ прискорення, підбираючи числові значення довжини і часу так, щоб отримати найменше і найбільше його значення:

$$a_{\text{НМ}} = \frac{2 \cdot 1,195}{2,5^2} = 0,3824 \approx 0,38 \text{ м/с}^2; a_{\text{ВМ}} = \frac{2 \cdot 1,205}{2,3^2} = 0,4556 \approx 0,46 \text{ м/с}^2;$$

Наближене значення виміряного прискорення дорівнює середньому арифметичному значенню:  $a = 0,42 \text{ м/с}^2$ , абсолютна похибка цього непрямого вимірювання:  $\Delta a = 0,04 \text{ м/с}^2$ .

Результат вимірювання представляємо у вигляді:

$$a = 0,42 \pm 0,04 \text{ м/с}^2, \varepsilon = 9,5\%.$$

У наведеному прикладі відносна похибка вимірювання довжини похилої площини складає лише  $\varepsilon = \frac{0,5}{120} \cdot 100\% = 0,4\%$ . Тому для її вимірювання

цілком підходить рулетка. Очевидно, що основний внесок в загальну похибку вимірювання прискорення вносить похибка вимірювання часу.

Знаючи співвідношення похибок вимірювання різних величин для непрямого вимірювання, можна зробити оптимальний вибір приладів для проведення експерименту. У нашому прикладі, слід подумати про застосування електронних датчиків для вимірювання часу.

Якщо в роботі необхідно визначити значення відомих (табличних) величин, зручно провести порівняння отриманих значень з табличними

за формулою:  $\varepsilon = \left| \frac{a_{\text{табл.}}}{a_{\text{досл.}}} - 1 \right| \cdot 100\%$ , де  $\varepsilon$  - величина, яка є оцінкою якості

вимірювань і показує відхилення значення, знайденого експериментально, від табличного

Коли перевіряють закономірності, що мають вигляд  $a=b$ , то ознакою правильності цього співвідношення є перетин інтервалів  $[a \pm \Delta a]$  і  $[b \pm \Delta b]$ .

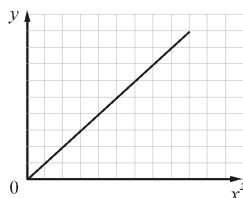
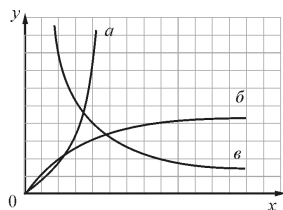
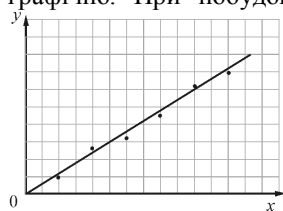
Якщо підрахунок абсолютних похибок викликає труднощі, можна обчислити відхилення відношення  $a/b$  від 1. Величина  $\varepsilon = \left| \frac{a}{b} - 1 \right| \cdot 100\%$  дає можливість

зробити висновок про якість експериментальної перевірки рівності  $a=b$ .

Часто підсумки експерименту відображають графічно. При побудові графіка слід пам'ятати, що на координатних осях відкладають не конкретне значення з координатами  $(x, y)$ , а область (зі сторонами  $2\Delta x$  і  $2\Delta y$ ), що враховує відхилення цих значень з урахуванням похибок, тому лінію графіка треба проводити через ці області. У випадках, коли на координатних осях не відкладають похибку величин, графік проводять у вигляді плавної лінії, яка якнайближче проходить біля відмічених точок.

В багатьох випадках, якщо графік має вигляд однієї з кривих ліній, зображених на малюнку, для встановлення функціональної залежності між досліджуваними величинами часто будують графік, відкладаючи на осі абсцис не  $x$ , а  $x^2$  (для випадку а),  $\sqrt{x}$  (для випадку б) і  $\frac{1}{x}$  або  $\frac{1}{\sqrt{x}}$  (для

випадку в). Тоді, якщо залежність параболічна (випадок а), графік має вигляд прямої лінії. За цих умов можна стверджувати, що величина  $y$  прямо пропорційна до  $x^2$ .





## Експериментальні задачі

### Фізичні величини. Найпростіші вимірювання

1. (2008 р. III етап. 8 клас). Визначити відношення діаметрів олівця і трубки.

*Обладнання:* олівець, трубка, листок паперу в клітинку.

2. (2010 р. III етап. 8 клас). Визначити об'єм CD-диска.

*Обладнання:* два CD-диски, міліметровий папір.

3. (2011 р. III етап. 8 клас). Визначити об'єм пасти в стрижні кулькової ручки.

*Обладнання:* стрижень з пастою для кулькової ручки, міліметровка, ножиці.

4. Визначити відношення діаметрів шапки гвіздка і його ніжки

*Обладнання:* гвіздок, аркуш в клітинку, шматок фольги.

5. Визначити діаметр основи поршня медичного шприца

*Обладнання:* медичний шприц, лінійка

6. Визначити місткість посудини неправильної форми

*Обладнання:* посудина неправильної форми, смужка міліметрового паперу, циліндрична пластикова пляшка з відрізанім верхом, посудина з водою.

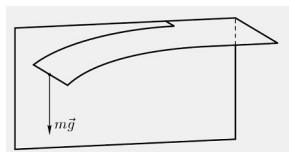
7. (2009 р. III етап. 8 клас). Визначити густину сиру.

*Обладнання:* шматок сиру, міліметровий папір.

8. Визначити густину невідомої рідини.

*Обладнання:* терези з латунними різноважками, пластиковий стакан, посудина з невідомою рідиною.

9. Виготовте з картону пружинні терези. Один з можливих варіантів виготовлення терезів наведений на малюнку. Визначити за допомогою терезів масу скріпки.



*Обладнання:* листок картону, листок офісного паперу формату A4 з поверхневою густиною  $80 \text{ г/м}^2$ , ножиці, лінійка, скріпка, смужка міліметрового паперу, степлер (один на клас).

10. (2014 р. III етап. 8 клас). На фото зображено годинник у масштабі 1:3. Визначити період обертання, частоту обертання та лінійну швидкість кінців годинної та секундної стрілок.

*Обладнання:* фотографія годинника, лінійка.



11. (2014 р. III етап. 10 клас). На фото зображено частину годинника у масштабі 1:2. Визначити період обертання, частоту обертання, кутову швидкість зображеної секундної стрілки, лінійну швидкість та доцентрове прискорення її кінця.

*Обладнання:* фотографія частини годинника, лінійка, транспортер.



### **Умови рівноваги. Важіль.**

**12.** (2006 р. III етап. 8 клас). Визначити відношення мас 5-копійкової та 2-копійкової монети.

*Обладнання:* монети, лінійка.

**13.** (2007 р. III етап. 8 клас). Визначити масу лінійки.

*Обладнання:* аркуш паперу, наклейка з пачки, з якої взято цей аркуш, лінійка, нитки.

**14.** (2010 р. III етап. 8 клас). Визначити масу листка міліметрового паперу

*Обладнання:* аркуш міліметрового паперу, тягарець відомої маси.

**15.** (2008 р. III етап. 8 клас). Визначити густину пластиліну

*Обладнання:* лінійка, нитки, шматок пластиліну, тягарець відомої маси.

**16.** (2014 р. III етап. 8 клас). Визначити густину міліметрового паперу.

*Обладнання:* листок міліметрового паперу, монета 10 коп (маса монети 1,7 г), ножиці, штангенциркуль.

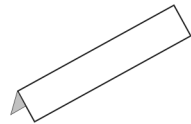
**17.** (2007 р. III етап. 9 клас). Визначити масу медичного шприца.

*Обладнання:* шприц, посудина з водою, нитки.

**18.** (2011 р. III етап. 8-11 клас). Визначити масу смужки міліметрового паперу

*Обладнання:* смужка міліметрового паперу, смужка офісного паперу, наклейка з пачки, з якої взято аркуш офісного паперу, де вказана поверхнева густина паперу.

*Примітка:* поверхнева густина вказує масу  $1 \text{ м}^2$  паперу.



**Змінювати форму смужок паперу забороняється.**

**19.** (2013 р. III етап. 10 клас). Визначити об'єм гвинта.

*Обладнання:* гвинт, гайка, посудина з водою, балон від шприца, пластилін, смужка міліметрового паперу, нитки.

*Примітка:* гвинт і гайка виготовлені з однакового матеріалу.

**20.** (2012 р. III етап. 8,9 клас). Визначити площу однорідної картонки неправильної форми.

*Обладнання:* картонка неправильної форми, ножиці, лінійка, нитки.

*Примітка:* **Різати картонку дозволяється**

**21.** (2006 р. III етап. 11 клас). Визначити довжину пластилінового корка, який знаходиться в трубці. Відомо, що корок суцільний і його довжина менша за половину довжини трубки.

*Обладнання:* трубка з пластиліновим корком, пластилін, нитка, лінійка, штатив.

**22.** Визначити процентний вміст (по масі) олова у свинцево-олов'яному припої. Вважати, що об'єми свинцю і олова у сплаві зберігаються.

*Обладнання:* циліндричний шматок припою, лінійка, штангенциркуль, монета відомої маси.

**23.** Визначити густину піску.

*Обладнання:* сухий пісок, два медичні шприци 20 мл та 5 мл, лінійка, важок відомої маси (10г), нитки, вода, шматок пластиліну.

**24.** Визначити масу тіла зважуванням на незрівноважених терезах.

*Обладнання:* незрівноважені терези, зрівноважувати які забороняється, важки, тіло.

**25.** (2009 р. III етап. 9 клас). Визначити центр маси пластинки неправильної форми.

*Обладнання:* пластинка неправильної форми, булавка, нитки, пластилін, лінійка.

**26.** (2012 р. III етап. 10,11 клас). Опишіть якомога більше способів визначення центра маси однорідної картонки, у вигляді букви Г. Визначте центр маси цієї картонки.

*Обладнання:* картонка, лінійка, ручка, кнопка, нитки, шматок пластиліну.

**27.** Визначити за допомогою динамометра масу книжки, вага якої більша за межу вимірювання динамометра, однак не більша, ніж вдвічі.

*Обладнання:* динамометр, книжка, нитка.

**28.** Визначити мінімальну силу, яку треба прикласти до кульки, щоб відірвати її від столу і викотити на пластинку.

*Обладнання:* кулька, пластинка, монета відомої маси, лінійка, скотч, штангенциркуль.

**29.** Визначити масу сірникової коробки.

*Обладнання:* сірникова коробка, дві монети, смужка міліметровки, аркуш паперу.

*Вказівка:* густину сплаву монети вважати відомою.

### **Тиск рідин. Архімедова сила**

**30.** (2007 р. III етап. 8 клас). Залізний (латунний) циліндр покритий пластиліном. Визначити масу циліндра. Пластилін з циліндра знімати не можна. Густина пластиліну  $1,28 \text{ г/см}^3$ , заліза -  $7,8 \text{ г/см}^3$  (латуні -  $8,5 \text{ г/см}^3$ ).

*Обладнання:* циліндр, покритий пластиліном, посудина з водою, динамометр.

**31.** (2009 р. III етап. 8 клас). Визначити густину твердого тіла та густину невідомої рідини.

*Обладнання:* динамометр, тверде тіло, посудина з водою, посудина з невідомою рідиною.

**32.** Визначити густину пластиліну.

*Обладнання:* шматок пластиліну, мензурка з водою, посудина з водою, пластиковий стаканчик.

**33.** Визначити густину невідомої рідини.

*Обладнання:* посудина з невідомою рідиною, посудина з водою, шприц, пластилін.

**34.** Визначити густину невідомої рідини.

*Обладнання:* посудина з невідомою рідиною, посудина з водою, мензурка, дерев'яний брусок малих розмірів.

**35.** Визначити густину невідомої рідини.

*Обладнання:* посудина з невідомою рідиною, посудина з водою, динамометр, металевий тягарець з гачком.

**36.** Визначити густину речовини, з якої виготовлено брусок.

*Обладнання:* дерев'яний брусок, посудина прямокутної форми з водою, скляна паличка, лінійка.

**37.** (2008 р. III етап. 10 клас). Визначити густину соляного розчину.

*Обладнання:* посудини з водою та соляним розчином, шматок пластиліну, трубочка для коктейлю, ножиці, лінійка.

**38.** (2012 р. III етап. 9 клас). Визначити густину олії.

*Обладнання:* посудина з водою, скляна трубка, шприц з олією, мірна стрічка.

**39.** (2011 р. III етап. 9 клас). Визначити густину циліндричного тіла

*Обладнання:* циліндричне тіло, склянка з водою, динамометр із закlesною шкалою, лінійка.

**40.** (2006 р. III етап. 8,9 клас). У „чорну посудину” з водою опущено на нитці циліндричне тіло. Визначити густину тіла та його висоту.

*Обладнання:* „чорна посудина” з водою, в яку опущене тіло на нитці, повністю занурене у воду, лінійка, динамометр.

**41.** Визначити густину картоплини.

*Обладнання:* картоплина середніх розмірів, банка з водою, мензурка, пакетики кухонної солі по 5 г, скляна паличка.

**42.** (2007 р. III етап. 10 клас). Визначити густину пластиліну.

*Обладнання:* посудина з водою, лінійка, шматок пластиліну, нитка.

**43.** (2013 р. III етап. 8 клас). Визначити густину матеріалу, з якого виготовлений тягарець.

**44.** (2010 р. III етап. 9,10 клас). Визначити масу лінійки

*Обладнання:* лінійка, шматок пластиліну, посудина з водою, нитка.

*Обладнання:* два однакові тягарці, лінійка, нитки, посудина з водою.

**45.** (2012 р. III етап. 10 клас). Визначити густину невідомої рідини

*Обладнання:* посудина з водою, посудина з невідомою рідиною, два тягарці, лінійка, нитки.

**46.** (2013 р. III етап. 9 клас). Визначити густини матеріалів, з яких виготовлені тягарці.

*Обладнання:* два тягарці однакового об'єму, виготовлені з різного матеріалу, лінійка, нитка, посудина з водою.

**47.** Визначити густину пластиліну, масу лінійки та густину крейди.

*Обладнання:* лінійка дерев'яна завдовжки 40 см, пластилін, шматок крейди, мірний стакан з водою, нитки.

*Шматок крейди бажано не мочити - може розвалитися.*

**48.** (2014 р. III етап. 9 клас). Визначити густину матеріалу кульки.

*Обладнання:* кулька на нитці, пластилін, відливна посудина, посудина з водою, порожня посудина, балон від шприца.

**49.** (2014 р. III етап. 10 клас). Визначити густину стержня.

*Обладнання:* стержень, посудина з водою, лінійка.

**50.** Визначити густину невідомої рідини.

*Обладнання:* посудина з невідомою рідиною, посудина з водою, лінійка, два однакових пластикових стаканчики, шприц.

**51.** Не опускаючи тіл в мензурку, визначте густину дерева і густину сплаву, з якого виготовлена деталь складної форми.

*Обладнання:* дерев'яний брусок, металева деталь, пластикова посудина, мензурка, пляшка з водою, тарілка, дві тонкі палички, нитки.

**52.** (2007 р. IV етап. 8,9 клас). Оцініть відсотковий масовий вміст олова та свинцю у наданому зразку сплаву.

*Обладнання:* нитки швацькі, посудина з водою, пластиковий стаканчик, лінійка учнівська, олівець круглий, сплав олова і свинцю.

**53.** Визначити відношення мас посудин.

*Обладнання:* дві прозорі посудини з скла, відро з водою, скотч, груша для переливання води.

**54.** (2011 р. IV етап. 8 клас). Виготовте прилад для визначення концентрації солі у водному розчині. Виміряйте концентрацію солі даного розчину.

*Обладнання:* пластилін, зубочистка, шматок корку, 8 г солі в колбі (колба в експерименті не використовується), міліметровий папір, стакан з водою, стакан порожній, посудина з розчином солі невідомої концентрації, мензурка, маркер.

*Довідка:* концентрація - відношення маси солі до маси води.

**55.** Визначити механічну роботу, яку необхідно виконати для того, щоб рівномірно підняти плаваючий в посудині олівець до рівня дотику нижнім його торцем поверхні води. Вважайте положення олівця вертикальним.

*Обладнання:* круглий олівець, майже повна пляшка з водою, лінійка.

**56.** Визначити густину дерева.

*Обладнання:* дерев'яна паличка сталого перерізу, посудина з водою, міліметрова лінійка, нитка, штатив.

### **Динаміка**

**57.** (2006 р. III етап. 10 клас). Визначити відношення жорсткостей двох гумових ниток однакової довжини.

*Обладнання:* дві гумові нитки однакової довжини, лінійка.

**58.** Визначити масу динамометра.

*Обладнання:* тіло відомої маси, динамометр Бакушинського.

**59.** Визначити жорсткість пружини.

*Обладнання:* пружина (динамометр із закlesною шкалою), вимірювальний циліндр, нитка, тіло неправильної форми, лінійка учнівська, посудина з водою.

**60.** Визначити максимальну силу натягу, яку може витримати волосінь.

*Обладнання:* штатив для фронтальних робіт, волосінь діаметром 0,1-0,2 мм, лінійка, ги́ря масою 0,5-1 кг.

**61.** Визначте масу  $m_2$  невідомого вантажу.

*Обладнання:* два вантажі (маса  $m_1$  одного з яких відома), нитка, міліметровка, скотч.

**62.** (2011 р. III етап. 11 клас). Визначити масу пляшки з водою двома способами.

*Обладнання:* динамометр на 0-4 Н, пляшка з водою, вага якої більша ніж 4 Н, нитки, штатив з лапкою, лінійка, аркуш паперу

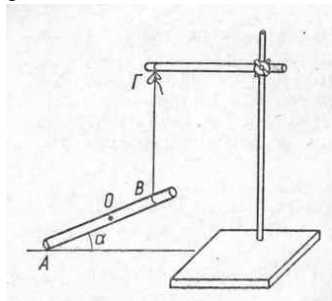
*Примітка.* **Забороняється підвішувати пляшку безпосередньо до динамометра.**

**63.** (2009 р. III етап. 9 клас). Визначити тиск вістря олівця на листок паперу, коли олівець перебуває перпендикулярно.

*Обладнання:* олівець, листок паперу, лінійка, тягарець відомої маси.

**64.** Дослідити залежність зміщення початкового положення кінця стержня, розміщеного під кутом до горизонту, при падінні його на горизонтальну площину від кута  $\alpha$ .

*Обладнання:* дерев'яний стержень, лінійка, нитка, штатив з муфтою і затискачем, транспортир, сірники.



**65.** (2006 р. III етап. 9 клас). Визначити коефіцієнт тертя дерев'яного бруска по поверхні стола, вважаючи, що площа поперечного перерізу гумової нитки під час незначних видовжень залишається незмінною.

*Обладнання:* брусок, гумова нитка, лінійка.

**66.** (2008 р. III етап. 9 клас). Визначити коефіцієнт тертя ковзання бруска по столу.

*Обладнання:* брусок, ручка, лінійка.

**67.** (2007 р. III етап. 10 клас). Визначити коефіцієнт тертя стержня олівця по паперу. *Обладнання:* олівець, листок паперу, лінійка.

**68.** (2011 р. III етап. 10 клас). Визначити коефіцієнт тертя ковзання сталі по жолобу.

*Обладнання:* мірна стрічка, дві сталеві кульки, пластилін, жолоб.

**69.** Визначити модуль сили тертя, яка виникає при ковзанні дерев'яного бруска по поверхні дерев'яної дошки.

*Обладнання:* дерев'яна дошка, підставка для дошки, дерев'яний брусок, масштабна лінійка, терези, важки, секундомір.

**70.** Визначити коефіцієнт тертя між частинками сипкої речовини.

*Обладнання:* сипка речовина (пісок, сіль), дві масштабні лінійки.

**71.** (2008 р. III етап. 10 клас). Визначити коефіцієнт тертя бруска по похилій площині.

*Обладнання:* брусок, динамометр, похила площина, тягарець.

**72.** (2009 р. III етап. 10 клас). Визначити коефіцієнт тертя гумового шнура по столу.

*Обладнання:* гумовий шнур, лінійка.

**73.** Визначити коефіцієнт тертя ковзання сталі по дереву.

*Обладнання:* дві дерев'яні учнівські лінійки, сталева кульки діаметром 1,5-2,5 см.

**74.** Визначити коефіцієнт тертя пластмаси по деревині.

*Обладнання:* дві дерев'яні дощечки, збиті під прямим кутом, пластмасова лінійка, олівець.

**75.** (2013 р. III етап. 11 клас). Визначити коефіцієнт тертя дерев'яної лінійки об поверхню стола.

*Обладнання:* дві однакові дерев'яні лінійки, скріплені скотчем, листок паперу.

*Примітка:* знімати скотч забороняється.

**76.** Порівняти коефіцієнти тертя спокою та ковзання дерева по дереву.

*Обладнання:* міліметрова лінійка, дві дерев'яні палички.

**77.** (2010 р. III етап. 11 клас). Помістіть голку шприца в склянку з водою і різким рухом витягніть поршень шприца з крайнього нижнього положення в крайнє верхнє. Тримайте його в цьому положенні і спостерігайте за процесом наповнення шприца водою.

Визначити середню швидкість проходження води через штуцер (найтонше місце) шприца в даному процесі.

*Обладнання:* шприц, посудина з водою, ножниці, міліметровий папір, секундомір.

### **Закони збереження**

**78.** (2013 р. III етап. 9 клас). Обчислити коефіцієнт корисної дії похилої площини, висота якої 10 см. Дослідити залежність ККД похилої площини від синуса кута нахилу площини. Побудувати графік цієї залежності. Зробити висновки.

*Обладнання:* трибометр, динамометр, лінійка, вимірювальна стрічка, брусок, штатив із муфтою і лапкою.

**79.** Визначити модуль сили натягу нитки, при якій нитка розірветься.

*Обладнання:* кулька масою 200 г, нитки № 60, лінійка, транспортир.

**80.** Визначити швидкість руху двох тіл після удару.

*Обладнання:* металева і пластилінова кульки однакового діаметра з нитками, лінійка, штатив з муфтою і затискачем.

**81.** (2012 р. IV етап. 10 клас) Користуючись запропонованим обладнанням, визначте коефіцієнт тертя шашки по поверхні столу. Експериментально дослідіть залежність швидкості шашки, якої вона набуває після удару по ній масивного тіла, від швидкості цього тіла.

*Обладнання:* шкільний штатив, горизонтальна поверхня парти, шашка відомої маси, тягарець відомої маси, відрізок дроту для кріплення тягарця до нитки, мірна стрічка, міліметровка, нитки.

### **Механічні коливання**

**82.** (2013 р. III етап. 8 клас). Визначити період та частоту коливань маятника довжиною 50 см. Дослідити залежність періоду коливань від довжини маятника. Побудувати графік цієї залежності. Зробити висновки.

*Обладнання:* кулька на нитці, секундомір, вимірювальна стрічка, лінійка.

*Примітка:* кульку з ниткою прив'язати до лінійки і тримати на краю стола (не замінити штатив).

**83.** (2006 р. III етап. 11 клас). Визначити радіус кульки.

*Обладнання:* кулька, нитка, штатив, секундомір (годинник з секундною стрілкою).

**84.** (2008 р. III етап. 11 клас). Визначити відношення довжин двох математичних маятників.

*Обладнання:* штатив, два математичних маятники різної довжини.

**85.** Визначити масу тіла за допомогою пружинного маятника.

*Обладнання:* універсальний штатив, набір пружин з шкільного набору, тягарці відомої маси, тягарець невідомої маси, секундомір.

**86.** Визначити відношення мас тягарців і жорсткостей пружин.

*Обладнання:* штатив, два різні тягарці, дві різні пружини.

**87.** (2014 р. III етап. 11 клас). Підвісьте тягарець на гумовій нитці до штатива. Виведіть тягарець з положення рівноваги і відпустіть так, щоб він здійснював вертикальні коливання. Оцініть максимальну швидкість тягарця під час коливального руху та період його коливань.

*Обладнання:* штатив з лапкою, гумова нитка, тягарець, лінійка

**88.** (2012 р. IV етап. 8 клас) Порівняйте періоди коливань маятників, виготовлених з порожньої й заповненої пляшки. Визначте відносне подовження волосіні під впливом сили 5 Н.

*Обладнання:* волосінь рибальська, штатив з лапкою або кільцем, 2 пляшки по 0,5л, мірна склянка до 200 мл, посудина з водою, ножиці, сірники.

**89.** Визначити площу поперечного перерізу трубки рідинного манометра.

*Обладнання:* рідинний манометр з гумовою трубкою на одному коліні, мензурка, секундомір.

### **Властивості газів, пари, рідин, твердих тіл**

**90.** (2014 р. III етап. 11 клас). Визначити величину атмосферного тиску.

*Обладнання:* прозора трубочка, прикріплена до планки, пластилін, посудина з водою, лінійка.

**91.** Визначити атмосферний тиск.

*Обладнання:* дві скляні трубки, сполучені гумовою трубкою і закріплені в штативі, вода, лійка, корок, лінійка.

**92.** Визначити атмосферний тиск.

*Обладнання:* склянка з водою (0,25 – 0,5 л), капілярна трубка завдовжки 20 см і діаметром 0,02 – 0,015 мм, лінійка завдовжки 30 см.

**93.** (2007 р. III етап. 11 клас). Визначити значення сталої Больцмана.



*Обладнання:* термометр, шматочок вати, склянка з водою, психрометрична таблиця і таблиця залежності тиску та густини насиченої пари від температури.

