



НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЕЙ СООТНОШЕНИЕ

Авторы: Л. И. Пономарёв

НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЕЙ СООТНОШЕНИЕ, фундаментальное соотношение квантовой механики, устанавливающее предел точности одновременного определения канонически сопряжённых динамич. переменных, характеризующих квантовую систему: координата – импульс, действие – угол и т. д. Н. с. имеет вид неравенства, напр.:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2 \quad (1)$$

где

\hbar – постоянная Планка,

Δx и

Δp_x – неопределённости значений координаты

x и сопряжённой ей компоненты

p_x импульса

p (аналогичные соотношения справедливы и для др. пар координат и компонент импульса:

y и

p_y ,

z и

p_z).

Н. с. установлено В. [Гейзенбергом](#) в 1927. В 1929 Х. П. Робертсон (США) показал, что

Н. с. является следствием коммутационного соотношения (см. [Перестановочные соотношения](#)) между операторами

$[x, p_x] = i\hbar$ соответствующих физич. величин.

Среди физич. толкований Н. с. можно выделить по крайней мере три уровня, которым в англоязычной лит-ре соответствуют три разл. термина: uncertainty, indeterminateness, indeterminacy. Наиболее часто, особенно в упрощённых изложениях принципов квантовой механики, Н. с. (uncertainty relations) трактуют как ограничение на экспериментально достижимую точность измерения характеристик квантовых объектов, обусловленную неадекватностью классич. приборов целям квантовых измерений.

Др. толкование (indeterminateness) исходит из предпосылки, что Н. с. есть следствие свойств квантовых объектов, внутренне присущих им независимо от несовершенства конкретных реализаций эксперим. установок, предназначенных для измерения этих свойств. Таким внутр. свойством является корпускулярно-волновой дуализм квантовых объектов, т. е. неразделимое сочетание волновых и корпускулярных свойств, равно необходимых для полного описания объектов. С этой точки зрения аналоги Н. с. были хорошо известны задолго до создания квантовой механики, напр. в акустике и оптике. Так, для цуга излучения протяжённостью Δx , представляющего собой волновой пакет с волновыми числами, лежащими в интервале Δk , справедливо соотношение $\Delta x \Delta k \sim 1$, которое с учётом квантового соотношения де Бройля $p = \hbar k$ эквивалентно Н. с. (1).

Второе толкование Н. с. значительно шире и плодотворнее первого, поскольку оно представляет собой не частное утверждение о границах уточнения характеристик квантовых объектов, а важнейший пример дополнительности принципа Бора. С точки зрения этого более общего принципа Н. с. трактуется как способ сохранить классич. понятия для описания квантовых систем путём взаимного ограничения области их совместной применимости. Для такого расширенного толкования Н. с. часто используют термин indeterminacy.

Н. с. для энергии

\mathcal{E} и времени

t и по форме совпадает с соотношением (1):

$$\Delta \mathcal{E} \Delta t \geq \hbar/2, \quad (2)$$

однако его толкование отличается от интерпретации соотношения (1). Обычно Н. с. (2) трактуется как невозможность точного определения энергии квантовой системы ($\Delta \mathcal{E} = 0$) за ограниченный интервал времени измерения

Δt . В качестве иллюстрации Н. с. для пары

(\mathcal{E}, t) Н. [Бор](#) обращал внимание на невозможность определить понятие монохроматич. волны в данный момент времени. Для возбуждённых квантовых систем (напр., атома или молекулы) неопределённость энергии состояния

$\Delta \mathcal{E}$ (естественная ширина уровня) непосредственно связана с его временем жизни Δt с помощью Н. с. (2).

Н. с. даёт также способ для простых количественных оценок характеристик квантовых систем. Напр., исходя из известных размеров атома водорода, $a = \hbar^2/m_e^2 \sim \Delta x$, и соотношения (1), можно оценить характерную скорость v электрона в атоме в основном состоянии:

$$v \sim p/m \sim \hbar/ma \sim e^2/\hbar, \text{ т. е.}$$

$$v/c \approx e^2/\hbar c \approx \alpha \approx 1/137 \text{ (здесь}$$

m и

e – масса и заряд электрона,

c – скорость света,

α – постоянная тонкой структуры). Для ограниченных в пространстве квантовых систем из Н. с. следует также существование энергии [нулевых колебаний](#).

Литература

Лит.: Мандельштам Л. И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М., 1972; Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики. М., 1985.