

Методи наукового пізнання. Фізичні величини та їх вимірювання. Невизначеності вимірювань

Кожен із вас щоденно досліджує навколишній світ і одержує нові знання.

Як отримують нові знання вчені?

Як проводять наукові дослідження вчені?

Із чого починається дослідницька робота вчених?

ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

Фізичне дослідження та його методи

Спостереження – це сприйняття природи з метою одержання первинних даних для подальшого аналізу.

- Чи завжди спостереження ведуть до правильного висновку?
- Що роблять учені, щоб спростувати або довести власні висновки?

Фізичне дослідження – це цілеспрямоване вивчення явищ і властивостей природи засобами фізики.

Методи фізичних досліджень:

1) Експериментальний метод. Експеримент – дослідження фізичного явища в умовах, які перебувають під контролем ученого.

2) Теоретичний метод. Аналіз отриманих у результаті експериментів даних, формулювання законів природи, пояснення певних явищ і властивостей на основі цих законів, передбачення й теоретичне обґрунтування нових явищ і властивостей.

• Які спостереження, теоретичні й експериментальні дослідження ви могли б провести, щоб дослідити світіння звичайної лампи розжарення?

• Кочення скляної кулі – супроводжується механічними, тепловими, електромагнітними, оптичними явищами. Чи слід урахувувати всі ці явища, визначаючи, наприклад, час кочення кулі?

На кочення скляної кулі не впливають заломлення світла в кулі, зміна температури кулі, а також незначна деформація кулі. Тому під час дослідження кочення кулі можна враховувати тільки її масу, форму та розміри (створюють *фізичну модель* процесу кочення кулі)



Фізична модель – це уявний ідеалізований об'єкт, що має головні риси реального і дозволяє спростити аналіз явищ.

Вимірювання фізичних величин

- Які кількісні характеристики ми використовуємо описуючи рух автомобіля? (швидкість, прискорення, час руху, сила тяги, потужність)

Фізична величина – це кількісна міра певної властивості тіла, певного фізичного процесу або явища.

- Як ви вважаєте, наскільки часто люди виконують вимірювання?
- Що означає виміряти фізичну величину?

Виміряти фізичну величину – значить порівняти її з однорідною величиною, яку приймають за одиницю.

Види вимірювань:

Прямі – величину порівнюють із її одиницею (метром, секундою, кілограмом, ампером) за допомогою вимірювального приладу.

Непрямі – величину обчислюють за результатами прямих вимірювань інших величин, пов'язаних із вимірюваною величиною певною функціональною залежністю ($\rho = \frac{m}{V}$).

Міжнародна система одиниць СІ

У науці використовують одиниці фізичних величин, визначені *Міжнародною системою одиниць СІ*.

Основні одиниці СІ

Величина		Одиниця	
Назва	Позначення	Назва	Позначення
Маса	<i>m</i>	кілограм	кг
Довжина	<i>l</i>	метр	м
Час	<i>t</i>	секунда	с
Сила струму	<i>I</i>	ампер	А
Кількість речовини	<i>v</i>	моль	моль
Температура	<i>T</i>	кельвін	К
Сила світла	<i>I_v</i>	кандела	кд

- Що використовують для зручності запису великих і малих значень фізичних величин?

Префікси кратних і частинних одиниць

Кратні одиниці є більшими за основні одиниці в 10, 100, 1000 і більше разів.

Частинні одиниці є меншими за основні одиниці в 10, 100, 1000 і більше разів.

Похибки вимірювань

- Як ви вважаєте, чи можливо здійснити вимірювання абсолютно точно?

Префікс	Позначення	Множник
атто-	а	10^{-18}
фемто-	ф	10^{-15}
піко-	п	10^{-12}
нано-	н	10^{-9}
мікро-	мк	10^{-6}
мілі-	мл	10^{-3}
санти-	с	10^{-2}
кіло-	к	10^3
мега-	М	10^6
гіга-	Г	10^9

Похибка (невизначеність) вимірювання – це відхилення значення виміряної величини від її істинного значення.