**94.** (2013 р. III етап. 11 клас). Визначити відносну вологість повітря в класі. За цими результатами обчислити значення універсальної газової сталої і порівняти з табличним.

*Обладнання:* термометр, шматочок вати, короткий фізичний довідник.

**95.** Визначити відносну вологість повітря.

*Обладнання:* два пластикові стаканчики до 200 мл (один прозорий), посудина з крижаною водою (одна на всіх) і черпаком, посудина з гарячою водою (одна на всіх) і черпаком, термометр, таблиця залежності тиску насиченої водяної пари від температури.

**96.** (2006 р. III етап. 10 клас). Визначити коефіцієнт поверхневого натягу невідомої рідини.

*Обладнання:* піпетка, шприц, посудина з водою, пластилін, посудина з невідомою рідиною.  $\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $\sigma_B = 73 \text{ мН/м}$ ,  $\rho_P = 800 \text{ кг/м}^3$ .

**97.** Знаючи коефіцієнт поверхневого натягу води, визначити коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину. (Змочування вважати повним.)

*Обладнання:* дві капілярні трубки різного діаметра, лінійка, посудина з водою, посудина з мильним розчином, таблиці густини речовини.

**98.** Визначити коефіцієнт поверхневого натягу води.

*Обладнання:* тарілка, вода, ложка, лінійка, шматок рівного алюмінієвого дроту завдовжки 15-20 см, мікрометр, спирт, вата.

**99.** Визначити коефіцієнт поверхневого натягу виданої вам рідини методом відриву. Для цього виготовте з паперу вимірну пластину з «ніжками». «Ніжки» потрібні для захисту плівки від бічного відриву. Якщо опустити пластину в досліджувану рідину, а потім поволі піднімати, то з боку рідини на пластину діятиме сила поверхневого натягу. Цю силу можна визначити за допомогою саморобних чутливих терезів.

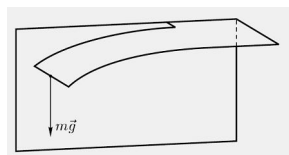
*Обладнання:* аркуш картону, 2 аркуші офісного паперу формату А4 з поверхневою густиною  $80 \text{ г/м}^2$ , ножиці, лінійка, скріпка, смужка міліметрового паперу, степлер (один на клас), посудина з досліджуваною рідиною.

**100.** (2010 р. III етап. 10 клас). Визначити модуль пружності гуми

*Обладнання:* гумовий шнур, динамометр, лінійка.

**101.** Визначити модуль пружності (модуль Юнга) сталєї дротини.

*Обладнання:* сталєва дротина, натягнена між двома цвяхами на дошці (щиті), мікрометр, лінійка, тягарець відомої маси.



## Термодинаміка

**102.** (2007 р. III етап. 9 клас). Визначити теплоємність склянки.

*Обладнання:* склянка, мензурка, термометр, посудина з теплою водою.

**103.** (2010 р. III етап. 9 клас). Визначити питому теплоємність циліндра.

*Обладнання:* циліндр, мензурка, калориметр, посудина з холодною водою, посудина з теплою водою, термометр, нитка, динамометр.

**104.** (2014 р. III етап. 9 клас). Визначити масу склянки.

*Обладнання:* склянка, посудина з теплою водою (одна на клас), термометр, мензурка, короткий фізичний довідник.

**105.** Визначити питому теплоту плавлення льоду.

*Обладнання:* вода, танучий лід, мірний циліндр (мензурка), термометр.

**106.** При розчиненні гіпосульфиту температура розчину сильно знижується. Виміряйте питому теплоту розчинення даної речовини.

*Під питомою теплотою розчинення розуміють кількість теплоти, необхідну для розчинення одиниці маси речовини.*

*Обладнання:* калориметр, мензурка або мірний стакан, термометр, гіпосульфід кристалічний, тепла вода.

**107.** (2009 р. III етап. 11 клас) Порівняти потужність теплових втрат під час охолодження води при температурі  $40^{\circ}\text{C}$  і при температурі  $25^{\circ}\text{C}$ .

*Обладнання:* калориметр, термометр, вода, температура якої вища  $40^{\circ}\text{C}$ , секундомір, лінійка, міліметровий папір.

**108.** (2011 р. IV етап. 8 клас) За допомогою запропонованого обладнання розробіть метод визначення теплової потужності власної долоні як нагрівача. Визначте потужність такого нагрівача.

*Обладнання:* шматочки льоду, два стакани, міліметровий папір або лінійка, прозора трубка з внутрішнім діаметром 5 мм, маркер, годинник, таблиці питомої теплоти плавлення.

## Електрика

**109.** Визначити опір резистора з найбільшою точністю.

*Обладнання:* резистор з невідомим опором, амперметр, вольтметр, джерело живлення, з'єднувальні проводи.

**110.** Визначити опір вольтметра  $R_{PV}$  і амперметра  $R_{PA}$ .

*Обладнання:* вольтметр, амперметр, джерело струму, резистор з відомим опором, з'єднувальні проводи, вимикач.

**111.** (2009 р. III етап. 9 клас). Визначити питомий опір провідника, з якого виготовлено обмотку реостата.

*Обладнання:* реостат, лінійка.

**112.** (2008 р. III етап. 9 клас). Визначити питомий опір дроту.

*Обладнання:* досліджуваний дріт, джерело струму, амперметр, вольтметр, з'єднувальні провідники, мірна стрічка, ручка.

**113.** Визначити довжину мідного дроту, намотаного на котушку.

*Обладнання:* котушка мідного дроту, джерело постійного струму, реостат, вольтметр, лінійка, таблиця питомих опорів, з'єднувальні проводи, вимикач.

**114.** Визначити питомий опір провідника, з якого виготовлений даний реостат.

*Обладнання:* реостат шкільний лабораторний, резистор з відомим опором на панелі з клемами (1 Ом, 2 Ом або 4 Ом), амперметр шкільний лабораторний, лінійка, джерело постійного струму, вимикач, з'єднувальні провідники.

**115.** (2007 р. III етап. 11 клас). Визначити значення невідомого опору, ЕРС джерела струму та його внутрішній опір.

*Обладнання:* джерело струму, два опори (відомий і невідомий), амперметр, провідники.

**116.** Визначити опір резистора.

*Обладнання:* батарейка (електрорушійна сила і внутрішній опір невідомі), резистор з відомим опором  $R$  і резистор з невідомим опором  $R_x$ , з'єднувальні проводи, вимикач.

**117.** Визначте питомий опір дроту

*Обладнання:* Джерело струму з відомою ЕРС, амперметр лабораторний, дріт з великим питомим опором (реостат), папір міліметровий.

**118.** Визначити електрорушійну силу джерела струму.

*Обладнання:* джерело струму з невідомим внутрішнім опором і електрорушійною силою, два різні вольтметри з невеликими невідомими внутрішніми опорами, з'єднувальні проводи, вимикач.

**119.** Визначити ЕРС джерела струму.

*Обладнання:* джерело струму з невідомою ЕРС, джерело струму з відомою ЕРС, конденсатор, мікроамперметр, з'єднувальні проводи, перемикач.

**120.** (2010 р. III етап. 11 клас). Побудувати вольтамперну характеристику джерела живлення і, використовуючи її, визначити ЕРС та внутрішній опір джерела струму.

*Обладнання:* джерело струму, амперметр, вольтметр, з'єднувальні провідники, реостат, вимикач.

**121.** (2008 р. III етап. 11 клас). В «чорному» ящику знаходяться три резистори, опори яких більші, ніж 20 Ом. Намалювати схему з'єднання резисторів і визначити значення їх опорів.

*Обладнання:* мультиметр, „чорний” ящик.

**122.** В одному «чорному ящику» встановлено електричну лампочку від кишенькового ліхтарика, у другому – резистор. Визначити, в якому ящику встановлено резистор.

*Обладнання:* джерело струму, реостат, два «чорних ящики» з виводами, міліамперметр, мілівольтметр, з'єднувальні проводи, вимикач.

**123.** (2012 р. III етап. 11 клас). У «чорному ящику» знаходиться три радіоелементи. Вказати, які це елементи і намалювати схему їх з'єднання.

*Обладнання:* «чорний ящик», амперметр, джерело живлення, з'єднувальні провідники.

**124.** (2013 р. III етап. 10 клас). Визначити потужність електричного струму в лампочці та опір лампочки за різних значень сили струму. Визначити номінальну потужність лампочки. Зробити висновки.

*Обладнання:* джерело живлення, лампочка на підставці, амперметр, вольтметр, реостат, ключ, з'єднувальні провідники.

**125.** Визначити робочу температуру спіралі електричної лампочки. Температурний коефіцієнт опору вольфраму  $\alpha = 5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

*Обладнання:* електрична лампочка з нанесеними на ній паспортними даними, омметр (авометр), кімнатний термометр.

**126.** (2007 р. IV етап. 8 клас) Дослідіть залежність сили струму, що протікає через лампочку розжарювання, від напруги, що подається на неї. Побудуйте графік цієї залежності (вольт-амперну характеристику). За експериментальними даними, визначте температуру нитки розжарювання лампочки при напрузі 3 В, якщо відомо, що опір металів залежить від температури за законом  $R = R_0(1 + \alpha t)$ , де  $\alpha$  - температурний коефіцієнт опору,  $R_0$  - опір при температурі  $0^\circ\text{C}$ ,  $t$  - температура в градусах Цельсія.

*Обладнання:* цифровий мультиметр (омметр), батарея на 4,5 В (плоска); лампочка; змінний резистор дровотий 0-47 Ом; шкільний вольтметр 0-6 В; шкільний амперметр 0-2 А; аркуш міліметрового паперу; з'єднувальні провідники. Температурний коефіцієнт опору вольфраму  $\alpha = 0.0048 \text{ 1}^\circ\text{C}$ .

**127.** (2007 р. IV етап. 10 клас) Користуючись запропонованим обладнанням, визначити опір резистора. На основі вольтметра виготовити омметр, який дозволяє відраховувати значення будь-якого вимірюваного опору безпосередньо за шкалою приладу. Зобразити шкалу омметра, користуючись зображенням шкали вольтметра. Шкала має бути достатньо детальною для практичного користування.

*Обладнання:* джерело постійної напруги (батарея «Крона»), змінний резистор з опором  $6,8 \text{ кОм} \pm 20\%$ , вольтметр шкільний на 6 В, резистор з відомим опором ( $6,8 \text{ кОм} \pm 5\%$ ), резистор з невідомим опором, з'єднувальні провідники, зображення шкали використовованого вольтметра.

**128.** Не порушуючи з'єднання резисторів, визначте опір кожного з них.

*Обладнання:* три різних резистори, з'єднані трикутником, вольтметр шкільний на 6 В з відомим внутрішнім опором, батарея гальванічних елементів, з'єднувальні провідники - 3 шт.



## Оптика

**129.** (2009 р. III етап. 11 клас) Визначити показник заломлення скла.

*Обладнання:* скляна пластинка, булавки, лінійка, листок паперу.

**130.** Визначити показник заломлення рідини.

*Обладнання:* прямокутний акваріум, прицільна трубка (звичайна трубка з невеликим внутрішнім діаметром), досліджувана рідина, штатив, дві лінійки.

**131.** Визначити показник заломлення рідини, налитой в циліндричну склянку.

*Обладнання:* лампочка, джерело струму, екран, лінійка.

**132.** (2012 р. III етап. 8 клас) Визначити фокусну відстань лінзи двома способами:

а) без використання свічки;

б) використовуючи свічку.

*Обладнання:* лінза, свічка, мірна стрічка, екран (листок паперу).

**133.** Визначте експериментально положення головних фокусів оптичної системи двох лінз розташованих на відстані  $L$  одна від одної.

*Обладнання:* збирна лінза Л1, розсіювальна лінза Л2, допоміжна збирна лінза Л, батарея, лампочка, екран, лінійка, провідники.

**134.** Визначити фокусну відстань розсіювальної лінзи

*Обладнання:* розсіювальна лінза, збирна лінза, батарея, лампочка, екран, лінійка, провідники.

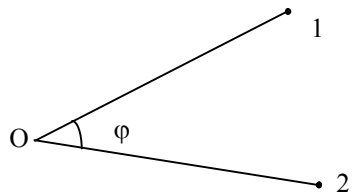
**135.** (2007 р. IV етап. 9,10 клас). Визначити роздільну здатність Вашого ока та середню відстань між його зоровими рецепторами (колбочками).

*Обладнання:* вимірювальна стрічка, смужка міліметрового паперу.

*Довідникові дані:*

1. Роздільна здатність ока – це найменша кутова відстань між двома лініями, які око здатне бачити окремо одна від одної.

2. Оптична сила «усередненого» ока 59 дптр.



## Приклади розв'язування задач

### Приклад 1. Оцінити густину пластиліну

Обладнання: лінійка, нитки, шматок пластиліну, тягарець відомої маси.

*Розв'язок*

*Ідея експериментальних досліджень*

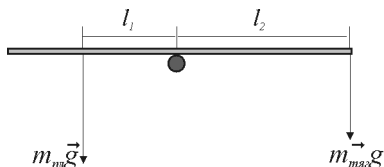
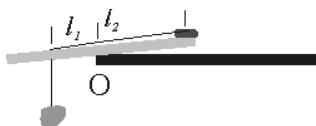
Кладуть лінійку на край стола і повільно переміщують її до тих пір, поки кінець лінійки, що знаходиться на столі почне відриватися від столу. В цей момент центр мас лінійки буде на краю стола і сила тяжіння, що діє на лінійку буде зрівноважена силою реакції опори. Відмічають олівцем на лінійці центр мас.

Підвішують шматок пластиліну до одного кінця лінійки, а на інший кладуть тягарець відомої маси. Переміщуючи петлю нитки, до якої підвішено пластилін, добиваються рівноваги лінійки, слідкуючи, щоб центр мас лінійки залишався на краю стола (див. малюнок).

Дана ситуація відображена на схематичному малюнку. Згідно правила моментів

$$m_{\text{пл}} g l_1 = m_{\text{тяг}} g l_2 . \quad \text{Звідси} \quad \text{маса}$$

$$\text{пластиліну } m_{\text{пл}} = m_{\text{тяг}} \frac{l_2}{l_1} .$$



Вимірюють плечі сил:  $l_1$  – від петлі до центра мас лінійки,  $l_2$  – від центра тягарця до центра мас лінійки.

Роблять з шматка пластиліну кубик (паралелепіпед) і, вимірявши його ребра, знаходять об'єм:  $V = a \cdot b \cdot c$ . Враховуючи, що  $\rho = \frac{m}{V}$ ,

$$\text{одержують: } \rho = \frac{m_{\text{тяг}} l_2}{l_1 \cdot abc}$$

### *Обробка результатів експерименту*

В якості тягарця було використано монету номіналом 10 коп, маса якої 1,7 г.

Одержані наступні результати з врахуванням інструментальної похибки лінійки:  $l_1=(1,5\pm0,1)$  см;  $l_2=(12,0\pm0,1)$  см;  $a=(2,2\pm0,1)$  см;  $b=(2,3\pm0,1)$  см;  $c=(2,0\pm0,1)$  см.

$$\text{Значення густини: } \rho = \frac{1,7 \cdot 12,0}{1,5 \cdot 2,2 \cdot 2,3 \cdot 2} = 1,34 \text{ г/см}^3.$$

Відносна похибка вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_2}{l_2} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} = \frac{0,1}{12} + \frac{0,1}{1,5} + \frac{0,1}{2,2} + \frac{0,1}{2,3} + \frac{0,1}{2} = 0,21$$

Абсолютна похибка вимірювань:  $\Delta\rho = \varepsilon \cdot \rho = 0,21 \cdot 1,34 = 0,28 \text{ г/см}^3$ .

Результат вимірювання:  $\rho = (1,3\pm0,3) \text{ г/см}^3$ .

Проведені вимірювання дали велику відносну похибку ( $\varepsilon=21\%$ ). Це зумовлено похибкою під час вимірювання розмірів шматка пластиліну. У ролі важеля використовувалася лінійка довжиною 20 см. Використання лінійки більших розмірів (40-50 см) привело б до зменшення похибки.

### **Приклад 2.** Визначити об'ємну густину аркуша паперу

*Обладнання:* аркуш паперу формату А4 з відомою поверхневою густиною ( $80 \text{ г/м}^2$ ), штангенциркуль з точністю вимірювання 0,1 мм, ножиці.

#### *Розв'язок*

#### *Ідея експериментальних досліджень*

Згідно означення поверхневої та об'ємної густини:  $\rho_n = \frac{m}{S}$ ;  $\rho_o = \frac{m}{V}$ . Тоді

$$\rho_o = \frac{m}{V} = \frac{m}{S \cdot h} = \frac{\rho_n}{h}.$$

Отже, необхідно виміряти товщину аркуша паперу. Для підвищення точності вимірюють штангенциркулем товщину «стопки» з 10 аркушів. Для цього за допомогою ножиць нарізають 10 маленьких шматочків, складають їх разом і штангенциркулем вимірюють загальну товщину.

### *Обробка результатів експерименту*

Товщина 10 аркушів з врахуванням абсолютної інструментальної похибки:  $h_{10}=(1,0\pm0,1)$  мм.

Товщина одного аркуша:  $h_1=(0,10\pm0,01)$  мм.

(Зауваження: **якщо результат вимірювання ділять на  $n$ , то і абсолютна похибка ділиться на  $n$ .** В даному випадку похибка штангенциркуля 0,1 мм, то похибка вимірювання товщини одного аркуша  $0,01 \text{ мм} = 0,001 \text{ см}$ ).

Значення об'ємної густини з врахуванням того, що значення поверхневої густини  $\rho_n = 80 \frac{\text{г}}{\text{м}^2} = 80 \cdot 10^{-4} \frac{\text{г}}{\text{см}^2}$  :  $\rho_o = \frac{\rho_n}{h_1} = \frac{80 \cdot 10^{-4} \text{г/см}^2}{0,01 \text{см}} = 0,80 \text{г/см}^3$ .

Похибка вимірювання визначається методом меж.

$$\rho_{o, \min} = \frac{\rho_n}{h_{\max}} = \frac{\rho_n}{h_1 + \Delta h} = \frac{80 \cdot 10^{-4} \text{г/см}^2}{0,011 \text{см}} = 0,727 \text{г/см}^3.$$

$$\rho_{o, \max} = \frac{\rho_n}{h_{\min}} = \frac{\rho_n}{h_1 - \Delta h} = \frac{80 \cdot 10^{-4} \text{г/см}^2}{0,009 \text{см}} = 0,888 \text{г/см}^3.$$

$$\Delta \rho = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{2} = 0,08 \text{г/см}^3. \quad \rho = \frac{\rho_{\max} + \rho_{\min}}{2} = 0,81 \text{г/см}^3$$

Результат вимірювання:  $\rho_o = (0,81 \pm 0,08) \text{г/см}^3$ .

Відносна похибка вимірювань:  $\varepsilon = \frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot 100\% = 9,8\%$ .

### Приклад 3. Оцінити густину стержня.

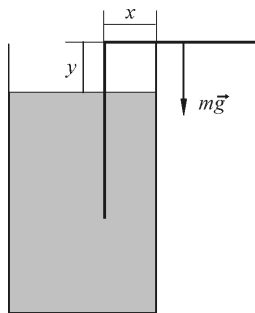
Обладнання: стержень(дріт), посудина з водою, лінійка.

*Розв'язок*

*Ідея експериментальних досліджень*

За допомогою лінійки знаходять середину дроту і згинають його пополам під прямим кутом. Знаходять довжину половини дроту  $l$ . Опускають дріт у воду і добиваються рівноваги на краю склянки (одна половина дроту горизонтальна, друга вертикальна). Вимірюють відстань від середини дроту до точки опори  $x$  та відстань від середини дроту до поверхні води  $y$ .

Горизонтальну частину дроту вважають важелем, на який діє сила тяжіння  $mg$  з боку самого важеля (плече цієї сили  $\frac{l}{2} - x$ ) і різниця сили



тяжіння на вертикальну частину дроту і сили Архімеда на занурену вертикальну частину дроту  $mg - \rho g S(l - y)$  (плече цієї сили  $x$ ).

Записують умову рівноваги важеля:  $(\rho S l \cdot g - \rho_e g S(l - y))x = \rho S l \cdot g \left( \frac{l}{2} - x \right)$

$$\text{Звідси } \rho = \rho_e \frac{2x(l - y)}{l(4x - l)}.$$

*Обробка результатів експерименту*



Довжина дроту з врахуванням абсолютної інструментальної похибки:  
 $2l=(15,6\pm 0,1)$  см.

Довжина половини дроту:  $l=(7,8\pm 0,1)$  см.

Відстань від середини дроту до точки опори:  $x=(2,3\pm 0,1)$  см.

Відстань від середини дроту до поверхні води:  $y=(1,9\pm 0,1)$  см.

$$\text{Густина дроту: } \rho = 1 \frac{2 \cdot 2,3 \cdot (7,8 - 1,9)}{7,8(4 \cdot 2,3 - 7,8)} = 2,48 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Для обчислення похибки досліджують залежність результату від вимірних параметрів. Обчислюють густину при збільшенні кожного параметра в межах похибки.

$$\rho_1 = 1 \frac{2 \cdot 2,3 \cdot (7,9 - 1,9)}{7,9(4 \cdot 2,3 - 7,9)} = 2,68 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_2 = 1 \frac{2 \cdot 2,4 \cdot (7,8 - 1,9)}{7,8(4 \cdot 2,4 - 7,8)} = 2,01 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_3 = 1 \frac{2 \cdot 2,3 \cdot (7,8 - 2,0)}{7,8(4 \cdot 2,3 - 7,8)} = 2,44 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Видно, що із збільшенням  $l$  густина збільшується, із збільшенням  $x$ ,  $y$  густина зменшується.

Тому обчислюють значення густини при максимальному  $l$  і мінімальних  $x, y$ . Це буде максимальне значення густини.

$$\rho_{\max} = 1 \frac{2 \cdot 2,2 \cdot (7,9 - 1,8)}{7,9(4 \cdot 2,2 - 7,9)} = 3,77 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Тепер обчислюють мінімальне значення густини при мініальному  $l$  і максимальних  $x, y$ .

$$\rho_{\min} = 1 \frac{2 \cdot 2,4 \cdot (7,7 - 2,0)}{7,7(4 \cdot 2,4 - 7,7)} = 1,87 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

$$\text{Середнє значення густини: } \rho = \frac{\rho_{\max} + \rho_{\min}}{2} = 2,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\text{Похибка вимірювання густини: } \rho = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{2} = 0,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\text{Результат вимірювання густини: } \rho = (2,8 \pm 0,9) \text{ г/см}^3.$$

$$\text{Відносна похибка вимірювань: } \varepsilon = \frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot 100\% = 32\%.$$

Дуже велика відносна похибка, оскільки відстані  $x, y, l$  невеликі порівняно з абсолютною інструментальною похибкою лінійки.

Ми навели кілька прикладів розрахунку значень вимірюваної величини, дослідження залежностей, обрахунку похибок різними методами. Як бачите,

у завданнях досить громіздкі обрахунки, тому у розв'язку завдань, запропонованих у збірнику, ми не будемо обчислювати значення шуканої величини і не будемо обраховувати похибок, а обмежимося лише формулюванням ідеї експериментальних досліджень і її теоретичним обґрунтуванням, виведенням кінцевих формул для розрахунку шуканих величин, а право вимірювань і обчислень залишимо експериментаторам.

### Розв'язки завдань

#### Фізичні величини. Найпростіші вимірювання

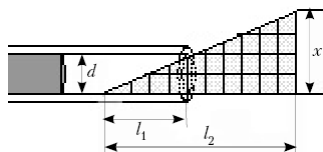
1. Кладуть олівець на аркуш паперу в клітинку і прокочують його, порахувавши кількість обертів  $n_1$  (для цього роблять на олівцеві відмітку). На аркуші паперу відмічають початкове і кінцеве положення олівця (чи центра, чи одного краю). Рахують кількість клітинок  $k_1$  між початковим і кінцевим положеннями. Тоді вся довжина прокочування:  $l = ak_1$ , де  $a$  – довжина клітинки.  $l = \pi dn_1$ . Звідси  $d = \frac{ak_1}{\pi n_1}$ . Аналогічні дії роблять з

трубочкою:  $L = ak_2$ ;  $L = \pi Dn_2$ . Звідси  $\frac{D}{d} = \frac{k_2 n_1}{k_1 n_2}$ .

2. Кладуть диск на міліметровий папір і визначають внутрішній  $d_2$  і зовнішній  $d_1$  його діаметри. Тоді  $S = \frac{\pi d_1^2}{4} - \frac{\pi d_2^2}{4}$ .

Товщину диска визначають так. Тримують диск вертикально і на міліметровому папері відмічають його положення. Ставлять поруч другий диск, потім забирають перший і ставлять біля другого і т. д. Підраховують кількість дисків  $n$  і довжину ряду  $l$ . Тоді  $h = \frac{l}{n}$ . Об'єм диска  $V = S \cdot h$ .

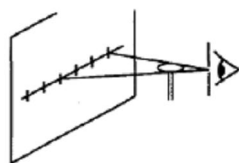
3. Об'єм пасти визначається так:  $V = Sl$ , де  $l$  – довжина тієї частини стрижня ручки, в якій знаходиться паста. Її можна безпосередньо виміряти за допомогою міліметрівки.  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  – площа поперечного перерізу внутрішнього каналу стрижня ручки,  $d$  – діаметр цього каналу. Отже,



шуканий об'єм пасти  $V = \frac{\pi d^2}{4} l$ . Оскільки точність безпосереднього вимірювання внутрішнього діаметру лінійкою мала, тому можна поступити так: акуратно тонкими лініями креслять на міліметровці вузький прямокутний трикутник, а потім його вирізають. Одержаний трикутник поміщають в канал пишучого стрижня, і, використовуючи подібність сторін у вказаних на малюнку трикутниках, визначають діаметр каналу стрижня. У результаті можна записати співвідношення:  $\frac{d}{x} = \frac{l_1}{l_2}$ , звідки  $d = \frac{x \cdot l_1}{l_2}$ .

