# Содержание

# Введение

В сборнике статей описан подход для решения квантовых задач на основе физических переменных в представлении плотности вероятности. Эти результаты сравнивались с волновыми решениями на основе уравнения Шрёдингера, что позволило устранить ряд противоречий между разными подходами и получить новые результаты, в частности уточнить выражения для квадрупольных моментов атомов водорода, несколько по-иному представить спин квантовых частиц и последовательно, на наш взгляд, предсказать возможность существования субатомов водорода.

Субатом водорода — это квантовая система из протона и электрона в основном состоянии, отличающаяся от традиционного водорода тем, что это более «компактная» система. Такие частицы практически не могут существовать свободно; приближаясь к другим частицам, в том числе заряженным, на достаточно близкие расстояния, они могут вступать с ними в ядерные реакции. Существование субатомов водорода (это могут быть и субатомы дейтерия) является, возможно, одной из причин, объясняющих экспериментально доказанную ядерную трансмутацию элементов.

Подбор статей сделан так, чтобы можно было последовательно показать, что формула де Бройля, высказанная в виде гипотезы и связывающая собственную массу квантовых частиц с квантовой частотой колебаний, является фундаментальным соотношением природы. Экспериментальное доказательство существования субатомов водорода является обоснованием этого утверждения.

Первое издание книги «Субатомы водорода» осуществлено в 2016 году в издательстве *LAMBERT* с возобновляемым тиражом по мере запросов. Учитывая высокие европейские цены на книги, в целях большей доступности брошюры для студентов и аспирантов предпринято второе и третье издание в России в издательстве «Издательский дом Академии Естествознания» под названием «Субатомные состояния водорода», 2016 г., и «Атом водорода. Что нового?», 2017 г., с внесенными исправлениями и дополнительными материалами.

Настоящая публикация отличается несколько измененным описанием субатомных состояний водорода и представлением новых экспериментальных исследований в биологических системах по обнаружению субатомов водорода.

Книга является переработанным и дополненным изданием сборника «Субатомы водорода в технических и биологических системах», опубликованного в издательстве «ТЕХНОСФЕРА» в 2019 году.

# ГЛАВА I

# ИСТОРИЯ ВОПРОСА

В начале прошлого века были проделаны эксперименты, результаты которых не укладывались в понятия классической физики и привели, по существу, к рождению квантовой физики. В квантовой механике было введено понятие волновой функции, которая непосредственно не имеет физического смысла, но, тем не менее, позволяет описать эволюцию квантовых систем во времени, а квадрат модуля волновой функции имеет смысл пространственно-временного распределения плотности вероятности этой системы.

Наибольшее число вопросов вызывает изложение квантовой механики инфинитного движения частиц. С какой бы общностью ни пытались получить уравнение Шрёдингера [1, 2], все сводится к одному (по Шрёдингеру). Взято классическое выражение для энергии $E$ свободной частицы $m$, которая двигается с импульсом $p$:

$$E = p^2/2m, \tag{1.1}$$

и написано дифференциальное уравнение на языке плоских волн де Бройля для такого выражения:

$$\Psi(\vec{r}, t) = Ae^{i\left(\frac{\vec{p}\vec{r} - Et}{\hbar}\right)}. \tag{1.2}$$

В результате получается уравнение Шрёдингера для сводной частицы, которое с помощью волновой функции $\Psi$ описывает ее эволюцию в пространстве и времени:

$$i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t} = \hat{H}\Psi, \tag{1.3}$$

где оператор Гамильтона для сводной частицы имеет вид

$$\hat{H} = (\hat{p})^2/2m = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta = -\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right),$$

$\hbar$ — постоянная Планка.

Уравнение Шрёдингера является комплексным, ему соответствуют два действительных уравнения. Волновая функция также является комплексной и, как уже говорилось, не имеет физического смысла. Физический смысл имеет плотность вероятности; собственно, она описывает эволюцию частицы в пространстве и времени:

$$\rho(\vec{r}, t) = \Psi \cdot \Psi^*, \qquad (1.4)$$

где $\Psi^*$ является комплексно-сопряженной функцией.

И здесь возникает первое противоречие. Подставляя (1.2) в (1.4), получаем, что плотность вероятности свободной частицы постоянна во всем пространстве. Это необъяснимый факт. Получается, что плотность вероятности для свободной частицы, движущейся с импульсом $\vec{P}$, не зависит от координат и времени, то есть является постоянной во всем пространстве. Это противоречит экспериментальным данным. Попытка воспользоваться принципом суперпозиции и создать волновой пакет ни к чему не приводит. Волновой пакет расплывается в пространстве и времени. В связи с этим один из современных способов решения квантовых задач инфинитного движения заключается в описании движения квантовых частиц с помощью огибающей волнового пакета на характерных размерах и временах, много меньших, чем параметры расплывания пакета.

Собственно, с этого начинаются факты, лежащие в описании инфинитного движения в квантовой механике и непонятые до сих пор. На наш взгляд, одной из причин такого положения является то, что на заре зарождения квантовой механики отказались от описания квантовых систем с помощью физических величин. Это дорогая плата за введение нефизической функции Ψ. Дело в том, что при интерпретации квантовой механики в физических переменных без использования Ψ можно не только продвинуться в преодолении противоречий, имеющихся в квантовой механике, но и предсказать новые физические эффекты, а также экспериментально доказать их.

