

МЕХАНИЗМ КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОГО ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Стеценко В.Ю.

Стеценко Владимир Юзефович – доктор технических наук,
Институт технологии металлов НАН Беларуси, Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь,
г. Могилев, Республика Беларусь

Аннотация: в статье предложен механизм корпускулярно-волнового движения электронов. Этот механизм заключается в движении электронов по траекториям винтовых спиралей. При этом движении каждый электрон одновременно вращается по окружности и движется прямолинейно в направлении импульса. Первый вид движения обеспечивает электронам волновые свойства, а второй вид движения – корпускулярные свойства. Такое движение электронов в атомах позволяет объяснить: принцип Паули, относительно малые значения радиусов атомов с большим содержанием электронов, первый постулат Бора. Движение электронов по траекториям винтовых спиралей делает эти частицы неинерциальными, к которым неприменимы уравнения специальной теории относительности.

Ключевые слова: электроны, корпускулярно-волновое движение, траектория винтовой спирали, атом водорода.

MECHANISM OF PARTICULAR-WAVE MOTION OF ELECTRONS

Stetsenko V.Yu.

Stetsenko Vladimir Yuzefovich – Doctor of Technical Sciences,
INSTITUTE OF METAL TECHNOLOGY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS, ASSOCIATION
OF FOUNDRYMEN AND METALLURGISTS OF THE REPUBLIC OF BELARUS,
MOGILEV, REPUBLIC OF BELARUS

Abstract: the article proposes a mechanism for the corpuscular-wave motion of electrons. This mechanism consists in the movement of electrons along the trajectories of spiral coils. In this motion, each electron simultaneously rotates in a circle and moves in a straight line in the direction of the pulse. The first type of motion provides wave properties to electrons, and the second type of motion provides corpuscular properties. This movement of electrons in atoms makes it possible to explain: the Pauli principle, the relatively small values of the radii of atoms with a high content of electrons, the first postulate of Bohr. The movement of electrons along the trajectories of helical spirals makes these particles non-inertial, to which the equations of the special theory of relativity are not applicable.

Keywords: electrons, particle-wave motion, spiral trajectory, hydrogen atom.

УДК 539.1

Известно, что при движении электроны проявляют как корпускулярные, так и волновые свойства [1]. Как частица электрон обладает массой и размерами. Радиус электрона (r) определяется следующим уравнением [2]:

$$r = \frac{e^2}{m \cdot c^2}, \quad (1)$$

где e – элементарный заряд, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; m – масса электрона, равная $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг; c – скорость света в вакууме, равная $3 \cdot 10^8$ м·с⁻¹ [3]. Подставляя эти значения в (1), получим $r = 3 \cdot 10^{-21}$ м.

Как волна электрон имеет длину волны (λ), определяемую уравнением де Бройля [2]:

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (2)$$

где h – постоянная Планка, равная $6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с [3]; p – импульс электрона.

Исходя из гипотезы Л. де Бройля о волнах материи, Э. Шредингер предложил волновое уравнение для движения электрона в электрическом поле ядра атома [1, 2]. М. Борн предложил считать волны Л. де Бройля волнами вероятности [4]. Вероятностная интерпретация уравнения Шредингера является основной современной квантовой теории. Согласно этой теории, квадрат модуля волновой функции уравнения Шредингера определяет плотность вероятности обнаружения электрона в точке атома [1].

Согласно квантовой теории, электроны в атомах создают облака вероятности. Для атома водорода один электрон создает целое облако вероятности, которое, согласно теории вероятности, может создать только большой ансамбль из электронов. Из этого следует, что основы квантовой теории

неудовлетворительно согласуются с теорией вероятности. Поэтому целью настоящей работы является определение механизма корпускулярно-волнового движения электронов.

Согласно современной теории электродинамики, электрон, как частица, должен двигаться в свободном пространстве прямолинейно, без вращения вокруг оси [1–3]. Но тогда не ясно наличие у такого электрона момента импульса. Кроме этого, явление дифракции электронов свидетельствует о том, что траектория их движения не является прямолинейной. Все эти противоречия можно разрешить, приняв, что траекториями движения электронов являются винтовые спирали [5]. Такое движение электронов объясняет их корпускулярно-волновой дуализм, который заключается в том, что каждый электрон одновременно участвует в двух видах движения – по окружности с частотой ν , тангенциальной скоростью ω_1 , и прямолинейно по направлению импульса (p) – со скоростью ω_2 . Первый вид движения обеспечивает электронам волновые свойства, а второй вид движения – корпускулярные свойства. Экспериментальным подтверждением движения элементарных частиц по траекториям винтовых спиралей является регистрация этих частиц в пузырьковой камере [6].