Остаточна формула:  $V = \pi \left( \frac{l_1 \cdot x}{l_2} \right)^2 \cdot \frac{l}{4}$ .

4. Експеримент очевидний з наведеного малюнка. У фользі гвіздком роблять маленький отвір, що дозволяє одночасно бачити різке зображення гвіздка, що знаходиться близько до ока, і далекого аркуша паперу із рівними поділками (для кращого бачення поділки можна навести). З подібності відповідних трикутників обчислюють шукане відношення; ділять кількість поділок, що затуляються шапкою гвіздка на кількість поділок, що затуляються його ніжкою.

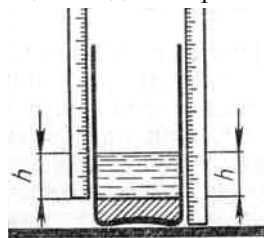


5. На медичному шприці нанесено поділки, за якими можна визначити об'єм порожнини, обмеженої поршнем. Вимірюючи лінійкою висоту циліндра можна визначити площу основи поршня:  $S = \frac{V}{h}$ . Площа основи

поршня  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ , де  $d$  – діаметр основи поршня. Прирівнявши вирази для

площі, отримують:  $d = \sqrt{\frac{4V}{\pi h}}$ . Для підвищення точності експерименту потрібно вимірювати висоту  $h$  для максимального об'єму даного шприца.

6. Місткість посудини неправильної форми дорівнює об'єму води, повністю налитій в неї. Щоб визначити об'єм цієї води потрібно скористатися пластиковою пляшкою. Оскільки дно в неї нерівне, то наливають в пляшку трохи води і відмічають її рівень. Тоді вимірювання висоти шару води  $h$ , налитого з посудини неправильної форми легко провести приклавши до пластикової пляшки смужку міліметрового паперу. Площу поверхні води можна визначити, вимірявши діаметр  $d$  верхнього краю відрізаної посудини тією ж смужкою. Тоді



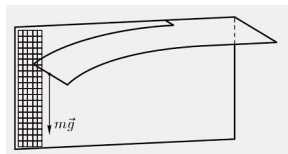
$S = \frac{\pi d^2}{4}$ . Щоб збільшити точність вимірювання можна обхопити поверхню пляшки смужкою міліметрівки і визначити довжину кола  $l$ . Оскільки  $l = \pi d$ , то

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{l^2}{4\pi}. \text{ Місткість посудини } V = Sh.$$

7. На міліметровому папері обмальовують контури сегменту, який утворює сирок. Використовуючи спосіб палетки визначають площу  $S$  основи сирку. Висоту  $h$  визначають за допомогою міліметрового паперу. Тоді об'єм сирку  $V = S \cdot h$ . На упаковці вказано масу сирку, тоді густина сирку  $\rho = \frac{m}{V}$ .

8. Для визначення густини рідини достатньо на одну шальку терезів помістити стакан, повністю заповнений рідиною, і на цю ж шальку покласти одну з гирь (бажано великої маси). На іншу кладуть гирі, що зрівноважують терези. Потім потрібно частину рідини із стакана відлити, гирю, що стояла на шальці із стаканом, помістити в стакан і заповнити його рідиною повністю. Зрівноваживши стакан з рідиною і гирею в ньому на терезах, можна визначити масу вилитої з стакана рідини. За густиною речовини, з якої виготовлена гиря, і її масі визначають об'єм гирі. Цей об'єм рівний об'єму витісненої гирею рідини. Знаючи об'єм витісненої рідини і її масу, обчислюють густину рідини.

9. З картону виготовляють пружинні терези. З офісного паперу роблять прямокутні важки, розрізавши аркуш, наприклад на 64 шматочки. Масу «важка» обчислюють, визначивши його площу і помноживши на відому поверхневу густину. (для аркуша А4  $S = 623,7 \text{ см}^2$ ,



$$S_1 = \frac{S}{64} \approx 9,75 \text{ см}^2, \text{ маса «важка» } m = 9,75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 80 \frac{\text{г}}{\text{м}^2} = 0,078 \text{ г}.$$

До терезів прикріплюють смужку міліметрового паперу і проводять калібрування терезів. Для цього кладуть «важки» на край «пружинної смужки» відзначаючи яке відхилення відповідає масі навантаження. Після цього зважують скріпку.

#### 10. Секундна стрілка:

- період обертання  $T = 60 \text{ с}$ .

- Частота обертання  $\nu = \frac{1}{T} \approx 0,017 \text{ с}^{-1}$

- Швидкість  $v = \frac{l}{T} = \frac{2\pi R}{T}$ .

- Радіус кола, по якому обертається стрілка вимірюють лінійкою і множать на масштаб.

Годинна стрілка:

- Період обертання  $T=12 \text{ год}=43200 \text{ с}$ .

- Частота обертання  $\nu = \frac{1}{T} = 0,000023 \text{ с}^{-1}$

- Швидкість  $v = \frac{l}{T} = \frac{2\pi R}{T}$ .

- Радіус кола, по якому обертається стрілка вимірюють лінійкою і множать на масштаб.

**11.** - Період обертання  $T= 60 \text{ с}$ .

- Частота обертання  $\nu = \frac{1}{T} \approx 0,017 \text{ с}^{-1}$

- Кутова швидкість  $\omega = \frac{\varphi}{T} = \frac{2\pi}{60} \approx 0,1 \text{ рад/с}$ .

Для знаходження інших величин потрібно знати радіус кола, по якому обертається секундна стрілка. Продовжують секундну стрілку. Будують довільну хорду і знаходять її середину. Транспортиром в цій точці відмічають кут  $90^\circ$  і проводять перпендикуляр до хорди. Його перетин з продовженням секундної стрілки і дасть центр кола.

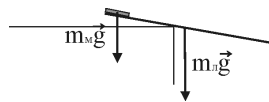
- Швидкість  $v = \frac{l}{T} = \frac{2\pi R}{T}$ .

- Радіус кола, по якому обертається стрілка вимірюють лінійкою і множать на масштаб.

- Доцентрове прискорення  $a = \omega^2 R$ .

### Умови рівноваги. Важіль.

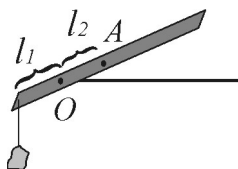
**12.** Один із способів визначення. На краю стола зрівноважують лінійку, на краю якої лежить монета 2 коп. Згідно правила моментів:  $m_{м_1} g l_1 = m_{л} g l_2$ , де  $l_1$  – відстань від точки



обертання до центра мас монети,  $l_2$  – відстань від точки обертання до центра мас лінійки (середини лінійки). Замість монети в 2 коп. кладуть монету 5 коп. на край лінійки і, переміщуючи лінійку, знову добиваються рівноваги. Ще раз записують правило моментів:

$m_{м_2} g l_3 = m_{л} g l_4$ . З умов рівноваги визначають відношення мас:  $\frac{m_{м_2}}{m_{м_1}} = \frac{l_1 \cdot l_4}{l_2 \cdot l_3}$ .

**13.** Знаючи параметри паперу (поверхнева густина  $80 \text{ г/м}^2$ ) і, вимірявши площу аркуша, можна знайти його масу. Визначають центр мас лінійки, зрівноваживши її на краю парти. Згортають аркуш



паперу, підвішують на нитці до краю лінійки і знову зрівноважують на краю парти. Записують правило моментів:  $m_a g l_1 = m_d g l_2$ . Звідси  $m_d = \frac{m_a l_1}{l_2}$ .

**14.** З міліметрового паперу виготовляють конструкцію у вигляді швелера (Згортають листок в кілька разів і загортають краї, щоб в перерізі була буква П). На один кінець “швелера” кладуть гирю відомої маси  $m$  і зрівноважують конструкцію на олівці або краю стола. Визначають плечі сил  $l_1$  та  $l_2$  за поділками міліметрового паперу. Згідно правила моментів:  $Mg l_1 = mgl_2$ , звідки

$$M = \frac{m \cdot l_2}{l_1}.$$

**15.** Підвішують шматок пластиліну до одного кінця лінійки, а на інший ставлять тягарець відомої маси  $m_m$ . Переміщуючи тягарець, зрівноважують лінійку на краю столу так, щоб точка обертання  $O$  була посередині лінійки. Використовуючи правило моментів визначають масу пластиліну:

$$m = m_m \frac{l_2}{l_1}.$$

Роблять із шматка пластиліну кубик і, вимірявши довжину його ребер, знаходять об'єм.  $V = a \cdot b \cdot c$ . Тоді

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

**16.** З міліметрового паперу виготовляють конструкцію у вигляді швелера (див. задачу 14). На один кінець “швелера” кладуть монету відомої маси  $m$  і зрівноважують конструкцію на краю парти. Визначають плечі сил  $l_1$  та  $l_2$  за поділками міліметрового паперу. Згідно правила моментів  $Mg l_1 = mgl_2$ ,

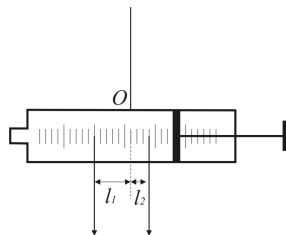
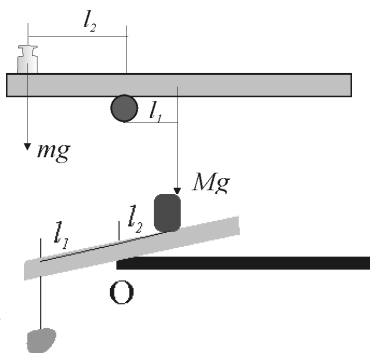
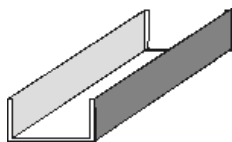
звідки маса аркуша  $M = \frac{m \cdot l_2}{l_1}$ . Об'єм аркуша паперу визначають як добуток

площі на товщину  $V = Sh$ . Довжину й ширину визначають за поділками міліметрівки  $S = ab$ . Щоб знайти товщину розрізають листок на клаптики, кількість яких  $N$ , складають їх разом і штангенциркулем вимірюють товщину  $d$ . Тоді

товщина одного клаптика, тобто аркуша  $h = \frac{d}{N}$ .

Густина паперу  $\rho = \frac{M}{V}$ .

**17.** Можливий розв'язок зводиться до



порівняння маси шприца з масою набраної в нього води. До шприца прив'язують нитку, в шприц набирають воду (більше половини) і досягають горизонтального положення шприца. Умова рівноваги:  $F_{uw} \cdot l_2 = F_g \cdot l_1$ , де  $l_1$  – плече сили тяжіння, що діє на воду (центр маси води знаходиться посередині стовпчика води),  $l_2$  – плече сили тяжіння, що діє на порожній шприц. Для знаходження положення центра маси пустого шприца з нього виливають воду, поршень переміщують в попереднє положення і зсовують нитку до тих пір, поки шприц займе горизонтальне положення. Плечі визначають за поділками шкали шприца в умовних одиницях. Тоді  $m_w = m_s \cdot \frac{l_1}{l_2}$ . Масу води

визначають, знаючи об'єм набраної води за позначками на балоні шприца.

**18.** Центри мас смужок знаходяться посередині і їх визначають за міліметровими позначками на одній з них. Смужки кладуть одна на одну, як показано на малюнку, зміщують смужки одна відносно одної, і встановлюють рівновагу на краю стола. Записують умову рівноваги важеля:  $m_1 g l_1 = m_2 g l_2$ , де  $l_1$  та  $l_2$  плечі сил тяжіння, що діють на смужки. Звідси маса смужки міліметрового паперу

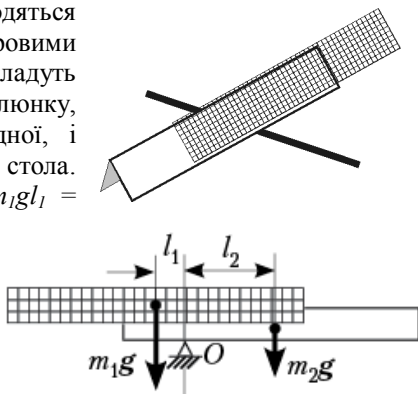
$$m_1 = \frac{m_2 \cdot l_2}{l_1} = \frac{\rho_2 \cdot S \cdot l_2}{l_1}, \quad \text{де } \rho_2 -$$

поверхнева густина смужки офісного паперу,  $S$  – його площа, що дорівнює площі смужки міліметрового паперу, яку легко обчислити за міліметровими позначками.

**19.** За допомогою шприца з водою, в якого отвір закритий пластиліном, визначають об'єм гайки  $V_2$ . Прив'язавши до гвинта нитку знаходять його центр маси, зрівноваживши гвинт в горизонтальному положенні. Накручують гайку на гвинт, прив'язують ще одну нитку і знову зрівноважують гвинт з гайкою. За допомогою міліметрового паперу визначають відстань від точки підвісу до попередньої точки підвісу  $l_1$  (відстань між нитками) і відстань від точки підвісу до центра гайки  $l_2$ . Записують правило моментів:  $m_1 g l_1 = m_2 g l_2$ , де  $m_1$  – маса гвинта,  $m_2$  – маса

гайки. Або  $\rho V_1 g l_1 = \rho V_2 g l_2$ . Звідси  $V_1 = \frac{V_2 \cdot l_2}{l_1}$ .

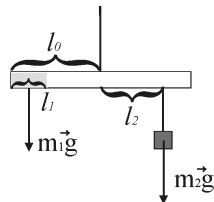
**20.** З пластинки вирізають фігуру правильної форми (Квадрат, прямокутний трикутник) і, використовуючи лінійку, знаходять її площу  $S_1$ . Прив'язують нитку до середини лінійки і, використовуючи лінійку як важіль, зрівноважують вирізану фігуру і фігуру, що залишилася, підвісивши їх до лінійки за допомогою ниток.



Оскільки товщина пластин однакова, то відношення сил тяжіння можна замінити відношенням площ.  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}$ . Тоді згідно правила моментів

$\frac{l_2}{l_1} = \frac{S_1}{S_2}$ . Вимірявши лінійкою плечі сил тяжіння, що діють на підвішені фігури, обчислюють площу фігури  $S_2$ . Тоді площа виданої картонки  $S = S_1 + S_2$ .

**21.** Один із способів визначення. Прив'язують нитку до середини трубки. До кінця трубки без пластиліну прив'язують на нитці шматочок пластиліну і, переміщуючи його, добиваються рівноваги. Рівність моментів:  $m_1 g \left( l_0 - \frac{l_1}{2} \right) = m_2 g l_2$ .  $\rho l_1 S \left( l_0 - \frac{l_1}{2} \right) = \rho V_2 l_2$ ;



$l_1 l_0 - \frac{l_1^2}{2} = \frac{V_2 l_2}{S}$ . Отримали квадратне рівняння відносно  $l_1$ .  $l_0$  та  $l_2$  – вимірюють лінійкою,  $V_2$  – об'єм підвішеного шматка пластиліну, який можна визначити, зробивши з пластиліну кубик:  $V_2 = a \cdot b \cdot c$ ,  $S$  – внутрішній поперечний переріз трубки:  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ ,  $d$  – вимірюють лінійкою.

**22.** Визначають діаметр припою  $d$  штангенциркулем, а довжину  $l$  лінійкою. Тоді об'єм  $V = \frac{\pi d^2 l}{4}$ . Масу припою можна визначити,

виготовивши важільні терези. Для цього зрівноважують лінійку на краю столу (на олівці, на стрижні від кулькової ручки і т.п.). Потім, використовуючи монету відомої маси, зрівноважують шматок припою на лінійці і за допомогою рівності моментів сил знаходять масу припою  $m$ . Записавши очевидну рівність для мас, об'ємів і густин свинцю і олова:  $m = m_c + m_o = \rho_c V_c + \rho_o V_o$ ,  $V = V_c + V_o$ , після перетворень можна

отримати:  $m = \rho_c (V - V_o) + \rho_o V_o$ . Звідси  $V_o = \frac{m - \rho_c V}{\rho_o - \rho_c}$ . Тоді  $m_o = \rho_o V_o$ . Після

цього знаходять  $\frac{m_o}{m}$ .

**23.** Потрібно знайти густину самої речовини піску. Густина піску  $\rho_n = \frac{m}{V}$ . Закривають нижній отвір шприца (20 мл) пластиліном.

Використовуючи лінійку, як важіль знаходять масу цього шприца  $m_1$ . (Масу шприца можна знайти і способом, описаним у задачі 17). Насипають у



шприц пісок так, щоб його об'єм був трохи меншим 20 мл. Знаходять масу шприца із піском  $m_2$ . Тоді маса сухого піску  $m_n = m_2 - m_1$ .

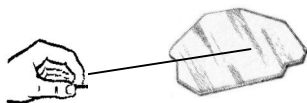
Меншим шприцом (5 мл) наливають у шприц з піском такий об'єм  $V_1$  води, щоб вона повністю покрила пісок. Бажано, щоб рівень води був на поділі  $V_2 = 20$  мл. Тоді об'єм сухого піску  $V_n = V_2 - V_1$ .

$$\text{Отже шукана густина піску } \rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V_2 - V_1}.$$

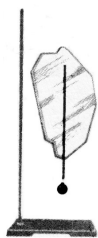
**24.** Виконують зважування тіла два рази: один раз поміщають його на ліву шальку, а другий раз – на праву. Зрівноваживши терези за допомогою важків можна записати умову рівноваги. Для першого зважування:  $Mg + m_{1ш}g = m_1g + m_{2ш}g$ , де  $M$  – маса тіла,  $m_1$  – маса різноважків,  $m_{1ш}$ ,  $m_{2ш}$  – маси відповідно першої і другої шальок.

Аналогічно для другого зважування  $Mg + m_{2ш}g = m_2g + m_{1ш}g$ ,  $m_2$  – маса різноважків. Додавши рівняння визначають масу:  $M = \frac{m_1 + m_2}{2}$ .

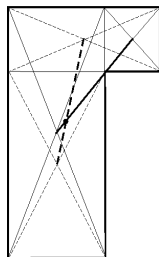
**25.** 1 спосіб. В пластинку вставити булавку, покласти пластинку на горизонтальну поверхню, зачепити нитку за булавку і привести пластинку в поступальний рух у певному напрямі. На пластинці провести лінію вздовж напрямку руху (вздовж нитки). Вставити булавку в іншому місці, зачепити нитку за булавку і повторити дослід. Точка перетину двох ліній, вздовж яких дія сил викликає поступальний рух, буде центром маси пластинки.



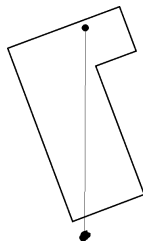
2 спосіб. Вставити булавку і підвісити на булавці пластинку і висок. На пластинці провести лінію вздовж нитки виска. Повторити дослід, підвісивши пластинку за булавку в іншому місці. Точка перетину проведених прямих є центром маси пластинки.



**26.** Спосіб 1. Розбивають фігуру на два прямокутники і знаходять центр маси кожного, провівши діагоналі. Сполучають лінією центри мас. (пунктирна лінія). Розбивають фігуру на два прямокутники іншим способом і знову знаходять центр маси кожного прямокутника. Сполучають їх суцільною лінією. Перетин цих двох ліній і дасть центр маси даної фігури.



Спосіб 2. До нитки чіпляють шматок пластиліну і підвішують за допомогою булавки нитку з пластиліном в деякій точці фігури. Проводять лінію вздовж нитки. Виконують аналогічні дії для іншої точки фігури. Перетин ліній дасть центр маси фігури.



### Спосіб 3.

Центр маси системи тіл, яка складається з  $n$  матеріальних точок у просторі, маси яких відповідно  $m_1, m_2, \dots, m_n$ , визначається через проекції на довільні осі координат за формулою:

$$x_{\text{ц}} = \frac{x_1 m_1 + \dots + x_n m_n}{\sum m}. \quad \text{Якщо тіло має вигляд}$$

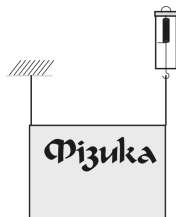
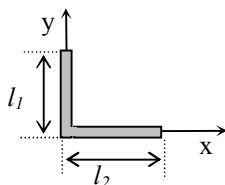
однорідної пластинки, то координати центра маси визначають за формулами

$$x_{\text{ц}} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2} \Rightarrow \frac{x_1 l_1 + x_2 l_2}{l_1 + l_2},$$

$$y_{\text{ц}} = \frac{y_1 m_1 + y_2 m_2}{m_1 + m_2} \Rightarrow \frac{y_1 l_1 + y_2 l_2}{l_1 + l_2} \quad \text{де } x_1 \text{ і } x_2, y_1 \text{ і } y_2 -$$

координати центра маси кожної частини.

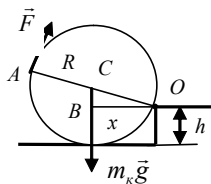
**27.** Книжку слід підвісити за дві нитки, до однієї з яких прикріпити динамометр. У цьому випадку покази динамометра дорівнюватимуть:  $F = \frac{mg}{2}$ .



**28.** Спочатку за допомогою лінійки та монети відомої маси  $m_m$  знаходять масу кульки  $m_k$ . Щоб кульку зафіксувати на лінійці використовують скотч.  $m_k = \frac{m_m \cdot l_2}{l_1}$ . (див. розв'язки

попередніх задач з використанням правила моментів).

Під дією прикладеної зовнішньої сили  $F$  кулька відірветься від столу, якщо її трохи повернути за стрілкою годинника навколо точки  $O$ . Момент сили тяжіння кульки відносно точки  $O$  перешкоджатиме цьому процесові.



Момент зовнішньої сили  $M_1 = F r_1$ , де  $r_1$  – плече сили

$F$  відносно точки  $O$ . Модуль сили  $F$  буде мінімальним при максимальному плечі  $r_1$ . Таким плечем буде діаметр кульки. Записують правило моментів  $F \cdot d = m_k g \cdot x$ . Плече сили тяжіння виражають з трикутника  $OBC$ .

$$x = \sqrt{R^2 - (R - h)^2} = \sqrt{dh - h^2}. \quad \text{Тоді} \quad F_{\min} = \frac{m_m l_2 g \sqrt{dh - h^2}}{l_1 d}.$$

Штангенциркулем вимірюють товщину пластинки  $h$  і діаметр кульки  $d$ .

**29.** Нахиляють коробку на ребро до рівноважного положення. Нехай при цьому кут нахилу коробки  $\alpha$ . Позначають  $a, b, c$  – довжини короткого, середнього, довгого ребра відповідно.

Умовою рівноваги коробки є рівність моментів сил  $Mg$  і  $mg$  відносно осі обертання, що проходить через точку  $A$ . Сила тяжіння, що діє на коробку,

прикладена в точці перетину діагоналей  $O'$ , а сила тяжіння, діюча на монету, прикладена в точці  $O''$ . Плечем сили  $Mg$  є відрізок  $GA$ . Його довжина дорівнює половині різниці  $AJ-HJ$ , де  $AJ$  і  $HJ$  - проекції ребер коробки  $c$  і  $a$  відповідно на горизонтальний напрям. Таким чином,

$$GA = (c \cos \alpha - a \sin \alpha) / 2. \quad (1)$$

Плечем сили  $mg$  є відрізок  $AF$ .  $AF = AO'' \cdot \cos(180^\circ - 45^\circ - \alpha)$  або

$$AF = \sqrt{2}R \cos\left(\frac{3\pi}{4} - \alpha\right) \quad (2)$$

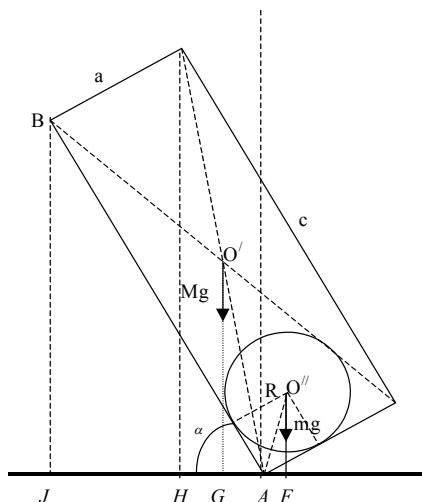
Записують з врахуванням (1) і (2) рівність моментів

$$\frac{Mg(c \cos \alpha - a \sin \alpha)}{2} = mg \cdot \sqrt{2}R \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{4} - \alpha\right). \quad (3)$$

Звідси визначають масу коробки  $M$ :

$$M = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot R \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{4} - \alpha\right)}{(c \cos \alpha - a \sin \alpha)} m = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{4} - \alpha\right)}{(c \cos \alpha - a \sin \alpha)} \pi R^3 h \rho. \quad (4)$$

При проведенні експерименту необхідно виміряти довжини  $a$ ,  $c$  коробки, товщину монети  $h$  (методом рядів, переставляючи монети) і її радіус  $R$ . Далі, кладуть в коробку монету, як показано на малюнку, вимірюють значення  $BJ$  і  $AJ$ , що відповідають положенню рівноваги коробки (коробку притримують рукою), обчислюють синус і косинус кута  $\alpha$ , і визначають за формулою (4) масу коробки.