Как оказалось, после публикации Э. Шрёдингером своего уравнения на эту тему откликнулся Е. Маделунг, который в 1926 году опубликовал уравнения движения квантовой частицы в физических переменных, имевшие квазигидродинамический вид. Одно из двух уравнений оказалось нелинейным. Обнаружил эту библиографию Д. Бом, американский физик, который в 50-х годах внес значительный вклад в развитие квазигидродинамического описания квантовых систем [3, 4]. С тех пор нелинейный метод описания движения квантовых частиц с помощью величин, имеющих физический смысл, использовался для решения ряда квантовых задач. Например, при численных расчетах рассеяния квантовых частиц оказалось более удобным использовать квазигидродинамическое описание [5]. В конечном счете использование квазигидродинамического описания оправданно, если получены новые результаты, которые подтверждаются экспериментально или могут иметь экспериментальное подтверждение.

Возможно, квазигидродинамическое описание не «прижилось» и потому, что одно из уравнений является нелинейным и его весьма трудно решать аналитически. Впрочем, в квантовой механике не много решенных аналитически задач даже с использованием линейного уравнения Шрёдингера.

Поиск нетривиальных решений для инфинитных одночастичных состояний привел нас к решениям уравнения Шрёдингера в квазигидродинамическом виде. Квантовые квазигидродинамические уравнения позволяют описывать последовательно инфинитные и финитные состояния квантовых частиц. При необходимости полученные результаты можно удостоверить с помощью традиционных решений уравнения Шрёдингера. Обращение к квантовым квазигидродинамическим уравнениям с физическими величинами позволяет несколько иначе взглянуть на давно известные результаты для одночастичных инфинитных состояний.

Описание квантовых систем с помощью квазигидродинамических уравнений будем называть представлением плотности вероятности, и, как показывает опыт, квантовые задачи нужно решать в двух представлениях: с помощью волновых функций и с помощью представления плотности вероятности. Такой подход в конечном счете позволяет предсказать существование субатомов водорода.

## Литература

1. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. — М.: Наука, 1976. — 664 с.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. — М.: Гиз ФМЛ, 1963. — 702 с.
3. Вопросы причинности в квантовой механике / Сб. переводов под ред. Я. П. Терлецкого и А. А. Гусева. — М.: ИЛ, 1955. — С. 34.
4. Ghosh S. K., Deb B. M. Physics Reports // Review Section of Physics Letters, 1982. 92. № 1.
5. Алексеев Б. В., Абакумов А. И. Об одном подходе к решению уравнения Шрёдингера // Доклады Академии наук. — 1982. — Т. 262. — С. 1100.

# ГЛАВА 2

# ПОЛНАЯ ЭНЕРГИЯ И ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ [2]

К сожалению, нередко в учебниках по квантовой механике выражением для полной энергии свободной частицы считается формула

$$E = p^2/2m. \tag{2.1}$$

Однако эта формула описывает только энергию поступательного движения частицы. Частица совершает одновременно еще и квантовое движение, и это ее неотъемлемое свойство, в каких бы она состояниях ни находилась — финитных или неинфинитных. Таким образом, свободная частица одновременно участвует в двух движениях (корпускулярно-волновой дуализм) и каждому движению должна соответствовать своя энергия.

Пусть оператор Гамильтона частицы массы $m$, совершающей свободное движение, имеет вид

$$\hat{H} = (\hat{\vec{p}})^2/2m. \tag{2.2}$$

В квантовой механике договорились и приняли, что реальной физической величине соответствует квантово-механическое среднее от соответствующего оператора. Тогда энергия частицы равна

$$E = \left\langle \hat{H} \right\rangle = \left\langle \hat{\vec{p}}^{\,2} \right\rangle/2m = \langle \vec{p} \rangle^2/2m + \left\langle (\delta\vec{p})^2 \right\rangle/2m. \tag{2.3}$$

Здесь принято, что

$$E = \left\langle \hat{H} \right\rangle = \int \Psi^* \hat{H} \Psi \, d\,\mathbf{r} \text{ и } \left\langle \left( \hat{\vec{p}} - \langle \vec{p} \rangle \right)^2 \right\rangle = \left\langle (\delta\vec{p})^2 \right\rangle.$$

Можно видеть, что квантовая частица одновременно участвует в двух движениях — совершает поступательное движение с кинетической энергией

$$E_k = \langle \vec{p} \rangle^2 / 2m$$

и чисто квантовое движение с энергией квантовой нелокальности движения, обусловленной флуктуациями импульса

$$\delta\varepsilon = \left\langle \left(\Delta\vec{p}\right)^2 \right\rangle / 2m .$$

