

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ. ЗАКОН ГЕЙЗЕНБЕРГА.

Жовлиев Сарвар Мустафо угли

Каршинский инженерно-экономический институт, ассистент кафедры
«Физика и электроника»,
E-mail: jovliyev19sarvar96@gmail.com

ANNOTATSIYA

В статье студентам технических вузов разъясняется принцип работы измерительных приборов, основанных на законах квантовой физики. Предпринята попытка объяснить неточность приборов, измеряющих макроскопические величины, при измерении микроскопических величин, ограниченность применения представлений классической физики с помощью соотношений неопределенностей Гейзенберга.

Ключевые слова: классическая физика, микрообъект, детерминизм, неопределенностей Гейзенберга, неопределенность координаты и импульса, фотон.

NATURAL LIMITS OF MEASUREMENTS. HEISENBERG'S LAW.

Jovliev Sarvar Mustafo o'g'li

Karshi Institute of Engineering and Economics, assistant of the department
“Physics and Electronics”,
E-mail: jovliyev19sarvar96@gmail.com

ABSTRACT

The article explains to students of technical universities the principle of operation of measuring instruments based on the laws of quantum physics. An attempt has been made to explain the inaccuracy of instruments measuring macroscopic quantities when measuring microscopic quantities, the limited application of the concepts of classical physics with the help of Heisenberg's uncertainty relations.

Key words: classical physics, micro-object, determinism, Heisenberg uncertainty, uncertainty of position and momentum, photon.

В начале XX века стало ясно, что классическая физика непригодна при анализе явлений атомного масштаба. Какие же черты классического способа описания физических явлений делают его неприменимым для описания микрообъектов, и где проходит граница применимости представлений классической физики?

Классическое описание физического процесса или явления характеризуется следующими абстракциями.

Предположение о независимости явлений от условий их наблюдения. Единственное обстоятельство, связанное с условиями наблюдения, которое учитывалось в классической физике, это выбор системы отсчета. По отношению к двум произвольно движущимся друг относительно друга системам отсчета одно и то же явление будет иметь различный вид. Физический процесс в инерциальной системе отсчета рассматривался как нечто происходящее независимо от наблюдения за этим процессом, а не как явление, конкретно познаваемое при помощи определенных средств исследования. Позднейшее развитие физики показало, что абсолютизация физических процессов не является логически необходимой, а представляет собой допущение, которое прекрасно оправдывалось при изучении макроскопических явлений, но которое оказалось совершенно непригодным в микромире. Действительно, классическая физика имела дело с телами крупного масштаба, по отношению к которым воздействие, связанное с измерением, играло совершенно ничтожную роль. В тех случаях, когда оно было заметным, его можно было учесть и внести соответствующие поправки. Принципиальная возможность этого никогда не вызывала сомнений.

Вторая абстракция, допускавшаяся в классической физике, была тесно связана с первой и заключалась в том, что при изучении физических явлений считалась возможной сколь угодно подробная детализация описания этих явлений. Другими словами, считалось, что можно неограниченно уточнять наблюдение и наблюдать разные стороны одного и того же физического процесса, не нарушая самого явления.

С этими двумя абстракциями, используемыми в классической физике, с предположениями об абсолютном характере физических процессов (их независимости от условий наблюдения) и о возможности сколь угодно детального их описания (в пределе – исчерпывающе точного и всестороннего), связано понятие о лапласовском механическом детерминизме, согласно которому можно определить состояние исследуемой системы в любой момент времени, если известно ее начальное состояние.

Вопрос о применимости классического способа описания – это вопрос о возможности использования перечисленных абстракций при анализе конкретного явления. Если в каком-то конкретном случае установлено, что эти абстракции неприменимы, то классическое описание невозможно и, следовательно, бессмысленны классические представления о свойствах изучаемого объекта, например, о его движении по определенной траектории. Пределы применимости представлений классической физики, то есть классического способа описания явлений микромира, устанавливаются так называемыми соотношениями **неопределенностей Гейзенберга**. Рассматривая различные способы измерения положения и импульса частицы, В. К. Гейзенберг пришел к выводу о том, что условия, благоприятные для точного измерения положения частицы, неблагоприятны для точного измерения ее импульса и наоборот. Одно из соотношений Гейзенберга связывает между собой неопределенности в значениях координаты частицы x и соответствующей компоненты импульса p_x в один и тот же момент времени:

$$\Delta x \Delta p_x \geq h \quad (1)$$

Величины Δx и Δp_x неправильно было бы понимать только как неточности одновременного измерения величин x и p_x , поскольку сам термин "неточность" как бы предполагает, что существуют и "точные" значения x и p_x , но только они почему-то не могут быть измерены. На самом деле невозможность точного измерения является следствием того, что частица по своей природе не имеет одновременно точного значения координаты и соответствующей проекции импульса. Эта невозможность есть проявление корпускулярно-волновой природы материальных микрообъектов. Аналогичные соотношения справедливы и для других координат и компонент импульса:

$$\Delta y \Delta p_y \geq h; \quad (2)$$

$$\Delta z \Delta p_z \geq h. \quad (3)$$

При измерениях в микроскопических масштабах даже самая совершенная и точная аппаратура будет давать результаты, которые принципиально имеют статистическую природу. Повторение измерений в одних и тех же условиях будет давать разные значения измеряемой величины. Каждое значение будет появляться с той или иной вероятностью, зависящей от способа измерения. Сам процесс измерения может воздействовать на физическую систему таким образом, что одновременно определить две сопряженные переменные можно лишь с конечной точностью, которая задается соответствующим соотношением неопределенностей.

Мерой разброса результатов измерений является среднеквадратичное отклонение s получаемого распределения. В таком контексте эту величину называют "неопределенностью Δ ". Таким образом, неопределенность координаты равна

$$\Delta x = \sigma_x \quad (4)$$

Соотношение неопределенностей для координаты и сопряженной ей переменной – компоненты импульса p_x – имеет вид

$$\Delta x \Delta p_x \geq h/2 \quad (5)$$

В связи с тем, что постоянная Планка $h = 2\pi\hbar$ чрезвычайно мала, то выражение при макроскопических измерениях лишено практического смысла. Неопределенность координаты и импульса, которая следует из (5), лежит далеко за пределами достижимой точности экспериментов. Аналогично выражению (5) формулируется соотношение неопределенностей для другой пары сопряженных величин – энергии и времени:

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2} \quad (6)$$

Это соотношение связывает неопределенность энергии атомной системы $\Delta E = \sigma_E$ с неопределенностью времени $\Delta t = \sigma_t$, в течение которого измеряется энергия.

Если применить соотношение неопределенностей между энергией и временем к спонтанному распаду в системах, находящихся в квазистационарных состояниях, то экспоненциальное распределение измеренных значений времени распада даст величину стандартного отклонения, которая равна среднему значению t . Эту величину называют средним временем жизни τ состояния:

$$\tau = t = \sigma_t = \Delta t. \quad (7)$$

В этом случае неопределенность энергии квазистационарного состояния равна

$$\Delta E \geq \hbar/2\tau. \quad (8)$$

Для квазистационарных состояний с $\Delta E \ll E$ выражение (8) переходит в приближенное равенство, тогда можно ввести еще одну часто используемую величину – ширину уровня $\Gamma = 2\Delta E$. И выражение (8) приобретает вид

$$\Gamma \tau = \hbar. \quad (9)$$

В такой форме соотношение неопределенностей играет большую роль в атомной и ядерной физике.

Пусть при распаде испускается квант с энергией $\hbar\omega$, а конечная ширина уровня описывается спектральным распределением интенсивности $p(\omega)$ электромагнитных волн. Тогда если обозначить символом γ профиль спектральной линии, то $\Gamma = 2\hbar\Delta\omega = \hbar\gamma$ и соотношение (9) переходит в (10)

$$\gamma t = 1. \quad (10)$$

Профиль спектральной линии описывается распределением Лоренца

$$p(\omega, \omega_0, \gamma) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\gamma/2}{(\omega - \omega_0)^2 + (\frac{\gamma}{2})^2} \quad (11)$$

Из (11) следует, что γ – это ширина линии на половине ее высоты; она называется естественной шириной линии. При переходах между двумя состояниями с энергетической шириной Γ_1 и Γ_2 спектральная ширина линии равна

$$\gamma = \frac{(\Gamma_1 + \Gamma_2)}{\hbar}. \quad (12)$$

Таким образом, уравнение (10) описывает фундаментальное свойство волн: оно связывает между собой конечную продолжительность ограниченного волнового пакета с его спектральной шириной. С помощью преобразования Фурье получим для бездисперсионных волн

$$\gamma t = K, \quad (13)$$

где K – постоянная порядка единицы. Точное значение K зависит от конкретной формы волнового пакета.