тера-	Т	10^{12}
пета-	п	10^{15}
екса-	е	10^{18}

Абсолютна похибка вимірювання Δx – це модуль різниці між виміряним ($x_{\text{вим}}$) та істинним (x) значеннями вимірюваної величини.

$$\Delta x = |x_{\text{вим}} - x|$$

Відносна похибка вимірювання ε_x – це відношення абсолютної похибки до виміряного значення вимірюваної величини.

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{вим}}} \quad \text{або} \quad \varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{вим}}} \cdot 100\%$$

Похибки в ході вимірювань фізичних величин бувають **випадкові** та **систематичні**.

Випадкові похибки пов'язані з процесом вимірювання.

- Як покращити результат вимірювання?

Вимірювання проводять кілька разів і визначають *середнє значення вимірюваної величини*:

$$x_{\text{вим}} = x_{\text{сер}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}$$

$x_1, x_2, \dots, x_N$ – результати кожного з N вимірювань.

Випадкова абсолютна похибка:

$$\Delta x_{\text{вип}} = \frac{|x_1 - x_{\text{вим}}| + |x_2 - x_{\text{вим}}| + \dots + |x_N - x_{\text{вим}}|}{N}$$

Якщо вимірювання проводилися *один раз*, то *випадкова похибка дорівнює половині ціни поділки шкали приладу*.

Систематичні похибки (похибки приладу) пов'язані насамперед із вибором приладу.

Абсолютні похибки деяких фізичних приладів		
Фізичний прилад	Ціна поділки шкали приладу	Абсолютна похибка приладу
Лінійка учнівська	1 мм	± 1 мм
Стрічка вимірювальна	0,5 см	$\pm 0,5$ см
Штангенциркуль	0,1 мм	$\pm 0,05$ мм
Циліндр вимірювальний	1 мл	± 1 мл
Секундомір	0,2 с	± 1 с за 30 хв
Динамометр навчальний	0,1 Н	$\pm 0,05$ Н
Термометр лабораторний	1 °C	± 1 °C
Амперметр шкільний	0,1 А	$\pm 0,05$ А
Вольтметр шкільний	0,2 В	$\pm 0,1$ В

Якщо ви користуєтесь іншими приладами, то вважайте, що похибка приладу дорівнює половині ціни поділки шкали цього приладу.

Абсолютна похибка прямого вимірювання (Δx) враховує як систематичну похибку, зумовлену приладом ($\Delta x_{\text{прил}}$), так і випадкову похибку ($\Delta x_{\text{вип}}$), зумовлену процесом вимірювання:

$$\Delta x = \Delta x_{\text{прил}} + \Delta x_{\text{вип}}$$

- Як визначити абсолютну та відносну похибки непрямих вимірювань?

Непряме вимірювання має два етапи:

1) методом прямих вимірювань знаходять значення певних величин, наприклад x, y ;

2) за відповідною формулою обчислюють шукану величину f .

Деякі формули для визначення відносної похибки	
Вид формули (функції)	Відносна похибка
$f = x + y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$
$f = x - y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$
$f = xy$	$\varepsilon_f = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = \frac{x}{y}$	
$f = x^n$	$\varepsilon_f = n\varepsilon_x$
$f = \sqrt[n]{x}$	$\varepsilon_f = \frac{1}{n}\varepsilon_x$

Абсолютну похибку визначають за відотною похибкою:

$$\Delta f = \varepsilon_f \cdot f_{\text{вим}}$$

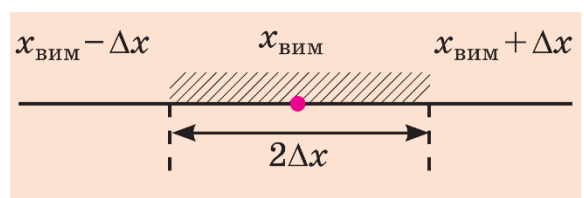
Якщо експеримент проводять, щоб з'ясувати, чи справджується певна рівність (наприклад, $X = Y$), то відносну похибку експериментальної перевірки рівності $X = Y$ можна обчислити за формулою:

$$\varepsilon = \left| \frac{X}{Y} - 1 \right| \cdot 100\%$$

Результати вимірювання

- Як правильно записати результати вимірювання?

