

ЗМІСТ

Передмова	4
Розділ 1. Вимірювання фізичних величин	6
Вимоги до запису результату вимірювання	6
Оцінка похибок вимірювань	10
Вправи	34
Розділ 2. Умови задач експериментального туру	37
8 клас	37
9 клас	39
10 клас	41
11 клас	43
Розділ 3. Розв'язки задач експериментального туру	45
8 клас	45
9 клас	53
10 клас	63
11 клас	76
Список рекомендованої літератури	90

ПЕРЕДМОВА

Експериментальними називають фізичні задачі, постановка та розв'язування яких органічно пов'язані з експериментом (з різними вимірюваннями, відтворенням фізичних явищ, спостереженнями за фізичними процесами, складанням експериментальних установок, розробкою приладів, з безпосереднім проведенням експериментального дослідження). Такі задачі без перебільшення вважають одним з ефективних засобів навчання фізики, адже вони виробляють в учнів важливу психічну установку: знання потрібні для того, щоб їх застосовувати на практиці. Саме експериментальні задачі забезпечують залучення учнів до творчого пошуку; є дієвим засобом у боротьбі з формалізмом під час навчання фізики; розвивають в учнів логічне мислення та забезпечують поєднання розумової діяльності з діяльністю органів руху (моторністю). Тому не дивно, що експериментальні тури є обов'язковою складовою фізичних олімпіад (починаючи з обласного етапу).

Порівняно з задачами теоретичних турів, задачі експериментальних турів фізичних олімпіад недостатньо висвітлені у навчально-методичній літературі. Виконання цих завдань вимагає від учня розв'язати задачу на теоретичному рівні, скласти експериментальну установку, безпосередньо провести дослід, зафіксувати експериментальні дані, провести їх обробку та оцінити достовірність отриманих результатів. Тому основні завдання посібника пов'язані з: висвітленням важливих аспектів проведення експериментального туру олімпіади з фізики, наданням методичних порад щодо представлення результатів вимірювань фізичних величин, розглядом підходів щодо оцінювання похибок вимірювань, а також з презентацією та докладним аналізом авторської системи експериментальних задач (більшість з яких є авторськими), що пропонувалися на експериментальному турі обласної олімпіади з фізики в Запорізькій області у 2013–2020 роках.

Посібник покликаний допомогти учням закладів загальної середньої освіти якісно підготуватися до експериментального туру олімпіади, а їх вчителям – ефективно організувати цей процес. Посібник буде корисний також для студентів закладів вищої освіти, які навчаються за освітніми

програмами Середня освіта (Фізика) та Середня освіта (Природничі науки), під час вивчення дисциплін «Теоретико-методичні засади курсу фізики старшої школи», «Наукові основи шкільного курсу фізики», «Теорія і методика навчання фізики», «Організація інноваційної діяльності учнів» та ін.

Труднощі, які, зазвичай, виникають в учнів у процесі розв'язування експериментальних задач, пов'язані з тим, що такі задачі належать до категорії *творчих* задач, і вміння їх розв'язувати є складним за структурою. Спеціальні дослідження авторів показали, що формування в учнів цього вміння має передбачати на початковому етапі цілеспрямоване відпрацювання окремих елементарних дій (операцій), які після доведення до рівня відповідних навичок учні зможуть виконувати у «згорнутому» вигляді під час самостійного розв'язування експериментальної задачі.

Задачі підвищеної складності позначено зірочкою.

Бажаємо творчих успіхів!



Розділ 1. Вимірювання фізичних величин

Вимоги до запису результату вимірювання

Виміряти фізичну величину – означає знайти експериментальним шляхом значення фізичної величини за допомогою спеціальних технічних засобів (засобів вимірювань). При вимірюванні фізична величина порівнюється з однорідною величиною, яку прийнято за одиницю. Якщо, наприклад, зазначається, що маса тіла дорівнює 5 кг, то 5 кг – це значення маси тіла, яке дорівнює добутку числового значення фізичної величини (5) на одиницю маси (кг). Виміряти масу тіла – це і означає визначити, у скільки разів його маса відрізняється від маси еталона. Для забезпечення єдності фізичних вимірювань створені міжнародні еталони кожної з основних одиниць СІ.

