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 противоречия между разными подходами и получить ряд новых результатов, 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 она более «компактна». 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.

Статьи подобраны так, чтобы 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 станет подтверждением этого утверждения.

Первое издание «Субатомы водорода» вышло в 2016 году в издательстве «LAMBERT» с возобновляемым тиражом по мере запросов. Учитывая высокие европейские цены на книги, второе и третье издания вышли в России в издательстве «Издательский дом Академии Естествознания» для большей доступности брошюры для студентов и аспирантов под названиями «Субатомные состояния водорода» (2016) и «Атом водорода. Что нового?» (2017). В издания были внесены исправления и дополнительные материалы.

Настоящее издание отличается несколько измененным описанием представления о субатомных состояниях водорода и представлением первых экспериментальных исследований в технических и биологических системах по обнаружению субатомов водорода.

ГЛАВА I

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

В начале прошлого века были проделаны эксперименты, результаты которых не укладывались в понятия классической физики и которые 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:

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

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

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

где Ψ^* — комплексно сопряженная функция.

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, т. е. является постоянной во всем пространстве. Это противоречит экспериментальным данным. Попытка воспользоваться принципом суперпозиции и создать волновой пакет ни к чему не привела. 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 не понятые 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 механики, но и предсказать новые физические эффекты и экспериментально доказать их.

После публикации Э. Шрёдингером своего уравнения на эту тему откликнулся Е. Маделунг и в 1926 году опубликовал уравнения движения квантовой частицы в физических переменных, которые имели квазигидродинамический вид. Одно из двух уравнений оказалось нелинейным. Раскопал всю эту библиографию Д. Бом, американский физик, который в 1950-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 оправдано, если получены новые результаты, которые подтверждаются экспериментально или могут иметь экспериментальное подтверждение.

Возможно, одной из причин того, что не «прижилось» квазигидродинамическое описание, является то, что одно из уравнений является нелинейным, которое 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 уравнений 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 позволил 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 г. С. 34.
4. Ghosh S. K., Deb B. M. Physics Reports (Review Section of Physics Letters). 1982. V. 92, No. 1.
5. Алексеев Б. В., Абакумов А. И. Об одном подходе к решению уравнения Шрёдингера // Доклады Академии наук. 1982. Т. 262, 1100 с.

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 квантовомеханическое среднее от соответствующего оператора. Тогда энергия частицы равна:

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

Здесь принято:

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

Можно видеть, что квантовая частица одновременно участвует в двух движениях: совершая 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

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

Таким образом,

$$E = E_k + \delta\varepsilon\,. \tag{2.4}$$

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:

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

Положим:

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

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

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

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

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 $\boldsymbol{p}$, волновую функцию частицы из формулы (2.5) можно преобразовать к виду:

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

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

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

Не трудно 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

$$\vec{k} = \delta\vec{p}/\hbar, \qquad (2.8)$$

частотой

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

и линейным законом дисперсии, что существенно. С ее помощью качественно можно объяснить известные экспериментальные