### Тиск рідин. Архімедова сила

**30.** Вимірюють за допомогою динамометра вагу тіла з пластиліном  $P_1$ . Зануривши це тіло у воду, вимірюють його вагу у воді  $P_2$ .  $P_1 - P_2 = \rho_g g V_T$ ,

звідки  $V_T = \frac{P_1 - P_2}{\rho_g g}$ .  $P_1 = m_T g$ , звідки  $m_T = \frac{P_1}{g}$ . Тоді  $V_{пл.} + V_{цил.} = V_T$ .

Або  $\frac{m_{пл.}}{\rho_{пл.}} + \frac{m_{цил.}}{\rho_{цил.}} = V_T$ . Оскільки  $m_{пл.} = m_T - m_{цил.}$ , то  $\frac{m_T - m_{цил.}}{\rho_{пл.}} + \frac{m_{цил.}}{\rho_{цил.}} = V_T$ .

$m_{цил.} \left( \frac{1}{\rho_{цил.}} - \frac{1}{\rho_{пл.}} \right) + \frac{m_T}{\rho_{пл.}} = V_T$ , звідки  $m_{цил.} = \frac{(V_T \cdot \rho_{пл.} - m_T) \cdot \rho_{цил.}}{\rho_{пл.} - \rho_{цил.}}$ .

**31.** В основу методу гідростатичного зважування покладено зміну ваги тіла при його зважуванні у повітрі та в рідині. Для виконання роботи визначають за допомогою динамометра вагу  $P$  твердого тіла у повітрі та вагу  $P_1$  твердого тіла у воді. Для цього, не знімаючи тіло з гачка динамометра, повністю занурюють його у воду.

Різниця між вагою тіла в повітрі і вагою тіла в рідині дорівнює виштовхувальній силі:  $F_g = P - P_1$ . Оскільки  $P = \rho_m \cdot g \cdot V$ , а  $F_g = \rho_g \cdot g \cdot V$ , то, поділивши перше рівняння на друге, отримують формулу для обчислення

густини твердого тіла:  $\rho_m = \frac{\rho_g \cdot P}{F_g}$ . Якщо замість води взяти соляний

розчин, то з останньої формули його густина:  $\rho_{с.р.} = \frac{\rho_m \cdot F_g}{P}$ .

**32.** В плаваючий стаканчик поміщають таку кількість пластиліну, при якому він майже повністю занурюється у воду. Відзначають цей рівень. Пластилін виймають і замість нього наливають таку кількість води, при якій стаканчик занурюється до такого ж рівня. Вимірюють об'єм налитої води  $V_0$ . Її маса  $m = \rho_g V_0$ . Маса пластиліну буде такою ж. Це впливає з умови плавання стаканчика з пластиліном і з водою. Архімедова сила рівна в обох випадках, оскільки глибина занурення стаканчика в обох випадках однакова. Об'єм пластиліну  $V$  визначають, опустивши пластилін в мензурку з водою.

Тоді  $\rho = \frac{m}{V}$ .

**33.** Заклеюють отвір шприца пластиліном. Наливають в шприц стільки рідини, густину якої треба визначити, щоб після її занурення у посудину з водою він плавав в ній (вертикального плавання можна добитися додаючи пластилін). Записують умову плавання шприца:  $P_{ш} + P_p = \rho_g g V_g$  (1), де  $P_{ш}$  – вага шприца,  $P_p$  – вага наливої в шприц рідини,  $\rho_g$  – густина води,  $V_g$  – об'єм води, витіснений плаваючим шприцом.

Виливають рідину з шприца і наливають в нього воду. Шприц знову опускають в посудину з водою і, доливаючи або відливаючи воду, добиваються того, щоб він занурився у воду на ту саму глибину.

Знову записують умову плавання:  $P_{ш} + P_г = \rho_г g V_г$  (2), де  $P_г$  – вага наливої в шприц води. Порівнюючи (1) і (2), дістанемо  $P_г = P_p$  або,  $\rho_г g V_1 = \rho_p g V_2$  де  $V_1$  і  $V_2$  відповідно об'єми наливої в шприц води і рідини. Звідси  $\rho_p = \rho_г \frac{V_1}{V_2}$ .

**34.** Беруть дерев'яний брусок, який плаває у воді і в досліджуваній рідині. Опускають його в мензурку з водою. Вага тіла  $P = \rho_г g V_1$ , де  $V_1$  – об'єм зануреної частини тіла, а  $\rho_г$  – густина води.

Якщо опустити це саме тіло в мензурку з досліджуваною рідиною і позначити через  $\rho_x$  – густину рідини, а через  $V_2$  – об'єм зануреної частини тіла, то вага тіла виразиться так:  $P = \rho_x g V_2$ . Зіставивши записані вирази, отримують:  $\rho_г g V_1 = \rho_x g V_2$ , звідки  $\rho_x = \rho_г \frac{V_1}{V_2}$ .

**35.** Підвішують тягарець до динамометра і знаходять його вагу в повітрі  $P_1$ , у воді  $P_2$  та в рідині з невідомою густиною  $P_3$ . За законом Архімеда можна записати:  $P_1 - P_2 = \rho_г g V_1$  (1), де  $\rho_г$  – густина води,  $V_1$  – об'єм витісненої води;  $P_1 - P_3 = \rho_x g V_2$  (2), де  $\rho_x$  – густина невідомої рідини,  $V_2$  – об'єм витісненої рідини.  $V_1 = V_2 = V$ , де  $V$  – об'єм тягарця. Поділивши рівняння (1) на рівняння (2), отримують:  $\rho_x = \rho_г \frac{P_1 - P_3}{P_1 - P_2}$ .

**36.** Густину знаходять за формулою  $\rho = \frac{m}{V}$  (1), де  $m$  – маса бруска,  $V$  – об'єм бруска.

Опускають брусок у воду. Згідно умови плавання  $mg = \rho_г g V_3$ , де  $V_3$  – об'єм зануреної частини бруска. Вимірявши лінійкою довжину і ширину посудини (всередині), знаходять площу дна посудини  $S$ . Потім вимірюють висоту  $h_1$  рівня води до опускання бруска у воду і  $h_2$  – висоту рівня води після опускання бруска. Визначають об'єм витісненої води, який дорівнює об'єму зануреної частини:  $V_3 = S(h_2 - h_1)$ . Отже  $m = \rho_г S(h_2 - h_1)$ .

Об'єм бруска  $V = S(h_3 - h_1)$ , де  $h_3$  – висота рівня води в посудині при повному зануренні бруска (брусок занурюють у воду скляною паличкою).

Підставивши значення  $m$  і  $V$  у формулу (1), визначають густину.

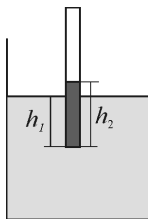
**37.** Відрізають кусок трубочки для коктейля. В один її кінець поміщають пластилін і опускають у посудину з водою. Змінюючи кількість пластиліну, добиваються плавання трубочки у вертикальному положенні (ареометр). За допомогою лінійки визначають висоту трубочки над водою  $h_2$ . Перенісши

ареометр у соляний розчин, визначають висоту  $h_2$ . Вимірюють всю висоту трубочки з пластиліном  $h$ . Згідно умови плавання у воді:  $mg = \rho_6 V_{31} g$ ,

у розчині солі:  $mg = \rho_c V_{32} g$ . Звідси  $\rho_6 V_{31} = \rho_c V_{32}$  або

$$\rho_6 S \cdot h_{31} = \rho_c S \cdot h_{32}. \text{ Звідси } \rho_c = \frac{\rho_6 h_{31}}{h_{32}} = \frac{\rho_6 (h - h_1)}{h - h_2}.$$

**38.** Опускають в посудину з водою трубочку і з шприца вливають в неї олію. Трубочку і олію можна розглядати як сполучені посудини. Тоді  $\rho_a g h_1 = \rho_o g h_2$ . Звідси  $\rho_0 = \frac{\rho_a h_1}{h_2}$ .



**39.** Зважують досліджуване тіло в повітрі і у воді, відзначаючи при цьому штрихами положення показчика динамометра. Нехай вага тіла в повітрі  $P_1 = mg = kx_1$ , а у воді  $P_2 = kx_2$ , де  $k$  – жорсткість пружини динамометра,  $x_1$  та  $x_2$  відповідно видовження пружини. Тоді, враховуючи силу Архімеда, можна записати:  $P_2 = P_1 - F_A$ . Або  $kx_2 = kx_1 - \rho_6 g V_m$ . Звідси об'єм тіла  $V_m = \frac{kx_1 - kx_2}{\rho_6 g}$ . Тоді густина тіла  $\rho = \frac{m}{V_m}$ .

$$\rho = \frac{kx_1}{g} \cdot \frac{\rho_6 g}{kx_1 - kx_2} = \frac{\rho_6 x_1}{x_1 - x_2}.$$

**40.** Визначають за допомогою динамометра вагу тіла у воді  $F_1$  і піднімають тіло вгору. Покази динамометра по мірі виринання з води будуть збільшуватись. Коли збільшення припиниться, це значить тіло вирине зовсім.

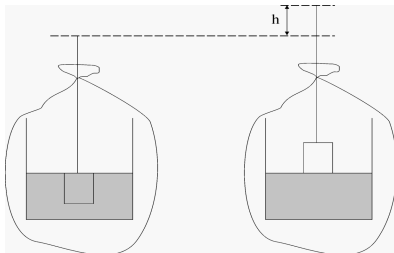
Тоді динамометр покаже вагу тіла у повітрі  $F_2 = mg$  (1).  $F_{виш} = F_2 - F_1$ ,

$$\rho_6 g V_m = F_2 - F_1. \text{ Звідси визначають}$$

об'єм тіла.  $V_m = \frac{F_2 - F_1}{\rho_6 g}$  (2). Густина

$$\rho = \frac{m}{V_m}. \text{ Після підстановки з (1) та (2)}$$

$$\text{отримують: } \rho = \frac{F_2 \rho_6}{F_2 - F_1}.$$



Визначають висоту циліндра. Динамометром фіксують момент коли тіло починає виринати (покази починають зростати, мал.1) і момент, коли тіло повністю виринуло (покази перестають зростати, мал.2). Відстань  $h$ , яку вимірюють лінійкою, і є висота циліндра.

**41.** Добавляють сіль у воду, так, щоб добитися спливання картоплини. В цьому випадку густина розчину і картоплини однакова. Знаючи початкову

масу води, масу розчиненої солі і, вимірявши за допомогою мензурки об'єм розчину, що вийшов, можна розрахувати його густину:  $\rho_p = \frac{m_e + m_c}{V_p}$ .

**42.** Для визначення густини відмічають початковий рівень води в посудині, опускають на нитці пластилін у воду і визначають зміну рівня води  $h_1$ . За цих умов об'єм шматка пластиліну  $V = Sh_1$ , де  $S$  – площа перерізу посудини (вважають, що посудина циліндрична).

Потім надають пластиліну форму човника, опускають на воду і визначають зміну рівня води  $h_2$ . З умови плавання човника  $mg = \rho_e g \cdot Sh_2$ .

Маса пластиліну  $m = \rho_e \cdot S \cdot h_2$ . Тоді густина  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{\rho_e \cdot h_2}{h_1}$ .

**43.** Підвішують до країв лінійки тягарці. Прив'язують нитку до центра лінійки. Утримуючи за нитку лінійку, опускають один з тягарців у посудину з водою і переміщують інший так, щоб лінійка знову перебувала в горизонтальному положенні. Записують правило моментів  $(mg - F_A)l_1 = mgl_2$ , де  $m$  – маса тягарця,  $l_1$  та  $l_2$  – плечі сил, що діють на тягарці. Оскільки об'єми  $V$  тягарців рівні, то  $(\rho V g - \rho_e V g)l_1 = \rho V g l_2$ , де  $\rho$  – шукана густина.  $\rho l_1 - \rho_e l_1 = \rho l_2$ . Звідси  $\rho = \frac{\rho_e l_1}{l_1 - l_2}$ .

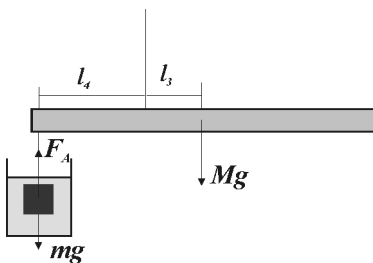
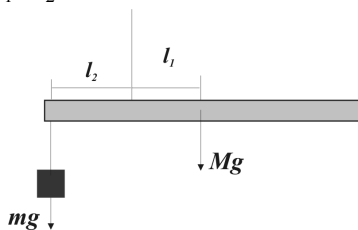
**44.** Зрівноважують лінійку, підвішену на нитці, знайшовши таким чином її центр мас. З пластиліну виготовляють кубик і визначають його об'єм  $V = a \cdot b \cdot c$ . Підвішують пластиліновий кубик до одного кінця лінійки і знову зрівноважують лінійку, переміщуючи нитку, на якій підвішена лінійка.

Згідно правила моментів

$Mgl_1 = mgl_2$  (1), де  $M$  – маса лінійки,  $m$  – маса кубика.

Опускають пластилін у посудину з водою до повного занурення. Знову зрівноважують лінійку і записують правило моментів з врахуванням архімедової сили  $F_A$ .  $Mgl_3 = (mg - F_A)l_4$ ,  $Mgl_3 = (mg - \rho g V)l_4$  (2). Виражають масу кубика з рівняння (1) і підставляють в

рівняння (2)  $ML_3 = \left( \frac{Ml_1}{l_2} - \rho V \right) l_4$ ,



$$Ml_3l_2 = Ml_1l_4 - \rho V l_2 l_4. \text{ Звідси } M = \frac{\rho V l_2 l_4}{l_1 l_2 - l_3 l_2}.$$

**45.** Використовуючи лінійку як важіль, проводять три зрівноваження. Один тягарець залишається в повітрі, а інший почергово в повітрі, у воді і в невідомій рідині. При цьому доцільно довжину плеча з другим тягарем залишати незмінною, а регулювати довжину плеча, до якого підвішений тягарець, що постійно знаходиться в повітрі.

Тоді  $m_1 g l_1 = m_2 g l$  (1);  $m_1 g l_2 = (m_2 - \rho_a V) g l$  (2);  $m_1 g l_3 = (m_2 - \rho_\delta V) g l$  (3), де  $m_1, m_2$  – маси тягарців,  $l$  – плече сили, що діє на перший тягарець,  $l_1, l_2, l_3$  – плечі сил, що діють на другий тягарець у кожному випадку.

Поділивши друге рівняння на перше і третє рівняння на перше, отримують:

$$\frac{l_2}{l_1} = 1 - \rho_e \frac{V}{m_2}; \quad \frac{l_3}{l_1} = 1 - \rho_\delta \frac{V}{m_2}.$$

Виключаючи з цих рівнянь  $\frac{V}{m_2}$ ,

$$\text{отримують: } \rho_\delta = \rho_a \frac{l_1 - l_3}{l_1 - l_2}.$$

**46.** Прив'язують нитку до центра лінійки. Перший (легший) тягарець підвішують до краю лінійки, а другий (важчий) так, щоб лінійка перебувала в рівновазі у горизонтальному положенні. Вимірюють плечі сил  $l_1$  і  $l_2$ . Опустивши перший тягарець у посудину з водою, і не змінюючи плече  $l_1$ , пересувають інший тягарець, щоб знову добитися рівноваги. Вимірюють плече сили  $l_3$ . В першому випадку  $m_1 g l_1 = m_2 g l_2$ . Об'єми тягарців однакові, тому  $\rho_1 V g l_1 = \rho_2 V g l_2$  або  $\rho_1 l_1 = \rho_2 l_2$  (1), де  $\rho_1$  – густина першого тягарця,  $\rho_2$  – густина другого тягарця.

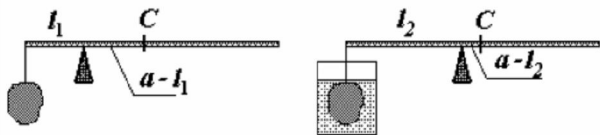
В другому випадку:  $(m_1 g - F_A) l_1 = m_2 g l_3$ ,  $(\rho_1 g V - \rho_e g V) l_1 = \rho_2 g V l_3$ ,  $(\rho_1 - \rho_e) l_1 = \rho_2 l_3$  (2),

Поділивши (2) на (1), отримують:  $\frac{\rho_1 - \rho_e}{\rho_1} = \frac{l_3}{l_2}$ . Або  $\frac{\rho_e}{\rho_1} = 1 - \frac{l_3}{l_2}$ . Звідси

$$\rho_1 = \frac{\rho_e \cdot l_2}{l_2 - l_3}. \text{ Тоді з рівняння (1) } \rho_2 = \frac{\rho_1 \cdot l_1}{l_2}.$$

**47.** Нехай  $a$  – відстань від точки кріплення нитки до центра маси лінійки.

Звичайно, для однорідної лінійки ця величина близька до половини довжини лінійки.



За допомогою нитки підвішують до лінійки шматок пластиліну і зрівноважують лінійку. Відстань від точки підвісу до опори  $l_1$ . Опускають



цей шматок пластиліну у воду і знову зрівноважують лінійку. Відстань від точки підвісу до опори  $l_2$ .

Умови рівноваги для двох випадків:  $\rho V g l_1 = m_{\text{л}} g (a - l_1)$  (1);  $(\rho - \rho_0) V g l_2 = m g (a - l_2)$  (2), де  $\rho_0$  – густина води,  $\rho$  – густина пластиліну,

$V$  – об'єм пластиліну,  $m_{\text{л}}$  – маса лінійки. Звідси  $\rho = \rho_0 \frac{a(l_2 - l_1)}{l_2(a - l_1)}$ . Масу лінійки також можна

визначити з цих рівнянь.  $m_{\text{л}} = \rho V \frac{l_1}{a - l_1}$ . Об'єм пластиліну  $V$  можна визначити або за

допомогою мензурки або зробивши з нього кубик і вимірявши довжини сторін. Тоді маса пластиліну  $m_{\text{пл}} = \rho V$ .

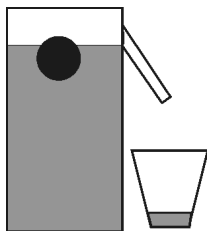
Для визначення густини крейди її слід повністю «загорнути» в цей шматок пластиліну. Потім за допомогою мензурки можна виміряти об'єм пластиліну з крейдою  $V_1$  (знаючи об'єм пластиліну можна знайти об'єм крейди:  $V_{\text{к}} = V_1 - V$ ), а масу цього утвореного тіла  $m_{\text{м}}$  легко виміряти за допомогою лінійки відомої маси  $m_{\text{л}}$  з відомим положенням центра маси.  $m_{\text{м}} g l_3 = m_{\text{л}} g (a - l_3)$ . Тоді маса крейди  $m_{\text{к}} = m_{\text{м}} - m_{\text{пл}}$ , а густина крейди

$$\rho_{\text{к}} = \frac{m_{\text{к}}}{V_{\text{к}}}.$$

**48.** Для визначення густини використовують формулу

$$\rho = \frac{m_{\text{к}}}{V_{\text{к}}}.$$

Наливають у відливу посудину воду до тих пір поки вона не почне виливатися у маленьку посудину. Опускають кульку на поверхню води. Частина води вилетіть. Згідно умови плавання:  $m_{\text{к}} g = \rho_{\text{в}} g V_3$ , де  $m_{\text{к}}$  – маса кульки,  $V_3$  – об'єм зануреної частини кульки, дорівнює об'єму води, що вилився. Переливають воду в шприц, отвір якого заліплено пластиліном і вимірюють об'єм вилитої води. Таким чином  $m_{\text{к}} = \rho_{\text{в}} V_3$ .



Щоб знайти об'єм кульки приліплюють до неї шматок пластиліну і опускають у відливу посудину, наповнену до верхньої межі. Знаходять за об'ємом вилитої води об'єм кульки з пластиліном  $V_1$ . Потім це ж саме роблять лише з шматком пластиліну і знаходять його об'єм  $V_2$ . Тоді об'єм кульки  $V_{\text{к}} = V_1 - V_2$ .

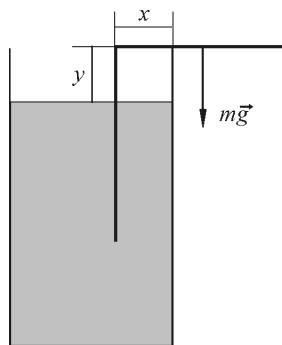
**49.** За допомогою лінійки знаходять середину дроту і згинають його пополам під прямим кутом. Знаходять довжину половини дроту  $l$ . Опускають дріт у воду і добираються рівноваги на краю склянки (одна половина дроту горизонтальна, друга вертикальна). Вимірюють відстань від середини дроту до точки опори  $x$  та відстань від середини дроту до поверхні води  $y$ .

Горизонтальну частину дроту вважають важелем, на який діє сила тяжіння  $mg$  з боку самого важеля (плече цієї сили  $\frac{l}{2} - x$ ) і різниця сили тяжіння, що діє на вертикальну частину дроту і сили Архімеда на занурену вертикальну частину дроту  $mg - \rho g S(l - y)$  (плече цієї сили  $x$ ).

Записують умову рівноваги важеля

$$(\rho S l \cdot g - \rho_g g S(l - y))x = \rho S l \cdot g \left( \frac{l}{2} - x \right).$$

$$\text{Звідси } \rho = \rho_g \frac{2x(l - y)}{l(4x - l)}.$$



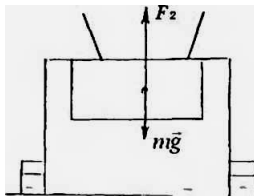
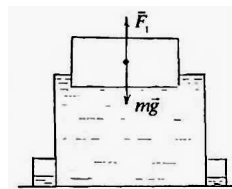
**50.** Наливають в один із стаканчиків деяку кількість води, об'єм якої вимірюють шприцом. Зрівноважують на лінійці його і порожній стаканчик. Опора знаходиться під центром маси лінійки. Тоді  $m_{cm} g l_1 = (m_{cm} + m_g) g l_2$ , де  $l_1$  і  $l_2$  – плечі сил тяжіння порожнього стаканчика і стаканчика з водою. Наливають в порожній стаканчик за допомогою шприца досліджувану рідину, причому її об'єм беруть рівним об'єму води. Отже,  $m_g = \rho V$ ,  $m_p = \rho_p V$ . Знову зрівноважують стаканчики з рідинami на лінійці:

$(m_{cm} + m_p) g l_3 = (m_{cm} + m_g) g l_4$ , де  $l_3$  і  $l_4$  – плечі сил тяжіння стаканчика з рідиною і стаканчика з водою. Виключивши з двох рівнянь  $m_{cm}$ , одержують:  $m_p = \frac{m_g(l_4 l_1 - l_2 l_3)}{(l_1 - l_2) l_3}$ . Звідки  $\rho_p = \frac{\rho_g(l_4 l_1 - l_2 l_3)}{(l_1 - l_2) l_3}$ .

**51.** Опускають дерев'яний брусок в наповнену по самі вінця посудину з водою, яка знаходиться в тарілці. Брусок перебуває в рівновазі і сила тяжіння зрівноважена силою Архімеда:  $mg = \rho_g g V_1$  (1), де  $\rho_g$  – густина води,  $V_2$  – об'єм витісненої рідини, що вилілася в поставлену тарілку, який вимірюється за допомогою мензурки.

За допомогою двох тонких паличок занурюють в наповнену по самі вінця посудину весь брусок. При цьому з наповненої посудини виліється рідина об'ємом  $V_2$ . Масу дерев'яного бруска можна виразити через шукану густину  $\rho_x$ :  $m = \rho_x V_2$  (2). З (1) і (2)

$$\rho_x = \rho_g \frac{V_1}{V_2} \quad (3).$$



В наповнену по вінця посудину з водою опускають зв'язані ниткою дерев'яний брусок і металеву деталь. Система тіл витіснить об'єм рідини  $V_3$ , і

в положенні рівноваги  $(m + m_y)g = \rho_e g V_3$  (4), де  $m_y$  – маса деталі. З (4), враховуючи (1) отримують:  $m_y = \rho_e (V_3 - V_1)$  (5).

За допомогою двох тонких паличок занурюють всю систему тіл у воду. З повністю наповненої посудини вилється об'єм рідини  $V_3$ . Об'єм металеві

деталі  $V_y = V_4 - V_2$ . Тоді густина сплаву

$$\rho = \frac{m_y}{V_y} = \rho_e \frac{V_3 - V_1}{V_4 - V_2}.$$

**52.** Для визначення процентного вмісту свинцю у сплаві можна виміряти густину  $\rho$  сплаву. Тоді

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{xm}{\rho_{св}} + \frac{(1-x)m}{\rho_{ол}}} = \frac{1}{\frac{x}{\rho_{св}} + \frac{1-x}{\rho_{ол}}}.$$

$$\text{Звідси } x = \frac{\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_{ол}}}{\frac{1}{\rho_{св}} - \frac{1}{\rho_{ол}}}, \text{ або } x = \frac{\rho_{св}(\rho - \rho_{ол})}{\rho(\rho_{св} - \rho_{ол})} \quad (1)$$

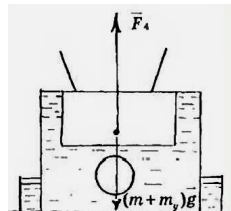
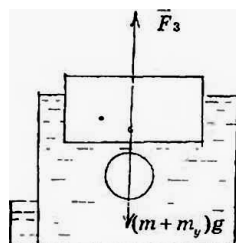
Для визначення густини можна скористатися методом гідростатичного зважування. Вага тіла у воді ( $P_1$ ) менша від ваги у повітрі ( $P$ ) внаслідок дії архімедової сили  $F_A$  з боку води (архімедовою силою у повітрі нехтують):

$$P_1 = P - F_A = P - \rho_e g V = mg - \rho_e g \frac{m}{\rho}.$$

$$\text{Звідси } \frac{P_1}{P} = 1 - \frac{\rho_e}{\rho}, \quad \text{тому} \quad \rho = \frac{\rho_e}{1 - \frac{P_1}{P}}.$$

Для порівняння  $P_1$  та  $P$  використовують лінійку як важіль (вісь  $O$  цього важеля може проходити через край стола або по верхньому краю круглого олівця).