Загальноприйнятою у наш час є Міжнародна система одиниць СІ (система інтернаціональна). Вона базується на *семи* основних одиницях: одиниця довжини – *метр* (м), маси – *кілограм* (кг), часу – *секунда* (с), кількості речовини – *моль* (моль), температури – *кельвін* (К), сили електричного струму – *ампер* (А), сили світла – *кандела* (кд).

Істинне значення вимірюваної фізичної величини визначити неможливо, оскільки не існує абсолютно точних приладів та інших засобів вимірювань (та й самі еталони одиниць фізичних величин відтворюються лише з кінцевою точністю). Навіть значення фундаментальних фізичних констант відомі з певними похибками. Так, стала Авогадро за останніми даними дорівнює $N_A = (6,022045 \pm 0,000031) \cdot 10^{23}$ моль⁻¹. Цей запис означає, що істинне значення є невідомим, але з імовірністю близькою до 1 можна стверджувати, що воно знаходиться в інтервалі значень

$$6,022014 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} < N_A < 6,022076 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Як приклад *точних* значень фізичних величин, з якими доводиться зустрічатися в експерименті, наведемо результат лічби порівняно невеликої кількості предметів (число витків дротяного реостата; число крапель, які падають з бюретки; кількість акумуляторів у батареї тощо).

Процес вимірювання вважається завершеним лише тоді, коли вказано не тільки число $x_{вим}$, прийняте за результат вимірювання, але й число Δx , що дозволяє визначити інтервал

$$(x_{вим} - \Delta x; x_{вим} + \Delta x) \text{ або (інший запис) } x_{вим} \pm \Delta x,$$

який з досить великою імовірністю (близькою до 1) містить невідоме експериментатору істинне значення $x_{іст}$ вимірюваної величини x (рис. 1.1). Величина Δx називається *межею абсолютної похибки*. Вона є додатною величиною.

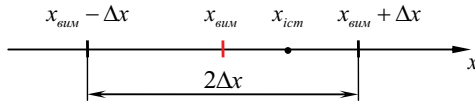


Рис. 1.1. Графічне зображення результату вимірювання величини x

Зазначимо, що під *абсолютною похибкою вимірювання* δx розуміють модуль різниці виміряного $x_{вим}$ та істинного $x_{іст}$ значень фізичної величини:

$$\delta x = |x_{вим} - x_{іст}|.$$

Проте, як уже зазначалося, точне значення є невідомим. Тому точність вимірювання оцінюють за допомогою *межі абсолютної похибки* Δx .

Межа абсолютної похибки не повністю характеризує вимірювання. Нехай, наприклад, в результаті вимірювань встановлено, що довжина стола дорівнює $l = (100 \pm 1)$ см, а товщина його кришки $d = (2 \pm 1)$ см. Межі абсолютної похибки вимірювань у цих двох випадках однакова. Проте, очевидно, що якість вимірювання у першому випадку вище.

Тому цілком логічно якість вимірювання характеризувати *межею відносної похибки* ε , яка дорівнює відношенню межі абсолютної похибки Δx до виміряного значення $x_{вим}$ (при цьому часто ε виражають у відсотках):

$$\varepsilon \equiv \frac{\Delta x}{x_{вим}}.$$

Поняття абсолютної похибки (та її межі) є зовсім непридатним для порівняння точності значень величин з різними розмірностями. Це пояснюється тим, що абсолютна похибка є іменованою величиною, її розмірність співпадає з розмірністю вимірюваної величини. Тому безглуздим, наприклад, є запитання: яке вимірювання є більш точним – вимірювання довжини з точністю до 1 мм або вимірювання маси з точністю до 1 г? Поняття відносної похибки $\delta x/x_{\text{вим}}$ (та її межі $\Delta x/x_{\text{вим}}$) дозволяє порівнювати точність вимірювань, у тому числі, і величин з різними розмірностями.