Применим соотношение (6) к монохроматическим электромагнитным волнам. Для полного описания волны нужно измерить как ее амплитуду, так и фазу φ , причем $\varphi = \omega t$.

Неопределенность фазы $\Delta\varphi$ связана с неопределенностью продолжительности измерения Δt :

$$\Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t. \quad (14)$$

При измерении амплитуды нужно определить число фотонов N , прошедших через точку измерения за промежуток времени Δt . Используя соотношение $E = N\hbar\omega$, получим неопределенность энергии

$$\Delta E = \hbar\omega \cdot \Delta N. \quad (15)$$

Отсюда получим соотношение неопределенностей для числа фотонов и фазы электромагнитной волны

$$\Delta N \cdot \Delta\varphi \geq 1/2. \quad (16)$$

Соотношение (16) определяет абсолютную границу точности измерения электромагнитных сигналов, особенно в оптической области, где в отличие от радиочастотного диапазона при той же мощности излучения, из-за большой энергии квантов число фотонов, фиксируемых за характерное время измерения Δt , а значит и неопределенность ΔN ненамного больше единицы. Поэтому неопределенность фазы велика. Состояние когерентных электромагнитных волн определено с максимальной точностью, и для них в соотношении (16) стоит знак равенства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ: (REFERENCES)

1. Коржавов М. Ж. Проблемы классической физики конца XIX века. Возникновение квантовой теории // " ENGLAND" MODERN PSYCHOLOGY AND PEDAGOGY: PROBLEMS AND SOLUTION. – 2023. – Т. 10. – №. 1.
2. Korjavov M. J. KVANT FIZIKASIDA DETERMINIZM TAMOILINI RAD ETISH //Results of National Scientific Research International Journal. – 2022. – Т. 1. – №. 8. – С. 220-229.
3. Tursunov Q.Sh., Eshmirzayeva M. A., Qorjavov M. J. Questions of the Methodology of Knowledge in Text books Physics of the New Generation //International Journal of Latest Research in Humanities and Social Science (IJLRHSS). – 2021. – Т. 3. – С. 18-22.
4. Jovlievich K. M. Some Methodological Methods Of Solving Issues From Quantum Physics //Texas Journal of Multidisciplinary Studies. – 2022. – Т. 5. – С. 188-192.
5. Jovliyev Sarvar Mustafo o'g'li. (2022). MAHSULOT SIFATINI BOSHQARISH VA TAXLIL QILISH STATISTIK USULLARINING YETTI INSTRUMENT USULLARI // EURASIAN JOURNAL OF ACADEMIC RESEARCH, 2(6), 41–45.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6616058>
<https://www.in-academy.uz/index.php/ejar>
6. Jovliyev Sarvar Mustafo o'g'li. (2022). TEXNIKA OLIY O'QUV YURTLARI TA'LIMIDA KEYS TEXNOLOGIYASIDAN FOYDALANISH // EURASIAN JOURNAL OF ACADEMIC RESEARCH, 2(5), 791–794
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6590349>
7. Тураев З.Б., Юсупов Р.Э., Эшонкулов М.Н., Жовлиев С.М., Алмарданов Х.А., Хатамов И.А. Применение солнечных концентраторов для приема альтернативного топлива через устройство гелиопиролиза //UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. – 2021, Март. –№. 3(84). С. 8-11.
<https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11381>
8. Zhovliev S.M. Specialty of technological processes and production automation – profession of the XXI century //ResearchJet Journal of Analysis and Inventions. – 2021, May. –Т.2. №.05. –С. 15-19.
9. Raximov A.X., Jovliyev S.M. Xolbutayeva X.E. Radio monitoring and recognition of radio emissions radio electronic equipment //International Journal For Innovative Engineering and Management Research. –2021, April. –Т.10. №.4. –С. 506-507.
<https://ijiemr.org/downloads/Volume-10/Issue-4>
10. Mallayev A.R., Sharipov G.Q., Sodikov A.R., Zhovliev S.M. Mathematical modeling of dynamics formation of hydrates at pipeline natural gas transport //International Journal For Innovative Engineering and Management Research. –2021, April. –Т.10. №.4. –С. 31-35.