

ПРИНЦИП НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ЗАДАЧАХ МЕХАНІКИ

Крук В.В. – гр. БНТ-22, бакалавр, *krukniko@gmail.com*

Волох Л.В. – к.ф.-м.н., *lvolokh@gmail.com*

Київський національний університет технології та дизайну

Метою роботи є ознайомлення з основами теорії невизначеності вимірювань, принципами оцінювання невизначеностей, порядку додавання та форм подання невизначеностей вимірювань, а також наочне доведення співвідношення невизначеності Гейзенберга для координати x та проекції імпульсу ΔP_x .

При складанні звіту про результат вимірювання фізичної величини необхідно подати висновок про якість результату так, щоб можна було правильно оцінити його надійність. Процес оцінювання невизначеності вимірювань пов'язаний з численними розрахунками і довідковими даними з прикладної статистики та теорії ймовірностей

Аналогічно похибкам, невизначеності вимірів можуть бути класифіковані за різними ознаками.

За способом висловлювання їх поділяють на абсолютні та відносні.

Абсолютна невизначеність виміру-невизначеність виміру, виражена в одиницях вимірюваної величини.

Відносна невизначеність результату вимірів-відношення абсолютної невизначеності до результату вимірів.

Терміни — аналоги класичної теорії точності та концепції невизначеності

Класична теорія	Концепція невизначеності
Похибка результату виміру	Невизначеність результату виміру
Випадкова похибка	Невизначеність, що оцінюється за типом А
НВП	Невизначеність, що оцінюється за типом Б
СКО (стандартне відхилення) похибки результату виміру	Стандартна невизначеність результату виміру
Довірчі межі результату виміру	Розширена невизначеність результату виміру
Довірча ймовірність	Можливість охоплення (покриття)

Платформа: ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ. ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ. ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Створена методика опрацювання результатів вимірювань на основі теорії невизначеності у вимірюваннях. Поняття невизначеності як кількісної характеристики є порівняно новим у вимірюваннях, хоча похибка та аналіз похибки давно використовуються в метрології. Невизначеність результату вимірювання, як правило, складається з кількох компонентів, які можна згрупувати у дві категорії, залежно від способу оцінювання їх числового значення: тип А – компоненти, оцінені статистичними методами; тип В – компоненти, оцінені іншими способами, наприклад, по характеристиках, взятих із формуляра або паспорта, із методик використання вимірювань, із попередніх експериментів, із довідкових джерел, через округлення результатів вимірювань, через використання констант.

Невизначеність (непевність) результату вимірювання показує відсутність знання точного значення вимірюваної величини. Якщо розглянути стандартну невизначеність типу А, то тут діє закон розподілу випадкових похибок – нормальний (Гаусів). Результат вимірювання після внесення поправки на відомі систематичні відхилення залишається лише оцінкою значення вимірюваної величини через невизначеності внаслідок впливу випадкових чинників і неточної поправки результату на систематичні відхилення. Експериментальну дисперсію, яка характеризує складову невизначеності, отриману в результаті оцінювання за типом А, знаходять із рядів повторних спостережень, і вона є статистичною оцінкою дисперсії. Для оцінювання стандартної невизначеності необхідно провести n незалежних спостережень вимірюваної величини q в умовах повторюваності. У більшості випадків найкращою оцінкою математичного сподівання чи очікуваного значення μ_q випадкової величини q є середнє арифметичне або середнє значення q із n спостережень

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k .$$

Для зменшення стандартної невизначеності результату вимірювання доцільно виконувати вимірювання з багатократними спостереженнями. Кількість спостережень n варто збільшувати до тих пір, поки \bar{q} буде давати надійну оцінку очікування μ_q випадкової змінної q .

Система понять квантової механіки сильно відрізняється від системи понять класичної механіки. Квантова механіка дає ймовірність знаходження частинок і нічого не говорить про траєкторію частинки, її координати і швидкості у той чи інший момент часу. Проте тут зберігають своє значення маса, енергія і момент імпульсу частинки (стан електрона). Одним із основних положень квантової механіки є співвідношення невизначеності, встановлене Гейзенбергом. Згідно з цим співвідношенням неможливо одночасно точно

Платформа: ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ. ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ. ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

визначити місце знаходження частинки і її імпульс ($p = mv$). Чим точніше визначається координати частинки, тим більш невизначеним буде її імпульс. Навпаки, чим точніше відомий імпульс, тим більш невизначена координата.