Отже, експериментатору потрібно не лише отримати у досліді наближене значення $x_{\text{вим}}$ вимірюваної величини, але й оцінити точність цього значення за допомогою меж абсолютної Δx або відносної ε похибок. Результат вимірювання подають у вигляді:

$$x = x_{\text{вим}} \pm \Delta x. \quad (1.1)$$

До запису результату за формою (1.1) висувають ряд вимог. Так, після того, як межу абсолютної похибки знайдено, її значення округляють з надлишком, як правило, до однієї значущої цифри (з більшою кількістю значущих цифр похибки записують лише при відповідальних вимірюваннях високої точності). Після цього у вимірюваному значенні $x_{\text{вим}}$ залишають стільки десяткових знаків, скільки їх має похибка Δx (при цьому користуються звичайним правилом округлення). Такий підхід пояснюється тим, що перша зліва ненульова цифра похибки визначає сумнівну цифру у вимірюваному значенні $x_{\text{вим}}$. Тому друга цифра похибки звичайно не вносить суттєвих змін у результат. Наприклад, запис $v = (1,40352 \pm 0,023)$ м/с є не зовсім вдалим. Бажано записати $\Delta v = 0,03$ м/с та $v = (1,40 \pm 0,03)$ м/с.

Які цифри числа називають значущими? За В.М. Брадїсом, значущими цифрами числа називають всі його цифри, окрім нулів, які стоять зліва від першої ненульової цифри, та нулів, які стоять у кінці числа, якщо вони замінюють невідомі або відкинуті цифри.

Приклад 1.

– Електрохімічний еквівалент алюмінію $k = 0,0936$ мг/Кл. В цьому числі три значущі цифри.

– Питомий опір цинку при деякій температурі $\rho = 0,060 \cdot 10^{-6}$ Ом·м. Це число задано з точністю до тисячних, тому останній нуль є значущим; число має дві значущі цифри.

– При вимірюванні тиску газу в посудині отримали $p = 2500$ Па. Якщо це число задане з точністю до сотень, то два нулі є незначущими (вони стоять замість невідомих цифр).

В останньому прикладі, щоб з'ясувати кількість значущих цифр, треба було додатково знати, з якою точністю задане число. В подібних випадках слід користуватися стандартною формою запису числа або ж слід перейти до кратних одиниць. Отже, в нашому прикладі виміряне значення тиску треба записати так: $p = 2,5 \cdot 10^3$ Па або $p = 2,5$ кПа. Якщо ж вимірювання було проведене з точністю до одиниць Па, то запис має бути таким: $p = 2,500 \cdot 10^3$ Па (два нулі в цьому випадку – значущі цифри).

Які цифри числа називають правильними? У фізиці користуються поняттям «правильна цифра» у вузькому значенні: цифра n -го розряду називається *правильною*, якщо абсолютна похибка не перевищує половини одиниці цього розряду. У таблицях фізичних величин, у математичних таблицях значення записані лише правильними цифрами. Наприклад, у знайденому з таблиці густин значенні густини міді $8,93 \cdot 10^3$ кг/м³ цифра 3 в розряді сотих – правильна. Отже, межа абсолютної похибки числа $8,93 \cdot 10^3$ дорівнює $\Delta\rho = \frac{0,01}{2} \cdot 10^3$ кг/м³ = $0,005 \cdot 10^3$ кг/м³. Тепер можна вказати інтервал значень, який містить істинне значення густини міді (при певних умовах): $\rho = (8,930 \pm 0,005) \cdot 10^3$ кг/м³.

Якщо ж абсолютна похибка числа перевищує половину одиниці останнього розряду у наближеному числі, то цифру цього розряду називають *сумнівною*. Так, у виразі $v = (0,56 \pm 0,02)$ м/с цифра 5 є правильною, а цифра 6 – сумнівна.