Перш за все, зрівноважуючи лінійку, знаходять її центр маси. Потім, підвісивши до цього важеля надане тіло, можна встановити рівновагу переміщенням точки опори та порівняти вагу тіла з силою тяжіння лінійки  $G_L$ .  $P = G_L \frac{l_2}{l_1}$ . Потім підносять знизу до тіла посудину з водою та



$$\text{вимірюють } P_1. \quad P_1 = G_{\text{л}} \frac{l_2''}{l_1''}. \quad \text{Отже, } \frac{P_1}{P} = \frac{l_2' \cdot l_1}{l_1' \cdot l_2}, \quad \text{тобто } \rho = \frac{\rho_{\text{в}}}{1 - \frac{l_2' \cdot l_1}{l_1' \cdot l_2}}.$$

Залишається підставити значення густини у формулу (1).

**53.** На першому етапі розв'язання задачі треба виразити відношення мас посудин через відношення певних об'ємів, а на другому етапі – знайти метод визначення цього відношення без використання лінійки.

В одну посудину (назвемо її першою) наливають таку кількість води, щоб при опусканні цієї посудини у відро з водою вона занурювалася до країв, але не тонула. Згідно з умовою плавання тіл, маємо:  $m_1 g + \rho_0 g V_0 = \rho_0 (V_0 + V_1 + V_c) g$ , де  $m_1$  – маса першої посудини,  $\rho_0$  – густина води,  $V_0$  – об'єм води в посудині,  $V_1$  – об'єм посудини, не заповнений водою,  $V_c$  – об'єм скла, з якого виготовлена посудина. Звідси випливає:

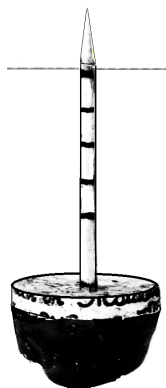
$$m_1 = \rho_0 (V_1 + V_c) = \rho_0 \left( V_1 + \frac{m_1}{\rho_c} \right); \quad m_1 = \frac{V_1}{\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_c}}. \quad \text{де } \rho_c - \text{ густина скла.}$$

$$\text{Аналогічно для маси другої посудини дістанемо: } m_2 = \frac{V_2}{\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_c}}. \quad \text{Отже}$$

$\frac{m_1}{m_2} = \frac{V_1}{V_2}$ . Відношення  $\frac{V_1}{V_2}$  можна визначити так: за допомогою груші доливають воду в меншу (першу) посудину до країв (від рівня  $V_0$ ), а потім наливають цей долитий об'єм води  $V_1$  в другу посудину стільки разів, скільки треба буде до її повного заповнення (від рівня  $V_0$ ). Число таких переливів і дорівнює шуканому відношенню  $\frac{V_2}{V_1}$ .

**54.** Із зубочистки, пробки і пластиліну виготовляють ареометр (одну з моделей якого можна побачити на малюнку).

Наливають в стакан чисту воду. Підбирають кількість пластиліну такою, щоб рівень води проходив по верхній границі рівної за товщиною частині зубочистки. Так буде визначена перша точка для градування виготовленого приладу. Видана сіль дозволить підготувати розчин відомої концентрації, наприклад, розчинивши 8 г солі в 200 мл води. Кількість води треба вимірювати мензуркою для забезпечення точності. Концентрація такого розчину  $8/200 = 0,04$ . Якщо розчин виявляється занадто густим (рівень розчину проходить нижче рівня пробки), то його можна



зробити менш густим додавши відому кількість води.

Поставивши другу мітку можна відградувати ареометр, використовуючи міліметровий папір, тобто нанести проміжні поділки. Завдяки тому, що переріз зубочистки є однаковим, шкала ареометра буде лінійною:

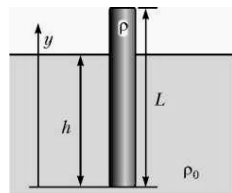
$$\rho_{розч} \cdot h \cdot S = \rho_{води} \cdot (h + \Delta h) \cdot S$$

$$\Delta h = \frac{\Delta \rho}{\rho_{води}} \cdot h$$

Після цього можна зробити замір невідомого розчину. Опускають наш ареометр у невідомий розчин. Відмічають поділку, яку вказує рівень розчину, це й буде невідома густина.

Враховуючи те, що досліди проводяться з малою концентрацією солі, можна вважати, що залежність густини від концентрації є лінійною.

**55.** Опускають олівець в пляшку – він плаватиме, як поплавок. Нехай  $L$  – довжина всього олівця,  $V$  – його об'єм,  $h$  – довжина зануреної у воду частини олівця,  $V_1$  – її об'єм,  $S$  – площа перерізу і  $d$  – діаметр олівця. Середня густина олівця  $\rho$  визначається з умови плавання тіла:  $\rho_0 g S h = \rho g S L$ , звідки  $\rho = \rho_0 \frac{h}{L}$ .

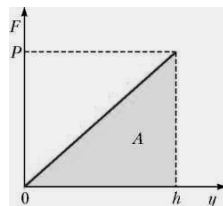


Припустимо, що олівець з постійною швидкістю витягують з води, використовуючи динамометр. Коли олівець вільно плаває, динамометр показує нуль. Якщо ж олівець повністю витягнути з води, то динамометр покаже силу, рівну вазі  $P$  олівця:  $F = P = mg = \rho g V = \rho_0 \frac{h}{L} g S L = \rho_0 h g \frac{\pi d^2}{4}$ .

Виходить, що покази динамометра при витягуванні олівця з води змінюються від 0 до  $P$  за лінійним законом. При цьому механічна робота  $A$  буде дорівнювати площі виділеного трикутника:

Виходить, що покази динамометра при витягуванні олівця з води змінюються від 0 до  $P$  за лінійним законом. При цьому механічна робота  $A$  буде дорівнювати площі виділеного трикутника:

$$A = \frac{1}{2} P h = \frac{\rho_0 h^2 g \pi d^2}{8}.$$



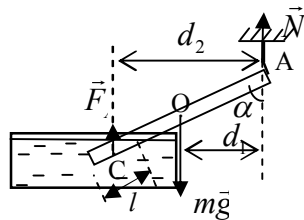
**56.** Прив'язують нитку до одного кінця палички і підвішують її до лапки штатива. Частково занурюють паличку у посудину з водою так, щоб вона не торкалася стінок посудини. Вимірюють довжину всієї палички  $L$  та довжину зануреної її частини  $l$ . Оскільки паличка перебуває в рівновазі, то записують правило моментів сил відносно точки  $A$ .

$mgd_1 = F_A d_2$ . Плече сили тяжіння  $d_1 = \frac{L}{2} \sin \alpha$ ,

а плече архімедової сили  $d_2 = \left(L - \frac{l}{2}\right) \sin \alpha$ . Тоді

$$\rho_o g L S \frac{L}{2} \sin \alpha = \rho_e g l S \left(L - \frac{l}{2}\right) \sin \alpha. \quad \text{Звідки}$$

$$\text{знаходять: } \rho_o = \rho_e \frac{l(2L - l)}{L^2}.$$



### Динаміка

57. Зв'язують гумові нитки, фіксують положення точки з'єднання і кінців ниток. Розтягують нитки і при цьому вимірюють видовження гумових ниток

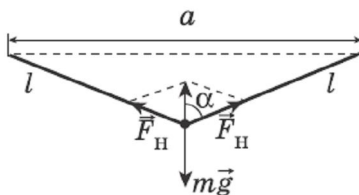
$$x_1 \text{ і } x_2. |F_1| = k_1 x_1; |F_2| = k_2 x_2. \text{ Оскільки } |F_1| = |F_2|, \text{ то } \frac{k_1}{k_2} = \frac{x_2}{x_1}.$$

58. Підвісивши до динамометра тіло відомої маси  $m_1$ , визначають його вагу:  $P = mg$  (1). Знімають тепер це тіло з динамометра, повертають динамометр гачком (до якого підвішували тіло відомої маси) угору і підвішують його за гачок. У цьому положенні пружина динамометра розтягнеться під дією його власної ваги  $P_x = m_x g$  (2), де  $m_x$  — маса динамометра. Знявши покази динамометра в другому випадку і поділивши рівняння (1) на рівняння (2), визначають невідому масу:  $m_x = m_1 \frac{P_x}{P_1}$ .

59. Записавши умову рівноваги пружини для тіла у повітрі  $kx_1 = mg$  і тіла, опущеного в посудину з водою  $kx_2 = mg + \rho_0 g V$ , дістають:  $k = \frac{\rho_0 g V}{x_1 - x_2}$ .

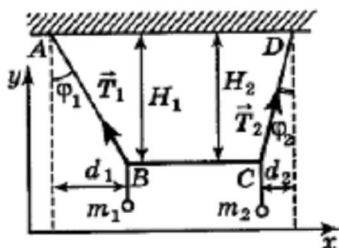
Вимірявши об'єм тіла  $V$  за допомогою мензурки і видовження пружини  $x_1$  і  $x_2$  у двох випадках, можна визначити жорсткість пружини.

60. Підвісивши вантаж до середини волосіні довжиною  $2l$ , розтягують її до розривання. Вимірявши відстані  $a$  і  $l$ , за яких настає розривання волосіні, можна розрахувати шукану силу.



$$mg = 2F_{\text{н}} \cos \alpha; F = \frac{mg}{2\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} = \frac{mg}{2\sqrt{1 - \left(\frac{a}{2l}\right)^2}}.$$

**61.** Збирають установку, зображену на малюнку. За допомогою скотча прикріплюють до краю лабораторного стола (точки A і D) листок міліметровки і нитку завдовжки 60-70 см. Прив'язують вантажі до нитки в довільних точках B і C. Переміщуючи уздовж нитки місце кріплення вантажів (точки B і C), добиваються, щоб її ділянка BC стала горизонтальною. У цьому випадку



$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{d_1}{H_1} = \frac{T_{1x}}{T_{1y}}; \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{d_2}{H_2} = \frac{T_{2x}}{T_{2y}}$ , де  $d_1, d_2, H_1, H_2$  – довжини проекції

ділянок AB і CD нитки на горизонтальну і вертикальну координатні осі,  $T_{1x}, T_{2x}, T_{1y}, T_{2y}$  – відповідні проекції сил  $T_1$  і  $T_2$  на ці ж осі. Оскільки  $H_1 = H_2$ ,

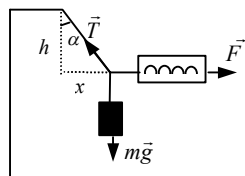
$T_{1x} = T_{2x}, m_1 g = T_{1y}, m_2 g = T_{2y}$ , то  $m_2 g = \frac{H_2 \cdot T_{2x}}{d_2} = \frac{T_{1y} \cdot d_1 \cdot T_{2x}}{T_{1x} \cdot d_2} = \frac{m_1 g \cdot d_1}{d_2}$ , або

$$m_2 = \frac{m_1 \cdot d_1}{d_2}.$$

**62.** Один із способів визначення маси зображено на малюнку. Підвішують до штатива пляшку з водою. Зачепивши динамометр за нитку, прикладають деяку силу  $F$ .

Тоді  $F = T \sin \alpha; mg = T \cos \alpha$ .

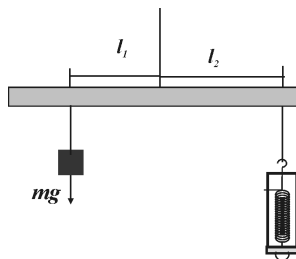
Поділивши перше рівняння на друге, отримують:  $\frac{F}{mg} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{h}$ , звідки  $m = \frac{Fh}{x}$ . Для



визначення відстаней  $x$  та  $h$  закріплюють в лапці штатива аркуш паперу, проектують на нього напрям нитки і будують прямокутний трикутник.

Другий спосіб видно теж з малюнка. Підвішують лінійку за середину до штатива. До однієї сторони лінійки ближче до точки підвісу підвішують пляшку з водою, до іншого кінця лінійки – динамометр. Зрівноважують даний важіль, прикладаючи до динамометра деяку силу  $F$ . Тоді згідно правила моментів

$$mgl_1 = Fl_2. \text{ Звідси } m = \frac{Fl_2}{gl_1}.$$



**63.** Для оцінки тиску вістря олівця на аркуш використовують формулу  $p = \frac{F}{S} (1)$ , де  $F$  – сила тиску вістря на папір. У даному випадку сила, з якою

олівець тисне на поверхню, чисельно дорівнює вазі олівця:  $F=P$ .

Вагу олівця можна знайти, використавши тягарець відомої маси, лінійку як важіль і застосувавши правило моментів.

Для того, щоб знайти площу вістря, проводять на папері щільно, одна до одної, кілька ліній. Використавши метод рядів, визначають товщину лінії, яка чисельно дорівнює діаметру вістря  $d_o$ . Звідси площа вістря  $S_B = \frac{\pi d_o^2}{4}$ .

Отже, тиск знаходять за формулою:

$$p = \frac{mg}{\frac{\pi d_o^2}{4}} = \frac{4mg}{\pi d_o^2}.$$

**64.** При падінні стержня  $l$  на горизонтальну площину він зміститься вліво на деяку відстань  $\Delta l = AB$ . (Щоб забезпечити вільне падіння стержня, нитку  $B\Gamma$  перепалують).

Відстань  $\Delta l$  знаходять з таких міркувань. Після перепалювання нитки стержень рухатиметься тільки під дією сили тяжіння (силою тертя в точці опори нехтують). Сила тяжіння прикладена до стержня в його центрі маси. Під дією однієї сили стержень рухатиметься в напрямі діючої сили. Отже, центр маси, який збігається з центром стержня (стержень однорідний), опускатиметься вертикально вниз і точка  $O$  потрапить у точку  $D$ . Кінець стержня з точки  $A$  зміститься в точку  $B$ .

З малюнка видно, що  $\Delta l = AB$ ,  $AB = BD - AD$ ,  $AD = AO \cdot \cos \alpha$ .

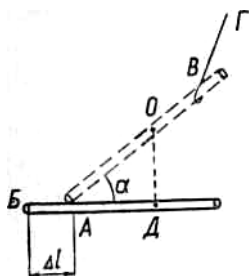
Оскільки  $AO = BD = 0,5l$ , то  $\Delta l = 0,5l - 0,5l \cdot \cos \alpha$ . Або

$$\Delta l = 0,5l \cdot 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

Змінюючи кут нахилу стержня  $\alpha$  і вимірюючи для кожного його значення зміщення  $\Delta l$ , приходять до висновку, що  $\Delta l \sim \alpha$ .

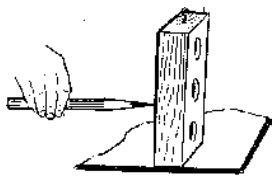
**65.** Один з способів визначення. Підвісивши брусок на гумовій нитці, вимірюють видовження нитки  $x_1$ . При цьому  $mg = kx_1$ . Рухають брусок рівномірно. Нитка розтягується. При цьому  $F_{тяги} = kx_2 = F_{тертя}$ .

$$\text{Тоді } \mu = \frac{F_{тертя}}{N} = \frac{F_{тертя}}{mg} = \frac{kx_2}{kx_1} = \frac{x_2}{x_1}.$$





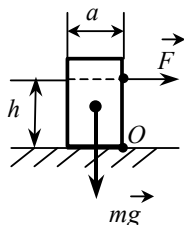
**66.** Для визначення коефіцієнта тертя ковзання потрібно поставити брусок торцевою частиною на дошку трибометра і привести його в рух, штовхаючи олівцем у горизонтальному напрямі. Повільно переміщуючи олівець уздовж вертикалі, фіксують висоту  $h$ , за якої поступальний рух (ковзання) переходить в обертотий. Для даної ситуації умова рівноваги (рівність моментів сил) бруска відносно точки  $O$



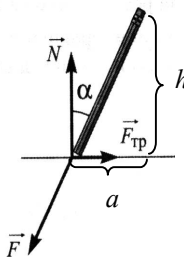
запишеться:  $Fh = mg \frac{a}{2}$ . Враховуючи, що за даних умов у горизонтальному напрямі

$$F = F_m = \mu \cdot N = \mu \cdot mg, \text{ одержують: } \mu mgh = \frac{mga}{2}.$$

$$\text{Звідси } \mu = \frac{a}{2h}.$$



**67.** Ставлять олівець загостреним кінцем на папір і тиснуть пальцем на верхній кінець. При малих кутах нахилу олівця з вертикаллю олівець не буде ковзати при будь-якій силі тиску  $F$ . Ця сила зрівноважується рівнодійною сил реакції опори  $N$  і сили тертя  $F_{тер.}$ . Збільшуючи кут нахилу, помічають положення олівця, коли почнеться проковзування по аркушу паперу.  $F_{тер.} = F \cdot \sin \alpha$ ;  $N = F \cdot \cos \alpha$ .

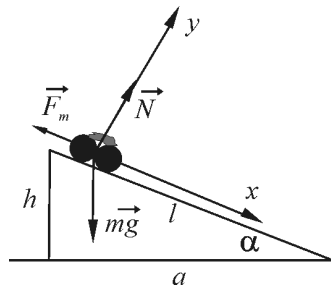


Враховавши, що  $F_{тер.} = \mu \cdot N = \mu \cdot F \cdot \cos \alpha$ ,

$$\text{отримують: } \mu = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha. \quad \tan \alpha = \frac{a}{h}, \text{ отже } \mu = \frac{a}{h}.$$

Лінійкою вимірюють відстані  $a$  і  $h$ , за яких починається проковзування.

**68.** Дві однакові кульки з'єднують між собою пластиліном так, щоб вони при скочуванні не оберталися. Якщо кульки покласти на жолоб і повільно піднімати його верхній кінець, то можна зафіксувати значення кута  $\alpha$ , за якого кульки починають ковзати. Умова рівноваги кульок для даного кута в проекціях на координатні осі запишеться так:



$$\text{Ох: } mg \cdot \sin \alpha - F_m = 0;$$

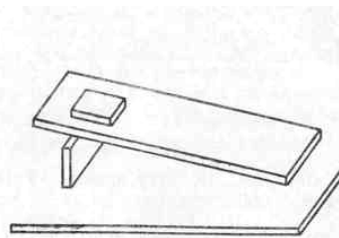
$$\text{Оу: } N - mg \cdot \cos \alpha = 0.$$

Враховуючи, що  $F_m = \mu N = \mu mg \cdot \cos \alpha$ , одержують:  $mg \cdot \sin \alpha = \mu mg \cdot \cos \alpha$ .

Звідси  $\mu = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{a}$ , де  $h$  – висота утвореної похилої площини,  $a$  –

довжина її основи.

**69.** Кладуть один кінець дошки на підставку. Зважують брусок на терезах і, визначивши його масу  $m$ , кладуть на піднятий кінець дошки. Переміщують підставку під дошкою так, щоб брусок почав вільно ковзати по дошці. Ковзаючи вниз, брусок рухатиметься з прискоренням  $a = \frac{2l}{t^2}$ , де  $l$  – довжина



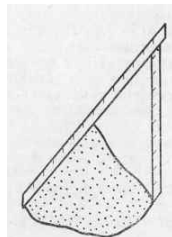
дошки, а  $t$  – час ковзання по ній. Силу тертя знаходять з рівняння:

$-F_m + mg \sin \alpha = am$ . Підставивши замість  $a$  його значення, отримують:  $-F_m + mg \frac{h}{l} = m \frac{2l}{t^2}$ , де  $\frac{h}{l} = \sin \alpha$ . Звідси  $F_m = m \left( g \frac{h}{l} - \frac{2l}{t^2} \right)$ .

Значення  $h$  і  $l$  знаходять вимірюванням.

**70.** Насипають купку сипкої речовини. Частинки сипкої речовини перестануть зсуватися за умови, що  $F_T = mg \cdot \sin \alpha$ . Коефіцієнт тертя  $\mu = \operatorname{tg} \alpha$  (див. розв'язання задачі 68). Розміщують лінійки так, як показано на малюнку, і вимірюють

$h$  і  $l$ . Тоді  $\mu = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}}$ .



**71.** За допомогою динамометра визначають вагу бруска і тягарця  $P$  (тягарець використовують для збільшення точності вимірювання). Рівномірно витягують динамометром брусок з навантаженим тягарцем вгору по похилій площині, фіксуючи силу  $F_1$ , а потім рівномірно тягнуть брусок з тягарцем донизу по площині, фіксуючи силу  $F_2$ . Тоді можна записати II закон Ньютона для двох рухів:

вгору:  $F_1 - \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha = 0$  (1);

вниз:  $F_2 - \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha = 0$  (2).

Додають ці два рівняння, а потім віднімають.

$F_1 + F_2 = 2\mu mg \cos \alpha$  (3);  $F_1 - F_2 = 2mg \sin \alpha$  (4). З рівняння (3)

$\mu = \frac{F_1 + F_2}{2mg \cos \alpha}$ . Оскільки  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$ ,  $P = mg$ , а з рівняння (4)

$$\sin \alpha = \frac{F_1 - F_2}{2mg}, \text{ то } \cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{(F_1 - F_2)^2}{(2P)^2}} = \frac{\sqrt{4P^2 - (F_1 - F_2)^2}}{2P}. \text{ Підставивши}$$

$$\text{в рівняння (3), отримуємо: } \mu = \frac{F_1 + F_2}{\sqrt{4P^2 - (F_1 - F_2)^2}}.$$

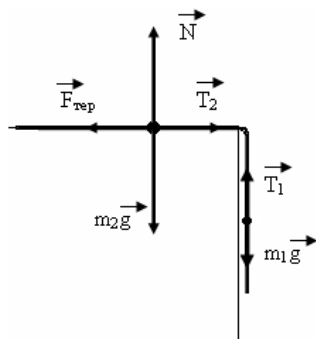
**72.** Нехай  $L$  – довжина шнура,  $m$  – його маса.

Одиниця довжини буде мати масу  $\frac{m}{L}$  (1). Поклавши шнур на стіл, повільно збільшують довжину тієї частини, яка звисає. При певному значенні цієї довжини, (нехай це буде  $x$ ), шнур почне зісковзувати зі столу.

Записують 2-й закон Ньютона для двох частин шнура:

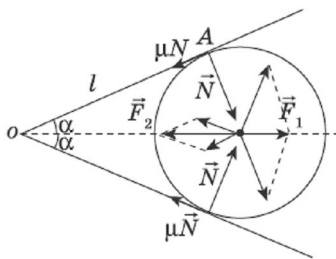
$$m_1 \vec{g} + \vec{T}_1 = m_1 \vec{a}_1, \quad m_2 \vec{g} + \vec{T}_2 + \mu \vec{N} = m_2 \vec{a}_2.$$

Шнур почне рухатись, коли сила натягу шнура у верхньому перерізі вертикальної ділянки зрівняється із силою тертя спокою, яка діє на горизонтальну частину, тому  $a_1 = a_2 = 0$ ,  $T_1 = T$ . Звідси  $m_1 g - T = 0$ ,  $T - \mu m_2 g = 0$ .



$$\text{Врахувавши (1): } \mu \frac{m}{L}(L-x) = \frac{m}{L}x. \text{ Отже, } \mu = \frac{x}{L-x}.$$

**73.** Поставивши лінійки на ребро і з'єднавши їхні кінці, помістити у вершину кута кулю. Утримуючи однією рукою кінці лінійок разом, зменшують кут між ними. Рівнодійна  $F_1$  сил нормального тиску витискуватиме кулю з вершини кута доти, поки ця сила не скомпенсується рівнодійною  $F_2$  сил тертя кулі об лінійки:  $F_1 = F_2$ . Тертям кулі об стіл можна знехтувати. Записавши умов рівноваги, отримують:  $2\mu N \cos \alpha = 2N \sin \alpha$ , де  $R$  – радіус кулі,



$l = OA$ . Звідси  $\mu = \tan \alpha = \frac{R}{l}$ . Радіус кулі можна визначити, прокотивши кулю по лінійці, щоб вона зробила  $n$  обертів і виміряти довжину лінії  $L$ . Тоді  $R = \frac{L}{2\pi n}$ .

**74.** Розміщують лінійку  $AB$  з таким максимальним нахилом, щоб вона була в положенні рівноваги. Умова рівноваги лінійки:

$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{m2} + \vec{Q} + \vec{F}_{m1} = 0$ , де  $mg$  – сила тяжіння,  $N$  – сила реакції в точці В,  $Q$  – сила реакції в точці А,  $F_{m2}$  – сила тертя в точці А,  $F_{m1}$  – сила тертя в точці В. В проекціях на осі:  $mg - N - F_{m2} = 0$ ,  $Q - F_{m1} = 0$ , або  $mg = N + F_{m2}$ ,  $Q = F_{m1}$ .