Відмова від детермінованого поняття траєкторії руху, притаманного класичній механіці Ньютона-Галілея, і перехід до ймовірнісного опису положення мікрочастинок у просторі є однією з істотних і принципових особливостей квантової механіки — науки про мікросвіт.

Нижче наведено реалізоване в Excel доведення співвідношення невизначеності Гейзенберга для координати x та проекції імпульсу ΔP_x .

№	L	л	Δx	2D	D	$L \cdot \lambda \cdot 10^{-9}$	
1	0.295	0.633	42	20	10	$1,239 \cdot 10^{-10}$	$\Delta x \cdot 2D \geq \sim h/2$ - співвідношення невизначеностей Гейзенберга
2	0.27	0.633	39	41	20.5	$1,709 \cdot 10^{-10}$	h - стала Дірака
3	0.255	0.633	39	39	19.5	$1,614 \cdot 10^{-10}$	$\sim h$ - стала Планка
4	0.43	0.633	51	45	22.5	$2,722 \cdot 10^{-10}$	L - відстань від щілини до екрана
5	0.49	0.633	56	62	31	$3,102 \cdot 10^{-10}$	л - довжина хвилі монохроматичного випромінювання
6	0.52	0.633	62	70	35	$3,292 \cdot 10^{-10}$	D - півширина центрального дифракційного максимуму
7	0.36	0.633	45	40	20	$2,279 \cdot 10^{-10}$	
			47.71429	45.28571			$\Delta x \cdot D \geq L \cdot \lambda$ - Цей вираз є робочою формулою для перевірки співвідношення невизначеності Гейзенберга для координати x і проекції імпульсу ΔP_x фотонів.
	$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$	стала Планка				$3,29 \cdot 10^{-16}$	$420 \geq 0.186735$
	$\sim h = 6,58 \cdot 10^{-16}$	стала Дірака				$1,08241 \cdot 10^{-31}$	$800 \geq 0.17091$
							$1521 \geq 0.161415$
	$\Delta x \cdot 2D \geq \sim h/2$		$((\Delta x - 48)^2) / (2D - 45)^2 \geq \sim h^2 / 4$				$2295 \geq 0.27219$
	2160.776	$3.29E-16$	22500	$1,08241 \cdot 10^{-31}$			$3472 \geq 0.31017$
			1296	$1,08241 \cdot 10^{-31}$			$4340 \geq 0.32916$
			2916	$1,08241 \cdot 10^{-31}$			$1800 \geq 0.22788$
			0	$1,08241 \cdot 10^{-31}$			
			18496	$1,08241 \cdot 10^{-31}$			
			122500	$1,08241 \cdot 10^{-31}$			
			225	$1,08241 \cdot 10^{-31}$			

Висновки. В роботі розглянуті стандартні невизначеності результатів вимірювання, а також невизначеність Гейзенберга для квантової механіки. Дане співвідношення доведено розрахунковою роботою.

Співвідношення невизначеностей слугує лише мірою того, до якої степені придатне для мікрочастинок модельоване уявлення про них як про механічні частинки, охарактеризованих визначеними розмірами, координатами і швидкостями. Для квантово-механічного опису характерно саме те, що він виражає здатність мікрочастинок в специфічних умовах взаємодіяти з навколишніми тілами.

**Платформа: ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ. ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ.
ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

Л і т е р а т у р а

1. Heisenberg, W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik // Zeitschrift für Physik. – 1927. – Vol. 43, Issue 3-4. – P. 172-198.
2. Осипенко К.С., Жуйков В.Я. Принцип невизначеності Гейзенберга при оцінці рівня енергії, що генерується відновлюваними джерелами. Технічна електродинаміка. 2017. №1. С. 10-16. <http://jnas.nbuu.gov.ua/article/UJRN-0000649894>
3. Федорченко А. М. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика // Теоретична фізика. – К. : Вища школа, 1993. – Т. 2. – 415 с.
4. Юхновський І. Р. Основи квантової механіки. – К. : Либідь, 2002. – 392 с.