Таким образом,

$$E = E_k + \delta\varepsilon . \qquad (2.4)$$

Какой вид должна иметь волновая функция свободной частицы с энергией (2.4)? Используем принцип суперпозиции квантовых состояний для частицы, участвующей одновременно в двух движениях, и запишем волновую функцию в виде

$$\Psi(\vec{r},t) = \frac{\sqrt{\rho_0}}{2}\left( e^{\frac{i(\vec{p}_1\vec{r} - E_1 t)}{\hbar}} + e^{\frac{i(\vec{p}_2\vec{r} - E_2 t)}{\hbar}} \right). \qquad (2.5)$$

Положим, что

$$\langle \vec{p} \rangle = \left(\vec{p}_1 + \vec{p}_2\right)/2 ,\ \Delta\vec{p} = \left(\vec{p}_1 - \vec{p}_2\right)/2 ,$$

$$E_1 = p_1^2 / 2m ,\ E_2 = p_2^2 / 2m ,\ E = (E_1 + E_2)/2 .$$

Обозначим далее $\langle \mathbf{p} \rangle = \mathbf{p}$. Тогда плотность вероятности свободной частицы, совершающей инфинитное движение, будет иметь вид

$$\rho(\vec{r},t) = \rho_0 \cos^2\left( \frac{\delta\vec{p}(\vec{r} - t\vec{p}/m)}{\hbar} \right). \qquad (2.6)$$

Здесь предполагается, что начальная фаза волны равна нулю. Тогда один из максимумов плотности вероятности совпадает с классическим местоположением частицы и этот центр перемещается в пространстве с импульсом $\vec{p}$. Использование большего числа волновых функций для написания суперпозиции, описывающей движение свободной частицы, приводит к известной проблеме — расплыванию ρ в пространстве со временем для каждой частицы. Принимая обозначения для полной энергии частицы *E* и среднего импульса ***p***, волновую функцию частицы из формулы (2.5) можно преобразовать к виду

$$\Psi(\vec{r},t)=\sqrt{\rho_0}\cos\left(\frac{\delta\vec{p}(\vec{r}-t\vec{p}/m)}{\hbar}\right)e^{\frac{i(\vec{p}\vec{r}-Et)}{\hbar}}. \tag{2.7}$$

Формула (2.7) показывает, что амплитуда плоской волны модулируется гармонической функцией и ее максимум распространяется в пространстве с классической скоростью **p**/m. Период осцилляций амплитуды в пространстве подчиняется следующим соотношениям для любого момента времени:

$$\delta p_x\cdot\delta x=2\pi\hbar,\quad \delta p_y\cdot\delta y=2\pi\hbar,\quad \delta p_z\cdot\delta z=2\pi\hbar.$$

Нетрудно убедиться, что подстановка волновой функции (2.7) в уравнение Шрёдингера для свободной частицы дает выражение для полной энергии частицы в виде формулы (2.3) или (2.4).

Далее покажем, что выражение для плотности вероятности свободной частицы (2.6) является аналитическим решением квантовых квазигидродинамических уравнений.

В общем случае волна плотности вероятности свободной частицы (2.6) совершает продольно-поперечные колебания с волновым вектором

$$\vec{k}=\delta\vec{p}/\hbar, \tag{2.8}$$

частотой

$$\omega=(\delta\vec{p}/\hbar)(\vec{p}/m)=\vec{k}\vec{v} \tag{2.9}$$

и линейным законом дисперсии, что существенно. С ее помощью качественно можно объяснить известные экспериментальные результаты по интерференции частицы самой с собой при прохождении двух щелей [1]. Заметим, что в монографии [1] при интерпретации интерференционной картины на экране предлагается суперпозиция двух волновых функций (после прохождения щелей) для описания инфинитного движения отдельной квантовой частицы.

Закон сохранения энергии движения для свободных частиц (2.4) с помощью (2.6) можно записать в следующем виде:

$$E = E_k + (\hbar k)^2/2m, \text{ или } E = E_k + (\hbar\omega/2)(\hbar\omega/2E_k) + \hbar^2 k_\perp^2/2m, \qquad (2.10)$$

где $k_\perp$ — поперечная составляющая волнового вектора относительно направления движения. Можно видеть, что квантовая составляющая энергии свободного движения частицы имеет волновую природу и связана с энергией квантовых колебаний плотности вероятности. Заметим, что гармонические колебания плотности вероятности в соответствии с формулами (2.6) и (2.9) происходят на удвоенной частоте.

Если не учитывать поперечную составляющую флуктуаций импульса $k_\perp = 0$ и положить, что квантовая составляющая энергии движения равна кинетической энергии $E_k = \hbar\omega/2$, то получаем прежние постулаты квантовой механики для частиц с ненулевой массой:

$$E = \hbar\omega, \quad \vec{P} = \hbar\vec{k}.$$

Эти формулы в соответствии с (2.10) описывают возможный частный случай.

## Литература

1. Физика квантовой информации / Под ред. Д. Боумейстера, А. Экерта, А. Цайлингера. — М.: Постмаркет, 2002. — С. 18. (The Physics of Quantum Information edited by D. Bouwmeester, A. Ekert, A. Zeilinger. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2000).
2. Неволин В. К. Об энергии движения свободных квантовых частиц в разреженных пучках // Инженерная физика, 2009. — № 5. — С. 20.