Оскільки  $F_{m1} = \mu N$ ,  $F_{m2} = \mu Q$ , то  $mg = N + \mu Q = N + \mu F_{m1} = N(1 + \mu^2)$ . Розглядають рух лінійки відносно осі, яка проходить через точку А.

Тоді  $mg \cdot \frac{l}{2} \cos \alpha + F_{m1} \cdot l \cdot \sin \alpha - N \cdot l \cdot \cos \alpha = 0$ , де  $l$  – довжина лінійки.

$$N(1 + \mu^2) \cos \alpha + 2\mu N \cdot \sin \alpha - 2N \cdot \cos \alpha = 0.$$

Отримується квадратне рівняння відносно  $\mu$ :  $\cos \alpha \mu^2 + 2 \sin \alpha \mu - \cos \alpha = 0$ .

$$D = 4 \sin^2 \alpha + 4 \cos^2 \alpha = 4.$$

$$\mu = \frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha}.$$

**75.** Ставлять лінійку на поверхню столу. Повільно відсовують нижній кінець, наприклад, лівої лінійки вліво. Як тільки нижній кінець правої лінійки почне ковзати, зупиняють його. Поруч з лінійками кладуть аркуш білого паперу, на якому відмічають положення нижніх кінців лінійок, а потім відстань  $x$  між відмітками вимірюють однією з лінійок. Для симетричної системи двох лінійок рівняння 2-го закону Ньютона в проекції на напрямок осі  $y$  має вигляд:  $0 = 2N - 2mg$  (1) (сили, що діють в т. А, не вказані), отже  $N = mg$  (2).

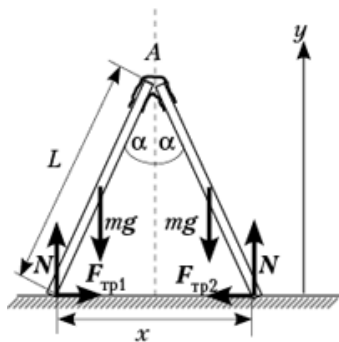
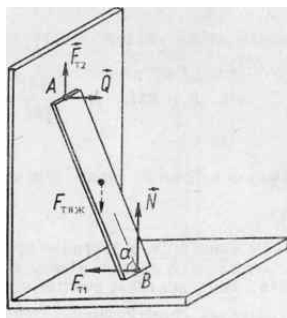
Для однієї з лінійок відносно т. А можна записати рівність моментів сил:

$$mg \frac{L}{2} \sin \alpha + F_{\text{тр}} L \cos \alpha = NL \sin \alpha \quad (3),$$

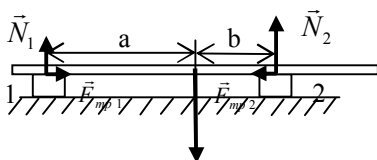
де  $F_{\text{тр}} = \mu N$  (4). З рівностей 2-4 отримують:  $\mu = \frac{1}{2} \tan \alpha$ , причому

$$\tan \alpha = \frac{x/2}{\sqrt{L^2 - (x/2)^2}}. \text{ Отже } \mu = \frac{x}{2\sqrt{4L^2 - x^2}}.$$

**76.** Кладуть лінійку на дві палички, що лежать на горизонтальній поверхні столу. Одночасно зрушують з місця палички і спостерігають за тим, що відбувається. Спочатку лінійка ковзає відносно першої палички, а відносно другої нерухома. Потім вона починає ковзати відносно другої палички, а відносно першої не рухається. Розглядають сили, які діють на лінійку у



момент зміни руху. Сила тертя спокою  $\vec{F}_{mp1}$  з боку палички 1 рівна за модулем силі тертя ковзання  $\vec{F}_{mp2}$  з боку палички



2. Тобто  $F_{mp1} = F_{mp2}$ . Виражають сили тертя через відповідні коефіцієнти тертя.  $F_{mp1} = \mu_c N_1$ ;  $F_{mp2} = \mu_k N_2$ . Тоді  $\mu_c N_1 = \mu_k N_2$ . Записують правило моментів відносно центра маси лінійки:  $N_1 a = N_2 b$ . З двох останніх рівнянь:

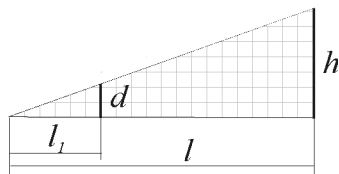
$$\frac{\mu_c}{\mu_k} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{a}{b}.$$

77. Фіксують час, за який заповнюється балон шприца водою. Проводять вимірювання кілька разів і знаходять середнє значення часу  $t$ . Об'єм води  $V$ , яка пройшла через штуцер за час  $t$  – це об'єм балона шприца.

Нехай швидкість води через штуцер  $v$ . За час  $t_1$  через штуцер пройде об'єм води  $V_1$ . Можна записати співвідношення  $\frac{V}{V_1} = \frac{t}{t_1}$  або  $\frac{V}{t} = \frac{V_1}{t_1}$ . Об'єм

$V_1 = l \cdot S = v \cdot t_1 \cdot S$ , де  $l$  – довжина штуцера,  $S$  – площа поперечного перерізу його отвору. Звідси  $v \cdot S = \frac{V_1}{t_1} = \frac{V}{t}$ ,  $v = \frac{V}{S \cdot t}$ .

Щоб знайти площу перерізу отвору штуцера вирізають з міліметрового паперу прямокутний трикутник, вставляють тонким кінцем в отвір штуцера і відмічають на трикутнику положення, коли він вже не рухається всередину штуцера. Це буде діаметр отвору. З подібності прямокутних



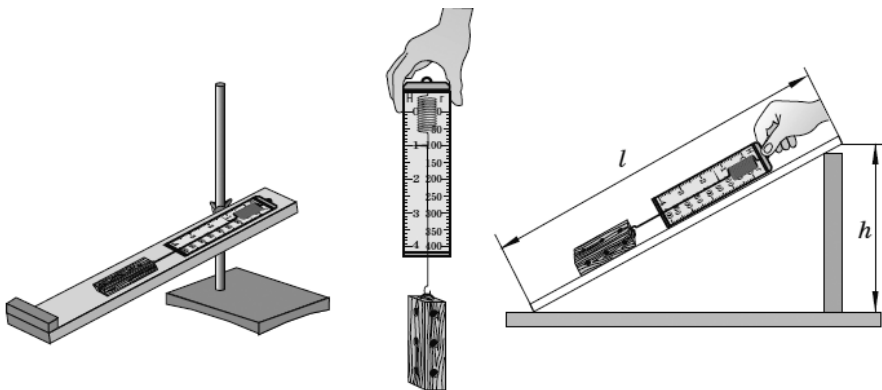
трикутників  $\frac{d}{h} = \frac{l_1}{l}$ ,  $d = \frac{h \cdot l_1}{l}$ . Тоді площа перерізу  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ .

## Закони збереження

78. Встановлюють трибометр (дошку) похило так, щоб висота  $h$  була 10 см і вимірюють довжину похилої площини  $l$ . Підвішують брусок до динамометра і вимірюють вагу бруска  $P=F_1$ . Вимірюють силу тяги  $F_2$  при рівномірному русі бруска вздовж похилої площини. Корисна робота:  $A_1=F_1h$ ,

повна робота:  $A_2=F_2l$ . ККД похилої площини  $\eta = \frac{A_1}{A_2} \cdot 100\% = \frac{F_1 \cdot h}{F_2 \cdot l} \cdot 100\%$ .

Змінюючи висоту похилої площини змінюватиметься синус кута нахилу площини  $\sin \alpha = \frac{h}{l}$  і коефіцієнт корисної дії  $\eta$ . Обчислюють ці значення і будують графік залежності.

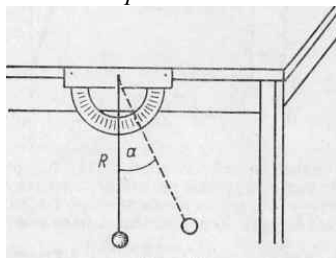


79. Закріплюють на столі транспортер і підвішують на нитці кульку, як показано на малюнку. Відводять кульку на деякий кут  $\alpha$  і пускають її. Кулька рухатиметься по дузі радіуса  $R$ . Максимальна сила натягу нитки  $F_n$  буде в момент проходження кулькою положення рівноваги. Її

модуль:  $F_n = \frac{mv^2}{R} + mg$  (1), де  $v$  – модуль швидкості кульки,

$v = \sqrt{2gh}$  (2),  $m$  – її маса, а  $h$  – висота кульки відносно положення рівноваги. Поступово збільшують кут відхилення. При деякому значенні  $\alpha$  нитка розірветься.

Вимірюють транспортиром цей кут. З малюнка видно, що  $h = R - R \cos \alpha$  (3). Після підстановки в (1) виразів (2) і (3) та відповідних перетворень знаходять модуль шуканої сили натягу нитки:  $F_n = mg(3 - 2 \cos \alpha)$ .



**80.** Підвішують на висоті  $h_1$  від поверхні стола металеву і пластилінову кульки на нитках однакової довжини так, щоб вони дотикались одна до одної. Відводять металеву кульку вбік, піднявши її на висоту  $h_2$  над поверхнею стола. Рівень на висоті  $h_1$  вважатиметься нульовим. Тоді відведена металева кулька матиме потенціальну енергію  $mg(h_2 - h_1)$ . Відпускають цю кульку. В момент зіткнення з пластиліною кулькою вона матиме швидкість  $v_1 = \sqrt{2g(h_2 - h_1)}$ . Оскільки удар непружний, то після зіткнення обидві кульки набудуть швидкості  $v_2$ . За законом збереження імпульсу:

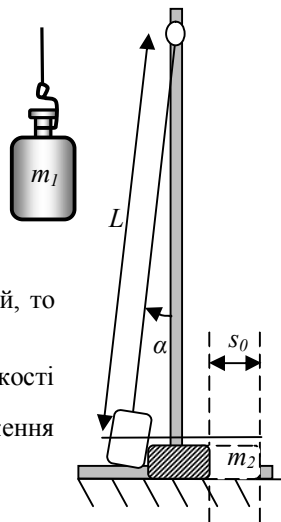
$$m_1 \sqrt{2g(h_2 - h_1)} = (m_1 + m_2) v_2, \text{ звідки } v_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \sqrt{2g(h_2 - h_1)}.$$

Далі використовують лінійку як важіль, підвісивши її на нитці за середину, тобто за центр маси. Підвішують кульки до кінців лінійки і, змінюючи плечі відповідних сил, добиваються рівноваги лінійки. Вимірявши плечі  $l_1$  і  $l_2$  сил тяжіння кульок знаходять відношення мас  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{l_2}{l_1}$  або  $m_2 = m_1 \frac{l_1}{l_2}$ . Тоді остаточно  $v_2 = \frac{l_2}{l_2 + l_1} \sqrt{2g(h_2 - h_1)}$ .

**81.** Коефіцієнт тертя можна знайти використовуючи силу тертя спокою. Звичайно, при цьому треба враховувати різницю між коефіцієнтом тертя спокою та ковзання. Збирають наступну установку:

Важок підвішують на нитці на штатив за допомогою дроту, так, щоб підвіс виявився симетричним.

Зсуваючи шашку та підштовхуючи нею важок, намагаються максимально відхилити важок, коли шашка ще може утримуватися силою тертя спокою. Тоді умова рівноваги дасть рівняння:



$$\mu \cdot m_2 g = m_1 g \cdot \tan \alpha \quad (1). \text{ Оскільки кут } \alpha \text{ дуже малий, то}$$

можна вважати, що  $\tan \alpha \approx \frac{s_0}{L}$ . Для визначення швидкості руху важка перед ударом використовують закон збереження енергії:

$$m_1 g h = \frac{m_1 v_1^2}{2}; \quad v_1 = \sqrt{2gh}; \quad v_1 = \sqrt{2g(l - \sqrt{l^2 - s_1^2})} \quad (2)$$

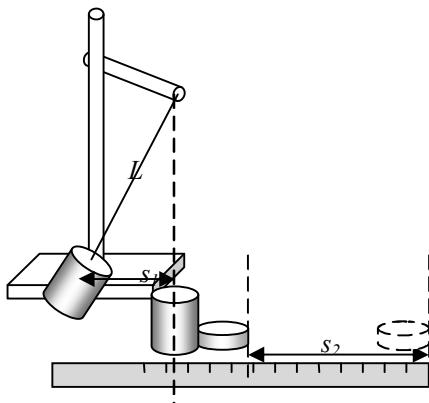
Для визначення швидкості руху шашки теж використовують закон збереження енергії, але враховуючи втрати енергії на подолання сили

тертя ковзання:  $\frac{m_1 v_2^2}{2} = \mu m_2 g s_2$ .

Звідси  $v_2 = \sqrt{2\mu g s_2}$ .

Сюди можна у першому наближенні підставити значення коефіцієнта тертя з (1). Після

підстановки:  $v_2 = \sqrt{2g s_2 \frac{m_1 s_0}{m_2 L}}$  (3)



### Механічні коливання і хвили

**82.** Відводять кульку від положення рівноваги на відстань 5-8 см, відпускають її та вимірюють час  $t$ , за який маятник здійснить 20-30 повних коливань  $n$ . Повторюють вимірювання часу ще двічі та знаходять середнє значення  $t_c$ . Визначають період  $T$  та частоту  $\nu$  коливань маятника

відповідно зі співвідношень  $T = \frac{t}{n}$  і  $\nu = \frac{1}{T}$ .

Проводять аналогічні вимірювання, змінивши довжину нитки і будують графік.

**83.** Один із способів визначення: Щоб визначити радіус кульки математичного маятника, треба двічі знайти період коливання маятника: один раз довжиною  $l$ , а другий раз – довжиною  $l-d$ , де  $d$  – діаметр кульки. Для цього фіксують положення верхньої точки кульки і вкорочують нитку так, щоб в цьому положенні була нижня точка кульки. Тоді в першому

випадку  $T_1 = \frac{t_1}{n_1}$ ,  $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ . Звідси  $l = \frac{t_1^2 g}{4\pi^2 n_1^2}$ .

Аналогічно  $l-d = \frac{t_2^2 g}{4\pi^2 n_2^2}$ . Звідси  $d = \frac{g}{4\pi^2} \left( \frac{t_1^2}{n_1^2} - \frac{t_2^2}{n_2^2} \right)$ ,  $r = \frac{g}{8\pi^2} \left( \frac{t_1^2}{n_1^2} - \frac{t_2^2}{n_2^2} \right)$ .

**84.** Одночасно відпускають маятники і рахують кількість коливань  $N_1$ , які здійснить коротший маятник до того часу, коли маятники знову разом пройдуть точку максимального відхилення. Тоді довший маятник за цей час



здійснить  $N_2 = N_1 - 1$  коливання. З формул  $T = \frac{t}{N}$  і  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  для двох

маятників можна записати:

$$\frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{l_1}{l_2}}. \text{ Звідки } \frac{l_1}{l_2} = \frac{N_2^2}{N_1^2}.$$

**85.** Закріплюють на універсальному штативі спіральну пружину. До пружини підвішують тягарець відомої, а потім невідомої маси і визначають за допомогою секундоміра час, протягом якого маятники здійснюють  $n$  коливань ( $n = 50-100$ ).

Відомо, що гармонічні коливання тіла масою  $m$  виникають під дією сил пружності пружини з жорсткістю  $k$ . Період коливання такого маятника визначають за формулою:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$  (1).

Період коливання  $T$  можна визначити також через проміжок часу  $t$  за який маятник здійснить  $n$  коливань:  $T = \frac{t}{n}$  (2).

Якщо в експерименті число коливань  $n$  обох маятників однакове,

то з (1) і (2):  $m = m_0 \frac{t^2}{t_0^2}$ , де  $m_0$  – маса еталонного тіла,  $m$  – шукана маса тягарця,  $t_0$  і  $t$  відповідно проміжки часу, за які обидва маятники здійснюють однакове число коливань  $n$ .

**86.** Підвішують тягарці до пружин. Відводять тягарці вниз від положення рівноваги і одночасно відпускають. Рахують кількість коливань  $N_1$ , які здійснить перший маятник до того часу, коли маятники знову разом пройдуть точку максимального відхилення. Тоді другий маятник за цей час здійснить  $N_2 = N_1 \pm 1$  коливання. (Знак  $+$ , якщо перший маятник відстає, тобто його період коливань більший,  $-$ , якщо випереджає, тобто період коливань менший).

Враховуючи, що  $T = \frac{t}{N}$  і  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ , можна записати

$$\frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{m_1 \cdot k_2}{m_2 \cdot k_1}} \quad (1).$$

Тепер міняють тягарці місцями і знову роблять той же дослід. Аналогічно потрібно порахувати кількість коливань  $N_3$ , які здійснить перший маятник до того часу, коли маятники знову разом пройдуть точку максимального відхилення. Тоді другий маятник за цей час здійснить  $N_4$

$$= N_3 \pm 1 \text{ коливання. } \frac{N_4}{N_3} = \sqrt{\frac{m_2 \cdot k_2}{m_1 \cdot k_1}} \quad (2).$$

Помноживши рівняння (1) на рівняння

(2) знаходять відношення:  $\frac{k_2}{k_1} = \frac{N_2 \cdot N_4}{N_1 \cdot N_3} = \frac{N_1 \pm 1}{N_1} \cdot \frac{N_3 \pm 1}{N_3}$ . Поділивши

рівняння (2) на рівняння (1), отримують відношення мас:

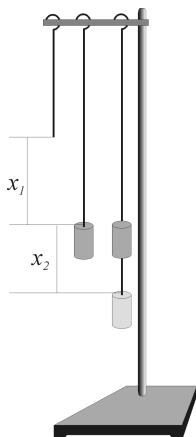
$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{N_1 \cdot N_4}{N_2 \cdot N_3} = \frac{N_1}{N_1 \pm 1} \cdot \frac{N_3 \pm 1}{N_3}.$$

**87.** Підвісити тягарець на гумовій нитці і виміряти розтяг нитки  $x_1$ . Умова рівноваги  $mg = kx_1$ . Відводять від положення рівноваги тягарець на відстань  $x_2$  і відпускають. Максимальною буде швидкість в момент проходження положення рівноваги. Згідно закону збереження енергії для крайнього положення і

положення рівноваги:  $\frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{kx_2^2}{2}$ . Звідси

$$v_{\max} = x_2 \sqrt{\frac{k}{m}} = x_2 \sqrt{\frac{g}{x_1}}.$$

$$\text{Період коливань } T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{x_1}{g}}.$$



**88.** Виготовляють з риболовецької волосіні та порожніх пляшок маятники максимально можливої довжини, підібравши довжину маятників так, щоб вони тривалий час (хоча б 10-20 коливань) коливалися синхронно.

Для підвищення точності вимірювань треба:

- по-перше, довжину волосіней кожного маятника брати якомога довшою (для цього пляшки мають бути нижче рівня столу і ближче до підлоги);
- по-друге, щоб виключити обертання та зіткнення пляшок спочатку за допомогою шматочків сірника підвішують кришки обох пляшок (на одній висоті) через отвір в центрі, а вже потім накручують їх на пляшки;
- початкове відхилення маятників від положення рівноваги не має бути занадто великим.

Заповнюють одну пляшку водою, синхронно запускають маятники, рахують коливання порожньої пляшки та спостерігають за різницею фаз коливань. Коливання рахують до тих пір, поки обидва маятники знов не будуть рухатися синхронно. У цей момент часу маятник з порожньою пляшкою зробив  $N_0$  коливань, а маятник з заповненою пляшкою  $N_1 = N_0 - 1$  коливань.

$$\text{Оскільки } T = \frac{t}{N}, \text{ відношення періодів } \frac{T_1}{T_0} = \frac{N_0}{N_1} = \frac{N_0}{N_0 - 1}.$$

$$\text{Наприклад, при } N_0 = 20 \text{ маємо } \frac{T_1}{T_0} = \frac{20}{20 - 1} \approx 1,05.$$

Враховуючи, що період коливань нитяного маятника пропорційний  $\sqrt{l}$ , де  $l$  – довжина маятника, можна отримати:

$$\frac{T_1}{T_0} = \sqrt{\frac{l_1}{l_0}}, \text{ або } \left(\frac{T_1}{T_0}\right)^2 = \frac{l_1}{l_0} = \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = 1 + \frac{\Delta l}{l_0},$$

$$\text{звідки } \frac{\Delta l}{l_0} = \left(\frac{T_1}{T_0}\right)^2 - 1 = \left(\frac{N_0}{N_1}\right)^2 - 1 = \left(\frac{N_0}{N_0 - 1}\right)^2 - 1.$$

$$\text{У розглянутому раніше прикладі } \frac{\Delta l}{l_0} = \left(\frac{20}{20 - 1}\right)^2 - 1 \approx 0,11.$$

89. Натиснувши і відпустивши гумову трубку, приводять стовпчик рідин в U-подібній трубці в коливальний рух. Якщо зміщення рідини в одному з колін манометра  $x$ , то різниця рівнів в обох колінах манометра дорівнює  $2x$ . Рідина коливається під дією сили  $F$ , яка дорівнює вазі стовпчика рідини, висотою  $2x$ . Тоді  $F = 2\rho g S x$ , де  $\rho$  – густина води,  $g$  – прискорення вільного падіння,  $S$  – площа поперечного перерізу трубки.

За законом Гука модуль сили пружності  $F = kx$ , тоді  $k = 2\rho g S$ . Секундоміром визначають проміжок часу  $t$ , за який стовпчик води зробить  $n$

коливань. Врахувавши, що  $T = \frac{t}{n}$  і  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$  отримують:  $\frac{t}{n} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2\rho g S}}$ ,

де  $m$  – маса води в манометрі, причому  $m = \rho l S$ . Тоді  $\frac{t}{n} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{2g}}$ . Звідси можна

знайти довжину стовпчика води в манометрі:  $l = \frac{gt^2}{2\pi^2 n^2}$ . Вимірявши

мензуркою об'єм  $V$  води в манометрі, знаходять поперечний переріз:  $S = \frac{V}{l}$ ;

$$S = \frac{2\pi^2 n^2 V}{gt^2}.$$

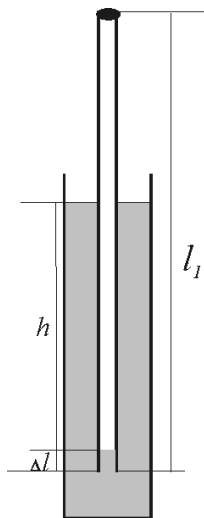
**90.** Вимірюють лінійкою довжину трубки  $l_1$ .

Закривши пластиліном один отвір трубки, опускають її відкритим кінцем у посудину з водою. Вимірюють відстань від поверхні води в посудині до рівня води в трубці  $h$  і висоту стовпчика води, що зайшов у трубку  $\Delta l$ .

Записують закон Бойля-Маріотта для двох станів  $p_a V_1 = p_2 V_2$ , де  $p_a$  – атмосферний тиск,  $p_2$  – тиск повітря в трубці,  $V_1 = S l_1$ ,  $V_2 = S(l_1 - \Delta l)$ , де  $S$  – площа поперечного перерізу трубки.

Тиск в рідині на одному рівні однаковий, тому для рівня  $h$  можна записати  $p_2 = p_a + \rho g h$ , де  $\rho$  – густина води. Після підстановки у закон Бойля-Маріотта отримаємо:

$$p_a l_1 = (p_a + \rho g h)(l_1 - \Delta l). \text{ Звідси } p_a = \frac{\rho g h(l_1 - \Delta l)}{\Delta l}.$$

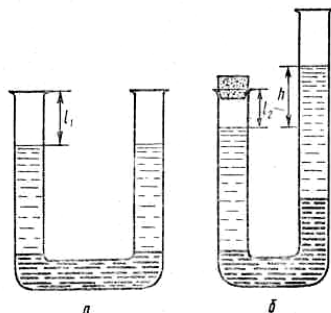


**91.** Заповнюють трубки водою. Закривши корком один з кінців трубки, піднімають другу трубку на деяку висоту і визначають різницю рівнів води  $h$  у трубках.

Повітря в закритій трубці стискається при сталій температурі і описується законом Бойля-Маріотта  $p_a V_1 = p_2 V_2$ .

$V_1 = S l_1$ ,  $V_2 = S l_2$ , де  $S$  – площа перерізу трубки,  $l_1, l_2$  – висоти стовпчиків повітря у трубці,  $p_a$  – атмосферний тиск.  $p_2 = p_a + \rho g h$ , де  $\rho$  –

густина води. Тоді  $p_a = \frac{\rho g h l_2}{l_1 - l_2}$ .



**92.** Занурюють капілярну трубку у воду і визначають висоту підняття води  $h_1$ . Записують умову рівноваги стовпчика

води у капілярі:  $\rho_g g h_1 = \frac{2\sigma_g}{r}$  (1), де  $\sigma_g$  – коефіцієнт поверхневого натягу води,  $\rho_g$  – густина води,  $r$  – радіус капіляра.

Потім, щільно закривши верхній кінець трубки, нижній відкритий кінець знову занурюють у воду. Вода підніметься в капілярі тепер на меншу висоту  $h_2$ . Умова рівноваги стовпчика води в капілярі в цьому

випадку:  $p_1 + \rho_g g h_2 = p_{атм} + \frac{2\sigma_g}{r}$  (2), де  $p_1$  – тиск повітря в капілярі,  $p_{атм}$  –

атмосферний тиск. Оскільки процес стискання повітря в капілярі при зануренні його у воду в цьому випадку ізотермічний, то тиск  $p_1$  можна записати через  $p_{атм}$  так:  $p_1 = p_{атм} \frac{h}{h - h_2}$  (3), де  $h$  – довжина капілярної

трубки. Записують рівняння (2) з врахуванням (1) і (3).

