
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ 100 ЛЕТ СПУСТЯ ПОСЛЕ ЕЕ СОЗДАНИЯ

Н.В. Самсоненко *

*Институт физических исследований и технологий
Российского университета дружбы народов*

Приводятся основные аксиомы квантовой механики. Обсуждаются различные интерпретации её математического формализма.

Ключевые слова: квантовая теория, волновая функция, уравнение Шредингера, копенгагенская интерпретация.

В силу специфических черт физических законов в микрообластях нашего пространства-времени и необычного математического аппарата квантовая механика занимает особое место среди физических наук о природе. На сегодняшний день она считается наиболее проверенной и наиболее успешной теорией в истории науки, но консенсуса в понимании ее глубокого смысла все еще нет. Несмотря на то что с её помощью мы умеем вычислять значения многих физических величин с огромной точностью, «Я смело могу сказать, что квантовой механики никто не понимает» [1. С. 139].

Неофициальный опрос, проведенный в 1997 году на симпозиуме под эгидой УМВС, показал, что некогда доминировавшая Копенгагенская интерпретация поддерживается менее чем половиной участников. В целом голоса участников опроса распределились следующим образом [2]:

| Интерпретация | Отдано голосов |
|--|----------------|
| Копенгагенская интерпретация | 13 |
| Многомировая интерпретация | 8 |
| Интерпретация де Бройля–Бома | 4 |
| Непротиворечивые истории | 4 |
| Модифицированная динамика | 1 |
| Ничего из предложенного выше или затруднились ответить | 18 |
| ВСЕГО | 48 |

В основе квантовой механики лежат следующие пять аксиом:

1. Существует волновая функция $\psi(\vec{r}, t)$, полностью описывающая (в квантовом смысле) физическую систему. Её квадрат есть плотность вероятности $\omega(r) = |\psi|^2$.

* E-mail: nsamson@bk.ru

2. Гипотеза де Бройля: Свободная частица описывается плоской волной

$$\psi = \psi_0 \exp \left\{ \frac{1}{\hbar} (Et - \vec{p}\vec{r}) \right\}.$$

3. Правило соответствия:

Физическая величина \longleftrightarrow эрмитовый оператор.

4. Принцип суперпозиции: $\psi = c_1\psi_1 + c_2\psi_2$.

5. Эволюция во времени описывается линейным уравнением Шрёдингера $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi$.

Существуют многочисленные математические обобщения аппарата квантовой механики и различные попытки его физического толкования. Очень часто строго доказанные теоремы на основе пять вышеприведенных аксиом распространяются на обобщения, что, очевидно, неверно. Можно привести типичный пример с теоремой фон Неймана о невозможности введения скрытых параметров в квантовую механику. Она абсолютно точна для общепринятой теории, в которой выполняются все пять аксиом, но неприменима для большинства обобщений. Так, например, изменив аксиому 3 (правило соответствия), можно построить квантовую механику с неотрицательной квантовой функцией распределения (КФР), где теорема фон Неймана не выполняется и не должна выполняться [3]. Появившиеся при этом дополнительные степени свободы **автоматически** приводят к появлению формфакторов плотности пространственного распределения электрического заряда $\rho(\mathbf{r})$, то есть **позволяют описывать структуру частиц и ядер** [4]. Часто проблема интерпретации осложняется различным выбором обобщенных динамических переменных для описания одной и той же системы. Иногда по своему определению они не могут иметь прямого физического смысла. Всего известно более десятка интерпретаций квантовой механики. Наиболее часто обсуждаются две из них, основные черты которых, на наш взгляд, прямо противоположны друг другу:

Основные черты интерпретации квантовой механики

| Основные черты | Копенгагенская | Де Бройля–Бома |
|----------------------------------|---|--|
| 1. Физический смысл ψ | Абстрактная волна в абстрактном пространстве | Реальная волна в реальном пространстве |
| 2. Дуализм | «Частица» либо «волна» (никогда вместе) | «Частица» + «волна» (всегда вместе) |
| 3. Инструмент | Предсказания | Описания |
| 4. Редукция волнового пакета | Есть | Нет |
| 5. Волна частицы | $v < c$ имеет дисперсию в вакууме | $V > c$ имеет дисперсию в вакууме |
| 6. Описание N частиц | Одна общая волна в конфигурационном абстрактном пространстве 3N-измерений | N волн в одном общем реальном пространстве Минковского |
| 7. Соотношение неопределенностей | Ограничивает измерение некоммутирующих величин | Имеет статистический характер |
| 8. Скрытые параметры | Нет | Возможны |

Доминирующей является Копенгагенская интерпретация. К её сторонникам следует отнести (по мнению автора) подавляющее большинство физиков, работающих в области квантовой механики, квантовой теории поля и многочисленных их приложений, в первую очередь Бора, Гейзенберга, Паули, Борна, Ландау и многих других выдающихся теоретиков и экспериментаторов. Менее известна интерпретация де Бройля–Бома, которую иногда называют причинной интерпретацией. Среди её сторонников следует назвать де Бройля, Шрёдингера, Бома, Вижье, Лошака, Терлецкого и некоторых других крупных теоретиков. Здесь мы имеем в виду не первоначальный вариант волновой механики, изложенный в диссертации де Бройля (1924 г.), а ее расширенную версию (1927 г.) получившую название теории двойного решения [5] (различные варианты которой он развивал позже после публикации известной статьи Бома в 1952 году). Следует подчеркнуть, что многочисленные предложения по экспериментальному определению одной из двух вышеприведенных возможностей пока не увенчались успехом.

Таким образом, после 100 лет со времени наблюдения первых квантовых явлений этот вопрос остаётся открытым. Забавно, что все до единого экспериментаторы, с которыми автор встречался в России и за рубежом, стихийно стоят на позициях де Бройля–Бома, несмотря на официальное преподавание во всех вузах мира Копенгагенской интерпретации квантовой механики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фейнман Р. П. Характер физических законов. – М.: Мир, 1968.
2. Tegmark. The Interpretation of Quantum Mechanics: Many Worlds or Many Words? – 1997. *arXiv: quant-ph/9709032v1*.
3. Курьшикин В.В. и др. Сборник статей «Дискуссионные вопросы квантовой физики». – М.: РУДН, 1993.
4. Самсоненко Н.В. Физический смысл функций φ_k в квантовой механике с неотрицательной КФР // Дискуссионные вопросы квантовой механики: сб. статей. – М.: РУДН, 1993. – С. 116–119.
5. Бройль Луи де. Волновая механика и корпускулярная структура вещества и излучения: избранные научные труды. – Т. 1. – М.: Логос, 2010. – С. 237.

INTERPRETATION OF QUANTUM MECHANICS 100 YEARS AFTER ITS CREATION

N.V. Samsonenko*

*Institute of Physical Research and Technology,
Peoples' Friendship University of Russia*

The basic axioms of quantum mechanics are given. Various interpretations of its mathematical formalism are discussed.

Keywords: quantum theory, wave function, Schrödinger equation, Copenhagen interpretation.

* E-mail: nsamson@bk.ru