Абсолютну похибку Δx округлюють до однієї значущої цифри із завищенням, а результат вимірювання $x_{\text{вим}}$ – до величини розряду, який залишився в абсолютній похибці після округлення.



$$x = x_{\text{вим}} \pm \Delta x$$

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ВПРАВ

1. Щоб довести закон збереження механічної енергії, провели експеримент. Було отримано, що середня енергія системи тіл до взаємодії дорівнює 225 Дж, а після взаємодії – 243 Дж. Оцініть відносну похибку експерименту.

Дано:

$$E_1 = 225 \text{ Дж}$$

$$E_2 = 243 \text{ Дж}$$

$$\varepsilon = ?$$

Розв'язання

Відносну похибку обчислюємо за формулою:

$$\varepsilon = \left| \frac{E_2}{E_1} - 1 \right| \cdot 100\%$$

$$\varepsilon = \left| \frac{243 \text{ Дж}}{225 \text{ Дж}} - 1 \right| \cdot 100\% = 8\%$$

Відповідь: $\varepsilon = 8\%$.

2. Визначаючи діаметр дроту за допомогою штангенциркуля, вимірювання проводили чотири рази. Було одержано такі результати: $d_1 = 2,2 \text{ мм}$; $d_2 = 2,1 \text{ мм}$; $d_3 = 2,0 \text{ мм}$; $d_4 = 2,0 \text{ мм}$. 1) Обчисліть середнє значення діаметра дроту, випадкову похибку вимірювання, абсолютну та відносну похибки вимірювання. 2) Округліть одержані результати й запишіть результат вимірювання.

Дано:

$$d_1 = 2,2 \text{ мм}$$

$$d_2 = 2,1 \text{ мм}$$

$$d_3 = 2,0 \text{ мм}$$

$$d_4 = 2,0 \text{ мм}$$

$$N = 4$$

$$d_{\text{сер}} = ?$$

$$\Delta d_{\text{вип}} = ?$$

$$\Delta x = ?$$

$$\varepsilon = ?$$

Розв'язання

Середнє значення вимірювальної величини знаходимо як середнє арифметичне значення:

$$d_{\text{вим}} = d_{\text{сер}} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{N}$$

де $N = 4$ (кількість дослідів)

$$d_{\text{вим}} = d_{\text{сер}} = \frac{2,2 + 2,1 + 2 + 2}{4} \approx 2,1 \text{ (мм)}$$

Випадкову похибку вимірювання обчислюємо за формулою:

$$\Delta d_{\text{вип}} = \frac{|d_1 - d_{\text{вим}}| + |d_2 - d_{\text{вим}}| + |d_3 - d_{\text{вим}}| + |d_4 - d_{\text{вим}}|}{N}$$

$$\Delta d_{\text{вип}} = \frac{|2,2 - 2,1| + |2,1 - 2,1| + |2 - 2,1| + |2 - 2,1|}{4}$$

$$= \frac{0,1 + 0 + 0,1 + 0,1}{4} = \frac{0,3}{4} \approx 0,1 \text{ (мм)}$$

Абсолютну похибку вимірювання розраховуємо за формулою:

$$\Delta d = \Delta d_{\text{прил}} + \Delta d_{\text{вип}}$$

де $\Delta d_{\text{прил}} = \pm 0,05 \text{ мм}$ – табличне значення.

$$\Delta d = 0,05 + 0,1 = 0,15 \text{ (мм)}$$

Абсолютну похибку експерименту округлюють до однієї значущої цифри із завищенням, тому $\Delta d = 0,2$ мм.

Відносна похибка вимірювань – це відношення абсолютної похибки до середнього значення:

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_{\text{вим}}} \quad \varepsilon = \frac{0,2}{2,1} = 0,095, \text{ або } 9,5\%$$

Результат вимірювання записується так:

$$d = 2,1 \pm 0,2 \text{ мм.}$$

Відповідь: $d_{\text{сер}} = 2,2$ мм; $\Delta d_{\text{вим}} = 0,1$ мм; $\Delta d = 0,2$ мм;
 $\varepsilon = 9,5\%$; $d = 2,1 \pm 0,2$ мм.