$p_{атм} \frac{h}{h-h_2} + \rho_6 g h_2 = p_{атм} + \rho_6 g h_1$ . Отже, вимірявши  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h$ , атмосферний

тиск знаходять за формулою:  $p_{атм} = \frac{\rho_6 g (h_1 - h_2)(h - h_2)}{h_2}$ .

**93.** Вимірюють температуру повітря в кімнаті  $t_c$ . Змочивши ватку водою, обгортають резервуар термометра. Коливним рухом аркуша паперу утворюють конвекційні потоки повітря біля термометра і визначають температуру вологого термометра  $t_6$ , коли його покази перестануть змінюватися. Використовуючи психрометричну таблицю визначають відносну вологість повітря  $\varphi$ . Скориставшись таблицею залежності тиску і густини насиченої пари від температури, визначають тиск насиченої пари  $p_n$  при температурі, яка відповідає показам сухого термометра. За формулою

$\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100\%$  визначають тиск водяної пари  $p$ , а за таблицею густину

водяної пари  $\rho$ , яка відповідає цій температурі. Враховуючи, що  $\rho = m_0 \cdot n_0$ ,

а  $m_0 = \frac{\mu}{N_A}$ , де  $\mu$  – молярна маса води, визначають концентрацію молекул  $n_0$ :

$n_0 = \frac{\rho \cdot N_A}{\mu}$ . З рівняння  $p = n_0 \cdot k \cdot T$  визначають сталу Больцмана:

$$k = \frac{p}{n_0 \cdot T} = \frac{p \cdot \mu}{\rho \cdot N_A \cdot T}.$$

**94.** Спочатку вимірюють температуру повітря в кімнаті  $t_c$ . Змочивши шматок тканини водою, обгортають ним резервуар термометра. Коливним рухом аркуша паперу утворюють навколо термометра конвекційні потоки повітря і фіксують значення температури вологого термометра  $t_6$ , коли його покази перестануть змінюватися. Використовуючи психрометричну таблицю, визначають відносну вологість повітря  $\varphi$ . Скориставшись таблицею залежності тиску і густини насиченої пари від температури, визначають тиск насиченої пари  $p_n$  при температурі, яка відповідає показам

сухого термометра. За формулою  $\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100\%$  визначають тиск водяної

пари  $p$ , а за таблицею густину водяної пари  $\rho$ , яка відповідає цій температурі.

Тоді з рівняння Менделєєва-Клапейрона  $pV = \frac{m}{M} RT$  можна визначити

універсальну газову сталу:  $R = \frac{pVM}{mT} = \frac{pM}{\rho T}$ .

**95.** Наливають в прозорий стаканчик крижану воду і опускають в неї термометр. Через деякий час зовнішні стінки стаканчика запотіють. Дуже

повільно доливають з другого стаканчика гарячу воду, поки не зникне роса на стінках. Помічають температуру, при якій зникла роса (точка роси). За таблицею залежності тиску і густини насиченої пари від температури визначають парціальний тиск водяної пари  $p$  в класі. Потім, вимірявши кімнатну температуру, визначають максимальний тиск водяної пари  $p_0$  в класі. За формулою  $\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\%$  знаходять відносну вологість повітря в класі.

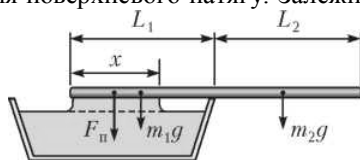
**96.** Пластиліном закривають отвір шприца. Якщо від піпетки відривається краплина, то умова відриву:  $\sigma \cdot 2\pi r = mg$ .  $\sigma = \frac{\rho V_o g}{2\pi r} = \frac{\rho V g}{n \cdot 2\pi r}$ , де  $\rho$  – густина рідини,  $V$  – об'єм рідини,  $n$  – кількість крапель,  $r$  – радіус отвору піпетки. Якщо в шприц накапати однакові об'єми води і невідомої рідини з тієї самої піпетки, то  $\frac{\sigma_e}{\sigma_p} = \frac{\rho_e \cdot n_p}{n_e \cdot \rho_p}$ . Звідси  $\sigma_p = \frac{\sigma_e \cdot n_e \cdot \rho_p}{\rho_e \cdot n_p}$ .

**97.** Занурюють капілярні трубки у воду і вимірюють в них різницю рівнів  $\Delta h_e$ .  $\Delta h_e = \frac{2\sigma_e}{\rho_e g r_1} - \frac{2\sigma_e}{\rho_e g r_2}$ , де  $\sigma_e$  – коефіцієнт поверхневого натягу води,  $\rho_e$  – густина води,  $r_1, r_2$  – радіуси капілярних трубок.

Потім ці самі трубки занурюють в мильний розчин і визначають різницю рівнів розчину  $\Delta h_p$ .  $\Delta h_p = \frac{2\sigma_p}{\rho_p g r_1} - \frac{2\sigma_p}{\rho_p g r_2}$ . Після перетворень отримують

$$\sigma_p = \sigma_e \frac{\Delta h_p \rho_p}{\Delta h_e \rho_e}.$$

**98.** Наливають майже повну тарілку води. Кладуть на край тарілки дріт так, щоб один кінець його торкався води, а інший був за межами тарілки. Дріт виконує дві функції: він є важільними терезами і аналогом дротяної рамки, яку виймають з води для вимірювання поверхневого натягу. Залежно від рівня води можуть спостерігатися різні положення дроту. Найбільш зручне для розрахунків і вимірювань горизонтальне розташування дротини при рівні води на 1-1,5 мм нижче за край тарілки. За допомогою ложки можна регулювати рівень, доливаючи або відливаючи воду. Дріт слід виймати з тарілки до тих пір, поки плівка води під дротом не почне розриватись. В цьому крайньому положенні плівка має висоту 1,5-2 мм і можна сказати, що сили поверхневого натягу, прикладені до дротини направлені вертикально вгору. Нехай  $m$  – маса дроту,  $L = L_1 + L_2$  – довжина дроту,  $m/L$  – маса одиниці довжини дроту. Записують умову рівноваги дротини відносно краю тарілки, тобто рівність моментів



сил:  $F_n \left( L_1 - \frac{x}{2} \right) + m_1 g \frac{L_1}{2} = m_2 g \frac{L_2}{2}$ . Підставляють сюди значення сили

поверхневого натягу  $F_n = 2\sigma x$ , маси  $m_1 = \frac{L_1 m}{L}$ ,  $m_2 = \frac{L_2 m}{L}$ , де

$m = \rho V = \frac{\rho \pi d^2 L}{4}$ . Після підстановки можна знайти коефіцієнт поверхневого

натягу, але щоб спростити розрахунки добиваються, щоб вода змочувала всю

довжину  $L_1$ . Тоді  $2\sigma L_1 \cdot \frac{L_1}{2} + \frac{\rho \pi g d^2 L_1^2}{8} = \frac{\rho \pi g d^2 L_2^2}{8}$ . Звідси

$$\sigma = \frac{\rho \pi g d^2}{8} \left( \frac{L_2^2 - L_1^2}{L_1^2} \right).$$

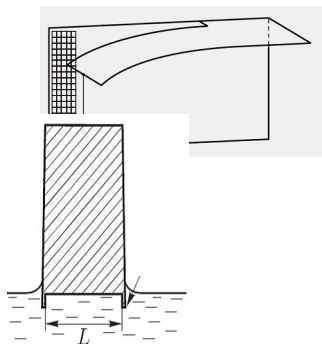
**99.** На вимірювальну пластину, поміщену в рідину, у момент відриву від поверхні рідини діє сила  $F = 2\sigma l$ . У цій формулі коефіцієнт 2 з'являється через те, що у півки дві поверхні.

З аркуша картону роблять чутливі терези (див. задачу № 9). З аркуша офісного паперу виготовляють вимірювальну пластинку і за допомогою скріпки підвішують її до чутливих терезів.

Піднімають посудину з рідиною до тих пір, поки не відбудеться дотик рідини і пластини. Після цього поволі опускатимемо посудину і помічають покази терезів  $M$  у момент відриву пластини від поверхні рідини. Після цього визначають масу пластини  $m$  (визначати масу варто після торкання пластиною рідини, оскільки папір змочується рідиною і її маса збільшується). Обчислюють коефіцієнт поверхневого натягу за

формулою:  $\sigma = \frac{(M - m)g}{2L}$ , де  $L$  – відстань між

ніжками вимірювальної пластини. Можна повторити дослід кілька разів, змінюючи  $L$  і  $m$ . Для цього вирізати пластинки різних розмірів і відповідно різних мас. Потім знайти середнє значення коефіцієнта поверхневого натягу.



**100.** Для деформації розтягу гумового шнура закон Гука можна записати у вигляді  $\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\sigma}{E}$ , де  $E$  – модуль пружності (Юнга) гуми,  $\sigma$  – напруга

( $\sigma = \frac{F}{S}$ , де  $F$  – сила пружності,  $S$  – площа поперечного перерізу шнура,

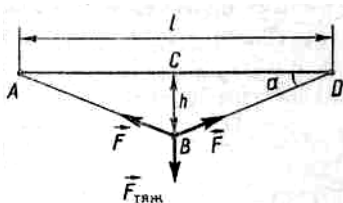
$S = \frac{\pi d^2}{4}$ ),  $l_0$  – початкова довжина шнура,  $\Delta l$  – його видовження.

Звідси  $E = \frac{Fl_0}{S\Delta l} = \frac{4Fl_0}{\pi d^2 \Delta l}$ . Діаметр шнура вимірюють методом рядів, намотавши шнур на лінійку. Вимірявши початкову довжину лінійкою, а тоді розтягуючи динамометром шнур, фіксують силу пружності  $F$  і вимірюють лінійкою видовження  $\Delta l$ .

**101.** До середини добре натягнутої дротини підвішують тягарець, під дією якого дротина прогинається. За законом Гука:  $E = \frac{Fl}{\Delta l S}$ .

Визначають силу пружності  $F$  дротини через вагу тягарця  $mg$ , стрілу прогину  $h$  і довжину дротини  $l$ . Для цього записують умову рівноваги для вузла  $B$ :  $2F \sin \alpha = mg$ , де  $F$  – сила пружності дротини. При малих значеннях кута  $\alpha$ :

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha = \frac{2h}{l}. \quad \text{Тоді} \quad F = \frac{mgl}{4h}.$$



Абсолютне видовження дротини легко визначити через довжину дротини і стрілу прогину:  $\Delta l = 2(AB - AC) = \sqrt{4h^2 + l^2} - l$ . Після підстановок

$$\text{отримують: } E = \frac{mgl^2}{4hS(\sqrt{4h^2 + l^2} - l)}.$$

## Термодинаміка

**102.** Визначають температуру склянки  $t_1$ . Вона дорівнює температурі навколишнього середовища, яку вимірюють термометром. Вимірюють температуру теплої води  $t_2$ . Наливають повну склянку теплої води і чекають коли настане тепла рівновага. Вимірюють температуру  $t$ . Переливають воду у мензурку, вимірюють її об'єм і обчислюють масу:  $m_e = \rho_e V_e$ .



Записують рівняння теплового балансу:  $m_c c_c (t - t_1) = m_g c_g (t - t_2)$ ;

$$C(t - t_1) = m_g c_g (t - t_2). \text{ Звідси } C = m_g c_g \frac{t - t_2}{t - t_1}.$$

**103.** За допомогою мензурки вимірюють об'єм і визначають масу холодної води  $m_1$ . Переливають воду в калориметр і вимірюють її початкову температуру  $t_1$ . Вимірюють за допомогою динамометра вагу, визначають масу досліджуваного тіла  $m_2$  і опускають його на нитці в гарячу воду. Вимірюють температуру гарячої води і тіла  $t_2$  безпосередньо перед зануренням його у калориметр з холодною водою. Занурюють нагріте тіло в калориметр з водою і, після встановлення теплової рівноваги, вимірюють температуру води і тіла  $t$ . Обчислюють кількість теплоти, яку отримала холодна вода за формулою  $Q_1 = c_g \cdot m_1 \cdot (t - t_1)$ . З формули для знаходження кількості теплоти, яку віддає нагріте тіло,  $Q_2 = c_t \cdot m_2 \cdot (t_2 - t)$  і, враховуючи, що  $Q_1 = Q_2$ , обчислюють питому теплоємність  $c_t$  досліджуваного тіла.  $c_m = \frac{c_g \cdot m_1 \cdot (t - t_1)}{m_2 \cdot (t_2 - t)}$ .

**104.** Визначають температуру склянки  $t_1$ . Вона дорівнює температурі навколишнього середовища, яку вимірюють термометром. Вимірюють температуру теплої води  $t_2$ . Наливають повну склянку теплої води і чекають коли настане тепла рівновага. Вимірюють температуру  $t$ . Переливають воду у мензурку, вимірюють її об'єм  $V$  і обчислюють масу  $m_g$ .  $m_g = \rho_g \cdot V_g$

Записують рівняння теплового балансу:  $m_c c_c (t - t_1) = m_g c_g (t_2 - t)$ . Звідси  $m_c = \frac{m_g c_g (t_2 - t)}{c_c (t - t_1)}$ . Питомі теплоємності води і скла беруть з таблиць.

**105.** Наливають в посудину з льодом таку кількість води  $m_1$ , щоб лід розтанув (кінцева температура води з льодом  $0^0 \text{ C}$ ). Записують рівняння теплового балансу  $cm_1(t_1 - t_2) = \lambda m_2$ , де,  $t_1$  – початкова температура води,  $t_2$  – кінцева температура води,  $m_1$  – маса льоду. Вимірявши мензуркою всю масу води  $m$  знаходять масу льоду  $m_2$ . Тоді  $\lambda = \frac{cm_1(t_1 - t_2)}{m - m_1}$ .

Якщо ж води налито більше і кінцева температура  $t_2 > 0$ , то  $cm_1(t_1 - t_2) = cm_2(t_2 - 0^0 \text{ C}) + \lambda m_2$ . Звідси  $\lambda = \frac{cm_1(t_1 - t_2) - c(m - m_1)t_2}{m - m_1}$ .

**106.** Нехтуючи теплоємністю калориметра і гіпосульфиту, рівняння теплового балансу при розчиненні можна записати у вигляді  $cm(t_0 - t_1) = \lambda m_0$ , де  $c$  – питома теплоємність води,  $m$  – її маса,  $m_0$  – маса гіпосульфиту,  $\lambda$  – шукана питома теплота розчинення,  $t_0$  – температура води в

калориметрі до розчинення,  $t_1$  – температура розчину після повного розчинення. Звідси  $\lambda = \frac{cm(t_0 - t_1)}{m_0}$ .

Наливають в калориметр воду, об'єм якої вимірюють мензуркою. Після встановлення теплової рівноваги вимірюють температуру  $t_0$ , яка встановилася. Після цього всипають гіпосульфит, розмішують до повного розчинення і вимірюють температуру розчину  $t_1$ .

**107.** За допомогою секундоміра визначають моменти часу, коли температура води дорівнюватиме  $45^\circ\text{C}$ ,  $44^\circ\text{C}$ ,  $43^\circ\text{C}$ ,  $42^\circ\text{C}$  і т.д. За цими даними будують графік залежності температури води від часу. Дотична до графіка в точці  $t=40^\circ\text{C}$  визначатиме тангенс кута нахилу до осі Ох, що становитиме потужність теплових втрат при даній температурі. Аналогічно будують дотичну до графіка функції в точці  $t=25^\circ\text{C}$ . Визначивши тангенси кута нахилу у двох заданих умовою задачі точках знаходять їхнє відношення, що дорівнюватиме відношенню втрат потужностей.

**108.** Чекають, поки температура льоду не досягає  $0^\circ\text{C}$  – це відбувається тоді, коли лід починає танути. Бажано прикрити стакан з льодом, щоб він прогрівався повільніше та по можливості рівномірно.

Коли лід почне танути, беруть його в руку і тримають приблизно хвилину, якщо потрібно 2-3 хвилини.

Кількість отриманої з льоду води можна заміряти виготовивши з прозорої трубки мензурку. Для цього за допомогою міліметрового паперу наносять маркером на неї шкалу в міліметрах. Втягуючи воду, яка утворилася при таненні льоду в трубочку, за один чи декілька вимірів визначають її об'єм.

Об'єм води, яка розтала за рахунок тепла долоні:  $d = 5\text{ мм}$ ,

$V = Sh = \frac{\pi d^2 h}{4}$ . Тоді теплова потужність долоні:

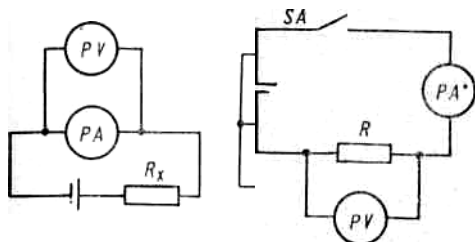
$$P = \frac{Q}{t} = \frac{\lambda m}{t} = \frac{\lambda \rho V}{t}.$$



## Електрика

**109.** Оскільки опір амперметра невідомий, то спочатку складають коло для визначення опору амперметра:  $R_{PA} = \frac{U_I}{I_I}$ , де  $I_I$  і  $U_I$  – покази відповідно

амперметра і вольтметра. Потім, склавши друге електричне коло, з



формули  $I_2 = \frac{U_2}{R_x + R_{PA}}$  знаходять, що  $R_x = \frac{U_2}{I_2} - R_{PA} = \frac{U_2}{I_2} - \frac{U_1}{I_1}$ ,

де  $I_2$  і  $U_2$  – покази відповідно амперметра і вольтметра в другому колі.

**110.** Щоб визначити опір вольтметра, складають електричне коло, схему якого подано на малюнку. Опір вольтметра визначають з закону Ома для ділянки кола:  $R_{PV} = \frac{U}{I_{PV}}$ . Але  $I = I_R + I_{PV}$ , а  $I_R = \frac{U}{R}$ ,

тоді  $R_{PV} = \frac{UR}{IR - U}$ , де  $U$  і  $I$  – покази відповідно вольтметра і амперметра,  $R$  –

опір резистора. Щоб визначити опір амперметра, складають електричне коло, схему якого подано на наступному малюнку. За законом Ома

$R_{PA} = \frac{U_{PA}}{I_{PA}}$ . Оскільки  $U = U_R + U_{PA}$ , а  $U_R = I_{PA}R$ ,

то остаточно дістанемо  $R_{PV} = \frac{U_{PA}}{I_{PA}} - R$ , де  $U_{PA}$  і  $I_{PA}$

– покази відповідно вольтметра і амперметра,  $R$  – опір резистора.

**111.** Визначають діаметр дроту. Для цього вимірюють довжину намотки дроту  $h$ , кількість витків  $N$  і обчислюють діаметр дроту за формулою  $d = \frac{h}{N}$ .

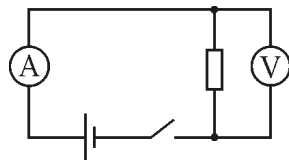
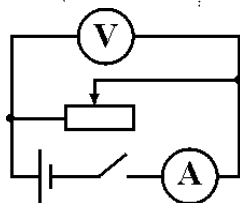
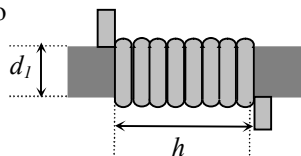
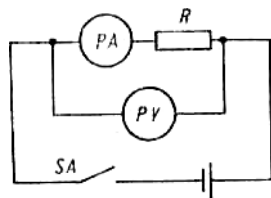
Визначають довжину дроту  $l$ . Для цього вимірюють діаметр  $d_1$  трубки реостата, на яку намотано дріт, і, обчисливши довжину одного витка за формулою  $l_1 = \pi d_1$ , обчислюють довжину дроту  $l = l_1 \cdot N = \pi d_1 \cdot N$ .

Складають електричне коло за схемою, зображеною на малюнку. Вимірюють силу струму в колі  $I$  та напругу на кінцях реостата  $U$ .

Обчислюють значення питомого опору  $\rho = \frac{\pi U d^2}{4 l I}$ .

**112.** Мірною стрічкою вимірюють довжину дроту  $l$ . Щільно намотують дріт на ручку і, вимірявши довжину намотки  $l_1$  і кількість витків  $n$ , визначають діаметр дроту:  $d = \frac{l_1}{n}$ . Тоді  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ .

Складають коло за схемою:



Вимірюють силу струму в колі  $I$  і напругу на досліджуваному провіднику  $U$ .

З формули  $R = \rho \frac{l}{S}$  визначають питомий опір:  $\rho = \frac{RS}{l} = \frac{US}{Il} = \frac{U \cdot \pi d^2}{4Il}$ .

**113.** Довжину дроту визначають за формулою  $l = \frac{R_k S}{\rho}$ , де  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ ,  $d$  –

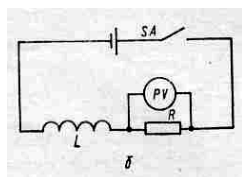
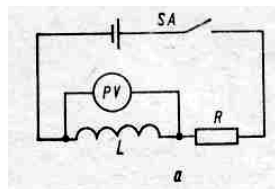
діаметр дротини. Щоб визначити діаметр дротини, вимірюють лінійкою довжину намотаної частини котушки  $L$  і підраховують число витків  $n$

котушки. Тоді  $d = \frac{L}{n}$ . Питомий опір міді

знаходять в таблиці. Щоб визначити опір дротини складають коло (а) і вимірюють спад напруги на котушці  $U_k$ . Потім складають коло, схему якого

подано на малюнку (б) і вимірюють спад напруги  $U$  на відомому опорі  $R$ . Тоді  $R_k = R \frac{U_k}{U}$ , а

$l = \frac{\pi L^2 R U_k}{4n^2 \rho U}$ . Силою струму у вольтметрі нехтують.



**114.** З'єднавши послідовно джерело постійного струму, амперметр, резистор з відомим опором й вимикач, визначають силу струму в колі. Замість резистора вмикають реостат і змінюють його опір доти, поки в колі встановиться струм такої сили, як і при резисторі з відомим опором. Тоді опір активної частини реостата дорівнює відомому опорі резистора.

Лінійкою вимірюють довжину  $l_1$  активної частини реостата, підраховують кількість витків  $n$  та визначають їхній діаметр  $d$ . За довжиною  $l_1$  і кількістю витків  $n$  знаходять діаметр провідника, з якого виготовлено

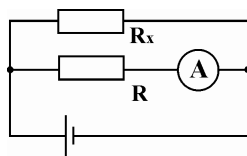
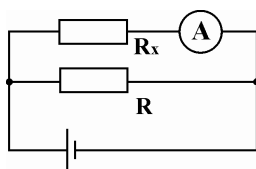
реостат:  $d = \frac{l_1}{n}$ . Площа поперечного перерізу провідника  $S = \frac{\pi l_1^2}{4n^2}$ .

Визначають довжину дроту  $l$ . Для цього вимірюють діаметр  $d_1$  трубки реостата, на яку намотано дріт, і, обчисливши довжину одного витка за формулою  $l_1 = \pi d_1$ , обчислюють довжину дроту  $l = l_1 \cdot n = \pi d_1 \cdot n$ . Тоді питомий

опір провідника  $\rho = \frac{RS}{l} = \frac{R l_1^2}{4n^3 d_1}$ .

**115.** Складають електричні кола за схемами:

Нехтуючи опором амперметра можна записати



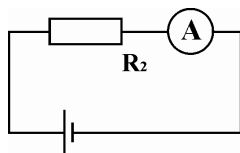
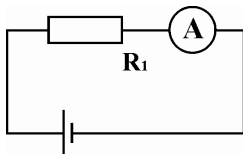
$$I_1 R_x = I_2 R, \text{ звідки } R_x = \frac{I_2 R}{I_1}$$

Після цього складають кола за такими схемами:

Знаючи опори  $R_1$  і  $R_2$

можна записати  $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r}$ ;

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + r}.$$



Звідси  $I_1 R_1 + I_1 r = I_2 R_2 + I_2 r$ .  $r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}$ . Знаючи  $r$ , знаходять  $\mathcal{E}$ .

**116.** Складають електричне коло з батарейки, амперметра, резистора  $R$  і вимірюють силу струму  $I_1$ . За законом Ома  $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ , (1) де  $\mathcal{E}$  – електрорушійна сила батарейки,  $r$  – її внутрішній опір. Потім у цьому самому колі резистор з опором  $R$  замінюють резистором з невідомим опором  $R_x$  і вимірюють в ньому силу струму. За законом Ома:  $I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_x + r}$ . (2)

У рівняння (1) і (2) входять три невідомих величини  $\mathcal{E}$ ,  $r$  і  $R_x$ . Складають ще одне рівняння. Для цього з'єднують резистори з відомим і невідомим опором послідовно. Вмикають їх у коло і вимірюють струм  $I_3$ . Для послідовно з'єднаних резисторів струм визначають за формулою

$$I_3 = \frac{\mathcal{E}}{R + R_x + r} \quad (3). \text{ Розв'язавши спільно рівняння (1), (2) і (3), дістають:}$$

$$R_x = \frac{R(I_1 - I_3)I_2}{I_1(I_2 - I_3)}.$$

**117.** Складають коло із послідовно ввімкнених джерела струму, амперметра, дроту. Вимірюють силу струму, включивши дріт на всю довжину (весь реостат). У цьому випадку сила струму  $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$  (1), де  $r$  внутрішній опір джерела струму,  $\mathcal{E}$  – ЕРС джерела струму.

Вимірюють силу струму, включивши дріт на половину довжини (половину реостата). В цьому випадку  $I_2 = \frac{\mathcal{E}}{\frac{R}{2} + r}$ . Розв'язавши систему

рівнянь отримують:  $R = 2\mathcal{E} \left( \frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right)$ . Тоді питомий опір  $\rho = \frac{RS}{l}$ ;

$\rho = 2\varepsilon \left( \frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right) \frac{\pi d^2}{4l}$ , де  $d$  – діаметр дроту.  $l$  – довжина дроту. Діаметр дроту вимірюють, намотавши  $N$  витків на довгу клему джерела або олівець.

(У випадку реостата вимірюють довжину намотки дроту  $h$ , кількість витків  $N$  і обчислюють діаметр дроту за формулою  $d = \frac{h}{N}$ . Щоб визначити довжину дроту  $l$  визначають діаметр  $d_1$  трубки реостата, на яку намотано дріт, і, обчисливши довжину одного витка за формулою  $l_1 = \pi d_1$ , обчислюють довжину дроту  $l = l_1 \cdot N = \pi d_1 \cdot N$ ).

**118.** Складають електричне коло за схемою, поданою на малюнку *а*, і записують закон Ома для повного кола:  $\mathcal{E} = U_1 + I_1 r$ . Оскільки  $I_1 = \frac{U_1}{R_{PV1}}$ ,

то  $\mathcal{E} = U_1 + \frac{U_1 r}{R_{PV1}}$  (1), де  $\mathcal{E}$  –

електрорушійна сила джерела,  $r$  – його внутрішній опір,  $U_1$  – напруга, яка вимірюється вольтметром *PV1*,  $R_{PV1}$  – внутрішній опір цього вольтметра.

Потім складають електричне коло за схемою, поданою на малюнку *б*, і записують для нього закон

Ома:  $\mathcal{E} = U_2 + \frac{U_2 r}{R_{PV2}}$  (2), де  $U_2$  – напруга, яка вимірюється вольтметром *PV2*,

$R_{PV2}$  – внутрішній опір цього вольтметра.

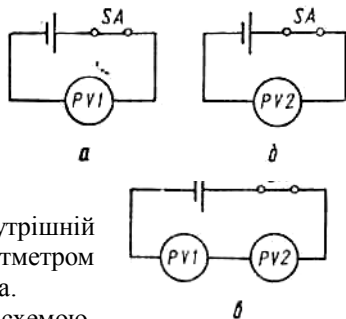
Щоб виключити невідомі опори вольтметрів, складають електричне коло за схемою, поданою на малюнку *в*. У цьому колі через обидва вольтметри,

проходить однаковий струм, тому можна записати:  $\frac{U'_1}{R_{PV1}} = \frac{U'_2}{R_{PV2}}$  (3),

де  $U'_1$  і  $U'_2$  – покази вольтметрів. Із рівнянь (1), (2) і (3) дістають

$$\mathcal{E} = \frac{U_1 U_2 (U'_2 - U'_1)}{U_1 U'_2 - U_2 U'_1}.$$

**119.** Складають електричне коло за схемою, зображеною на малюнку. Від джерела з відомою електрорушійною силою  $\mathcal{E}$  заряджають конденсатор ємністю  $C$  (перемичка в положенні 1). Заряд на обкладках конденсатора  $q = C\mathcal{E}$  (1).

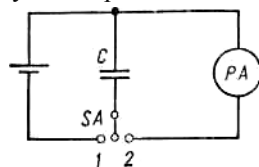


Потім замикають конденсатор на мікроамперметр (перемичка в положенні 2). Число поділок  $n_x$ , на які відхилиться стрілка мікроамперметра, пропорційне заряду, що пройде через нього:  $q = \alpha n_1$ . (2)

де  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності, який характеризує цей прилад.

З формул (1) і (2) дістають:  $\alpha n_1 = C \mathcal{E}$ .

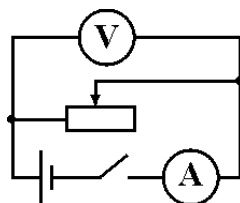
Після цього замінюють в колі джерело струму з відомою ЕРС  $\mathcal{E}$  на джерело з невідомою ЕРС  $\mathcal{E}_x$  і проводять дослід у такій самій послідовності, як і раніше. Тоді для максимального відхилення



стрілки мікроамперметра можна записати  $\alpha n_2 = C \mathcal{E}_x$ . Остаточно:  $\mathcal{E}_x = \mathcal{E} \frac{n_2}{n_1}$ .

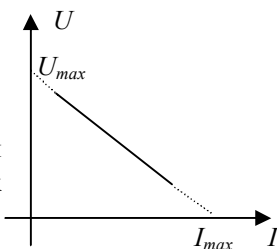
**120.** Закон Ома для повного кола виражається співвідношенням  $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ , де  $I$  – сила струму в колі,

$\mathcal{E}$  і  $r$  – відповідно ЕРС і внутрішній опір джерела струму,  $R$  – зовнішній опір кола. Виходячи з цього закону  $IR + Ir = \mathcal{E}$ .



Тоді, напруга на клеммах джерела струму визначається за формулою  $U = IR = \mathcal{E} - Ir$  і залежить від сили струму в колі.

Збирають електричне коло за схемою, зображеною на малюнку, знімають покази амперметра та вольтметра при різних положеннях повзунка реостата і результати вимірів записують в таблицю.



Будують графік залежності  $U = f(I)$ . Продовжують отриманий графік до перетину з осями напруги та сили струму.

Графік залежності  $U = f(I)$  зображено на малюнку. З аналізу графічної залежності видно, що при  $I = 0$ , напруга максимальна і дорівнює ЕРС джерела струму. Якщо сила струму максимальна (струм короткого замикання), то напруга дорівнює нулю. Знайшовши за графіком електрорушійну силу і струм короткого замикання, можна обчислити внутрішній опір джерела

струму.  $r = \frac{\mathcal{E}}{I_{к.з.}}$ .

**121.** Оскільки опір ділянки 1-2 дорівнює 0, то це означає, що точки 1 і 2 з'єднані між собою.

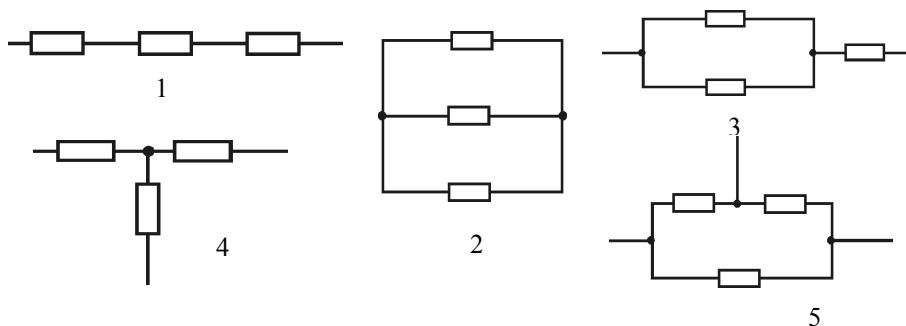
Вимірюють опір між іншими точками:

2-3:  $R_{2-3} = 74$  Ом.

2-4:  $R_{2-4} = 74$  Ом.

3-4:  $R_{3-4}=127$  Ом.

На малюнках зображено всі можливі з'єднання трьох резисторів:



Проаналізувавши схеми після вимірювання опорів можна прийти до висновку, що схеми 1,2,3 не підходять при будь-якому розміщенні виводів.

Схема 4 задовільняє значенням виміряних опорів. Нехай виводи розміщені так:

Для неї можна записати рівняння:

$$R_2 + R_3 = 74 \text{ Ом}; \quad R_2 + R_4 = 74 \text{ Ом}; \quad R_3 + R_4 = 127 \text{ Ом}.$$

Звідси

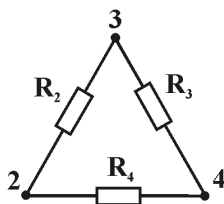
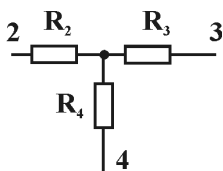
$R_3 = R_4 = 127/2 = 63,5$  Ом. Тоді  $R_2 = 10,5$  Ом. Згідно умови опори більші ніж 20 Ом, отже і цей варіант не підходить.

Розглядають схему 5 і перемальовують її так:

Схема симетрична і виміряні значення  $R_{2-3}$  і  $R_{2-4}$  однакові, отже  $R_2 = R_4$ .

Для неї записують рівняння:

$$\frac{(R_2 + R_3)R_2}{R_3 + 2R_2} = 74 \quad (1) \quad \text{і} \quad \frac{2R_3R_2}{R_3 + 2R_2} = 127 \quad (2).$$



Поділивши перше рівняння на друге, отримують:  $R_2 = \frac{21}{127} R_3$ .

Підставляють це значення у рівняння (2). Після спрощення отримують:

$$\frac{42}{169} R_3 = 127 \text{ або } R_3 = 511 \text{ Ом. Тоді } R_2 = R_4 = 84 \text{ Ом}.$$

В дійсності в чорному ящику знаходиться саме така схема, а резистори мають опори 510 Ом і два по 82 Ом. Відмінності визвані тим, що є певні неточності вимірювальних приладів і допускається похибка при виготовленні резисторів.

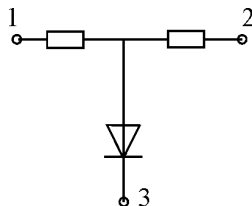
**122.** Складають електричне коло для зняття вольт-амперної характеристики одного з «чорних ящиків». За результатами вимірювань будують графік залежності сили струму, що проходить через ящик, від



напруги. Потім у колі замінюють перший ящик другим. Повторюють дослід і за результатами вимірювань будують вольт-амперну характеристику другого «чорного ящика». Вольт-амперна характеристика резистора має лінійний характер, а для електричної лампочки вона не буде лінійною (причина цього – температурна залежність опору нитки розжарення лампочки).

**123.** В чорному ящику знаходилася наступна схема.

З'єднавши джерело струму і амперметр по чергово під'єднують їх до клем 1 і 2, 2 і 1. Струм в обох випадках однаковий. При під'єднанні до клем 1 і 3, 3 і 1, видно, що в одному випадку струм проходить, а в іншому – ні. Аналогічні висновки роблять після під'єднання до клем 2 і 3, 3 і 2. Отже, біля клем 3 знаходиться діод, біля клем 1 і 2 знаходяться резистори.



**124.** Складають електричне коло з послідовно з'єднаних джерела живлення, ключа, амперметра, реостата і лампочки, паралельно до якої приєднано вольтметр. Замикають коло і за допомогою реостата встановлюють в ньому силу струму, при якій яскравість свічення лампочки незначна. Вимірюють значення сили струму  $I$  в колі, напруги  $U$  на лампочці

та обчислюють потужність струму  $P=UI$  та опір  $R = \frac{U}{I}$ . Дослід повторюють кілька разів.

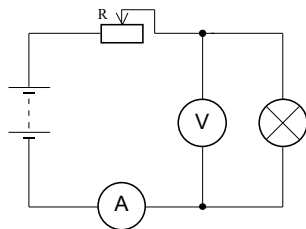
За допомогою реостата встановлюють в колі значення сили струму (напруги), що відповідає паспортним даним (номінальні значення) або близька до цього значення і знову обчислюють потужність струму.

**125.** Вимірюють омметром опір  $R_1$  спіралі електричної лампочки при кімнатній температурі  $t_1$ . Потім обчислюють опір  $R_2$  спіралі лампочки в робочому стані за паспортними даними. Враховуючи температурну залежність опорів  $R_1$  і  $R_2$ :  $R_2=R_0(I+at_2)$  і  $R_1=R_0(I+at_1)$ , робочу температуру спіралі знаходять за формулою: 
$$t_2 = \frac{R_2 - R_1 + at_1 R_2}{\alpha R_1}.$$

**126.** Спочатку вимірюють за допомогою цифрового омметра опір нитки лампи розжарювання при кімнатній температурі. Це необхідно для подальшого визначення температури нитки у робочому режимі.

Для дослідження залежності сили струму через лампочку від напруги на ній складають коло, схема якого зображену на малюнку.

Результати вимірювань заносять в таблицю і за табличними даними будують вольт-амперну характеристику (графік залежності сили струму від напруги).



Визначають опір нитки лампи розжарювання при напрузі 3 В за законом

$$\text{Ома: } R = \frac{U}{I}.$$

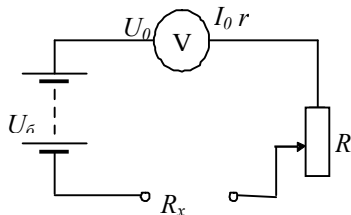
Визначають температуру нитки лампи при напрузі 3 В із співвідношень:

$$R_k = R_0(1 + \alpha_k) \text{ (при кімнатній температурі);}$$

$$R_l = R_0(1 + \alpha_l) \text{ (при робочій температурі).}$$

$$\frac{R_l}{R_k} = \frac{1 + \alpha_l}{1 + \alpha_k}, \quad \frac{R_l}{R_k}(1 + \alpha_k) = 1 + \alpha_l, \text{ звідки мають } t_1 = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{R_l}{R_k}(1 + \alpha_k) - 1 \right).$$

**127.** Складають електричне коло за схемою: З'єднавши клемми для підключення невідомого резистора  $R_x$  між собою, зміною опору змінного резистора встановлюють стрілку вольтметра на кінцеву поділку „6 В”. При цьому сила струму в колі складатиме:  $I_0 = \frac{U_0}{r + R}$  [1]. Коли приєднати до клем резистор невідомого опору, сила струму



в колі зменшиться і визначатиметься наступною формулою:  $I = \frac{U_0}{r + R + R_x}$

$$[2]. \text{ Поділивши [1] на [2]: } \frac{I}{I_0} = \frac{r + R}{r + R + R_x} \quad [3], \text{ або } \frac{U}{U_0} = \frac{r + R}{r + R + R_x} \quad [4].$$

Якщо ввімкнути у коло відомий опір  $R^*$ , то  $\frac{U^*}{U_0} = \frac{r + R}{r + R + R^*}$  [5]. Тоді

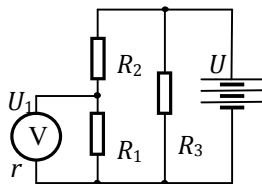
$$\frac{U_0}{U} = 1 + \frac{R_x}{r + R}, \quad \frac{U_0}{U^*} = 1 + \frac{R^*}{r + R}, \quad \frac{U_0 - U}{U} \cdot \frac{U^*}{U_0 - U^*} = \frac{R_x}{r + R} \cdot \frac{r + R}{R^*}, \quad \text{звідки}$$

$$R_x = R^* \frac{U^*(U_0 - U)}{U(U_0 - U^*)} [6]. \text{ Для градуювання шкали зручніше розв'язати це}$$

$$\text{рівняння відносно } U. \text{ Неважко отримати: } U = U_0 \frac{R^* U^*}{R_x (U_0 - U^*) + R^* U^*} [7].$$

У цій градувальній формулі  $U_0$  – напруга повного відхилення стрілки вольтметра;  $R^*$  – відомий опір (6,8 кОм);  $U^*$  – покази вольтметра при підключенні резистора з відомим опором;  $U$  – покази вольтметра при підключення невідомого опору  $0 \leq R_x \leq \infty$ . Підставляючи у формулу [7] „зручні” значення опору  $R_x$ , одержують положення відповідних штрихів на шкалі омметра, на який перетворюють вольтметр.

**128.** Спочатку вимірюють за допомогою вольтметра напругу на затискачах джерела струму  $U_0$ . Складають схему, зображену на малюнку з



використанням резисторів  $R_1, R_2, R_3$ , з'єднаних трикутником. Еквівалентний опір вольтметра і резистора  $R_1$ :  $R_1' = \frac{r \cdot R_1}{r + R_1}$  (2). Покази вольтметра в цьому

випадку:  $U_1 = \frac{U_0}{R_1' + R_2} \cdot R_1'$ . Підставляючи сюди вираз (2) отримують:

$\frac{U_0}{U_1} = 1 + \frac{r + R_1}{r \cdot R_1} \cdot R_2$  (3). Або  $\frac{U_0}{U_1} - 1 = \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{r}$  (4). Тепер під'єднують

вольтметр до резистора  $R_2$  і вимірюють напругу  $U_2$  на ньому. Можна по аналогії записати:  $\frac{U_0}{U_2} - 1 = \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{r}$  (5).

Для послідовного з'єднання резисторів  $R_1, R_2$  справедливе співвідношення  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{U_2}{U_1}$ . Підставляють в (4):  $\frac{R_2}{r} = \frac{U_0}{U_1} - 1 - \frac{U_2}{U_1} = \frac{U_0 - U_1 - U_2}{U_1}$ . Звідси

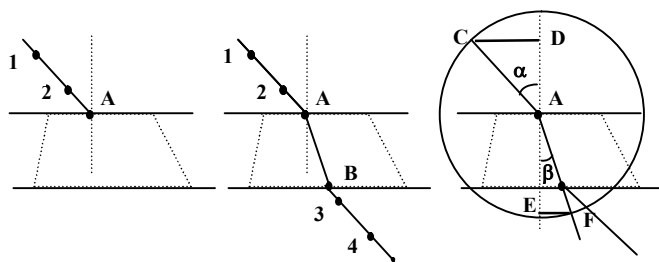
$R_2 = r \frac{U_0 - U_1 - U_2}{U_1}$ . Аналогічно  $R_1 = r \frac{U_0 - U_1 - U_2}{U_2}$ . Для знаходження

опору  $R_3$  переключають «трикутник» так, щоб послідовною ділянкою були резистори  $R_2$  і  $R_3$ . Тоді вимірявши напругу  $U_3$  на резисторі  $R_3$  і  $U_4$  на

резисторі  $R_2$  отримують:  $R_3 = r \frac{U_0 - U_3 - U_4}{U_4}$ .

### Оптика

**129.** Розміщують на аркуші паперу плоскопаралельну пластинку й окреслюють лініями положення її паралельних сторін. Через точку  $A$  (на



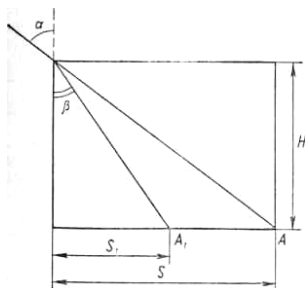
верхній лінії) проводять перпендикуляр (нормаль) і лінію під деяким кутом  $\alpha$  до нього (значення кута задається вчителем). На цій лінії розміщують вертикально дві булавки 1 і 2. Розглядаючи ці булавки крізь протилежну сторону пластинки, розміщують в напрямку спостереження між оком і пластинкою ще дві булавки 3 і 4 так, щоб вони знаходились на одній прямій з уявними зображеннями булавок 1 і 2. Проводять лінію через т. 3 і 4 до перетину з лінією, яка окреслює нижню грань, і наносять точку  $B$ . З'єднують точки  $A$  і  $B$ . Одержана лінія показує напрям поширення променів у склі. Креслять коло з центром у точці  $A$ . Продовжують пряму  $AB$  до перетину з

колом в точці  $F$ . З точок  $C$  і  $F$  опускають перпендикуляри  $CD$  і  $FE$  на нормаль до пластинки у точці  $A$ .

Оскільки  $\sin \alpha = \frac{CD}{R}$ , а  $\sin \beta = \frac{FE}{R}$ , показник заломлення визначають із

співвідношення:  $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{CD}{FE}$ .

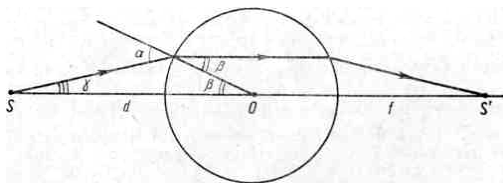
**130.** Одну з лінійок (краще металеву) розміщують на дні акваріума паралельно його бічній стінці. Паралельно цій самій стінці закріплюють на штативі прицільну трубку, під таким кутом, щоб крізь неї видно було початок лінійки, суміщений з нижнім ребром акваріума (точку  $A$  на малюнку). Після заповнення акваріума досліджуваною рідиною через трубку буде видно точку  $A_1$ . По лінійці в акваріумі визначають відстань  $AA_1$ ; а за допомогою другої лінійки —  $H$  і  $S$ . Оскільки



Мал. 95

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \text{ а } \sin \alpha = \frac{S}{\sqrt{S^2 + H^2}}, \sin \beta = \frac{S_1}{\sqrt{S_1^2 + H^2}}, \text{ то } n = \frac{S\sqrt{S_1^2 + H^2}}{S_1\sqrt{S^2 + H^2}}.$$

**131.** Склянка з рідиною — це циліндрична лінза. Щоб спростити задачу, джерело світла, склянку й екран розміщують так, щоб відстані від склянки до джерела світла і від склянки до зображення джерела світла на екрані були однакові. Якщо скористатися променями, близькими до головної оптичної осі, то  $\sin \alpha \approx \alpha$ ,  $\sin \beta \approx \beta$ ,  $d\gamma \approx R\beta$  і  $\alpha = \gamma + \beta$  (де  $R$  — радіус склянки).

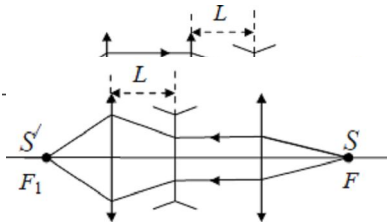


Тоді  $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\gamma + \beta}{\beta} = 1 + \frac{\gamma}{\beta} = 1 + \frac{R}{d}$ .

**132.** Отримують зображення віддаленого джерела світла (Сонця) на екрані у вигляді світної точки і вимірюють фокусну відстань лінзи  $F$  (відстань від лінзи до екрана). Розміщують свічку між фокусом та подвійним фокусом і домагаються чіткого зображення свічки на екрані. Вимірюють відстань від лінзи до джерела світла ( $d$ ) і відстань від лінзи до екрана ( $f$ ).

Визначають фокусну відстань лінзи за формулою  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ .

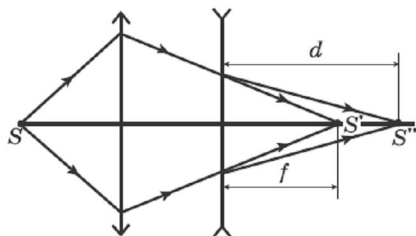
**133.** Положення головних фокусів оптичної системи можна знайти, направивши паралельний пучок світла



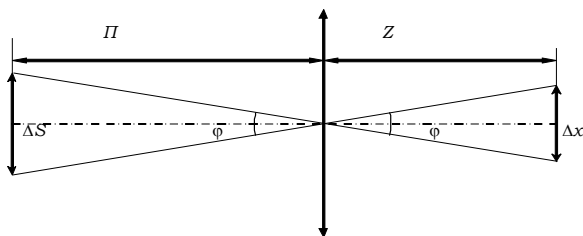
уздовж головної оптичної осі системи. Для цього нитку лампочки розміщують у головному фокусі допоміжної лінзи. Перевірка паралельності пучка світла проводиться за допомогою вимірювання діаметра плями на екрані при переміщенні останнього уздовж пучка. Розташовують дану систему двох лінз і допоміжну лінзу так, щоб їх головні оптичні осі співпали. Знаходять задній фокус  $F_2$  оптичної системи – місце отримання зображення на екрані нитки лампочки.

Направивши паралельний пучок світла з іншого боку системи, визначають положення переднього фокуса  $F_1$ .

**134.** Дістають на екрані дійсне зображення  $S'$  нитки лампи за допомогою збиральної лінзи. При вміщенні між збиральною лінзою й екраном розсіювальної лінзи зображення зникає. Відсунувши екран, можна знову одержати на ньому чітке зображення  $S''$  нитки лампи. Використовуючи властивість оборотності світлових променів, можна вважати, що промені виходять з точки  $S''$ . Тоді точка  $S'$  є уявним зображенням точки  $S''$  після заломлення в розсіювальній лінзі. Вимірявши відстані  $d$  і  $f$ , можна визначити фокусну відстань розсіювальної лінзи:  $F = \frac{df}{d-f}$ .



**135.** З міркувань геометричної оптики (якщо не залучати понять з теорії дифракції) око втрачає здатність «розділити» дві лінії якщо зображення обох попадають на одну й ту саму зорову клітку сітківки. Тоді роздільна здатність ока прямо зв'язана з поперечними розмірами клітки-фоторецептора співвідношенням  $\tan(\frac{\varphi_{\min}}{2}) = \frac{\Delta x_{\min}}{2Z}$ , що для малих кутів дає наближення  $\varphi_{\min} Z = \Delta x_{\min} = d_{\text{клітки}}$ . З геометричних міркувань одержують  $\tan(\varphi/2) = \Delta S / 2\Pi$ , або  $\varphi_{\min} \approx \Delta S / \Pi_{\max}$ .



Користуючись формулою лінзи для кришталіка ока  $\frac{1}{F} = \frac{1}{Z} + \frac{1}{\Pi}$ , отримують:

$$Z = \frac{F\Pi}{\Pi - F} = \frac{\Pi}{D(\Pi - \frac{1}{D})} = \frac{\Pi}{D\Pi - 1}, \quad \text{де } D - \text{ оптична сила ока. Тоді}$$

$$d_{\text{квітки}} = \Delta x_{\min} = Z \times \varphi_{\min} = \Delta S / (D\Pi_{\max} - 1) \approx \frac{Z \times \Delta S}{D\Pi_{\max}}.$$