Траекториями движения электронов по винтовым спиралям можно объяснить явление дифракции электронов, при котором электроны проявляют волновые свойства. При таком движении к электронам неприменимы уравнения специальной теории относительности, поскольку они являются неинерциальными частицами.

Проекциями траектории движения электрона по винтовой спирали на плоскость $Z - Y$ является окружность радиуса R , а на плоскость $Z - X$ – косинусоида (рис. 1).

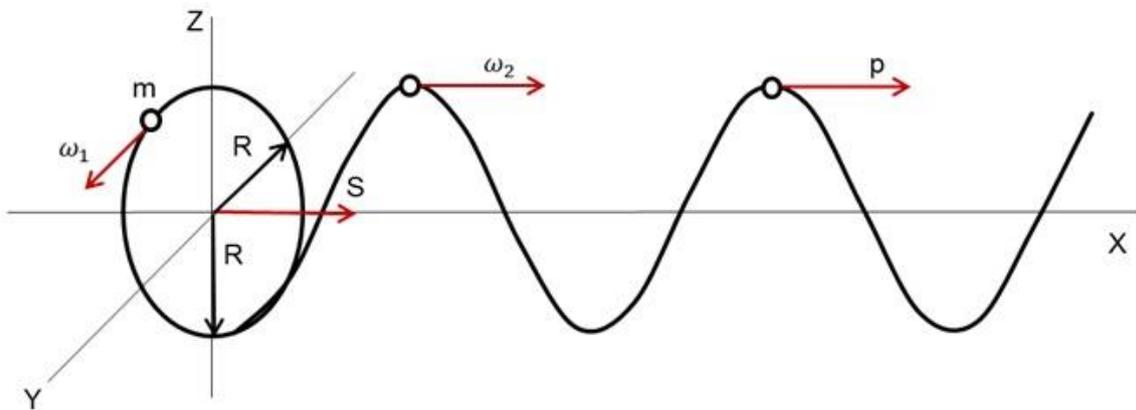


Рис. 1. Проекции траектории движения электрона по винтовой спирали

При этом проекция спина электрона (S) на прямолинейное направление его импульса (ось X) определяется следующим уравнением [1]:

$$S = \frac{h}{2\pi} \cdot s, \quad (3)$$

где s – спиновое квантовое число электрона, равное $\frac{1}{2}$ [1].

Поскольку $S = m\omega_1 R$, то справедливо следующее уравнение:

$$h = 4\pi R m \omega_1. \quad (4)$$

Частота электрона определяется следующим уравнением:

$$\nu = \frac{\omega_1}{2\pi R}. \quad (5)$$

Длина волны электрона определяется следующим уравнением:

$$\lambda = \frac{\omega_2}{\nu}. \quad (6)$$

Из уравнений (4) – (6) получаем следующее уравнение для расчета длины волны электрона:

$$\lambda = \frac{\omega_2 h}{2m\omega_1^2}. \quad (7)$$

Из уравнений (4) и (5) имеем следующее уравнение для расчета частоты электрона:

$$\nu = \frac{2m\omega_1^2}{h}. \quad (8)$$

Из уравнений (5) и (8) имеем следующее уравнение для расчета значения R :

$$R = \frac{h}{4\pi m\omega_1}. \quad (9)$$

Следует полагать, что электрон, двигаясь по винтовой спирали, имеет $\omega_2 = \omega_1$. Тогда уравнение (7) будет иметь следующий вид:

$$\lambda = \frac{h}{2m\omega_2}. \quad (10)$$

Учитывая, что суммарный импульс вращательного и поступательного движения электрона $p = 2m\omega_2$, получим, что уравнение (10) выражает уравнение (2) – уравнение де Бройля для движущегося электрона. Следует полагать, что уравнение Шредингера описывает волновое движение электрона, движущегося в атоме по траектории винтовой спирали шириной $2R$. При этом $\omega_1 = \omega_2$.

Известно, что средний радиус первой стационарной орбиты электрона в атоме водорода $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10}$ м, а скорость движения электрона по орбите (v_1) определяется следующим уравнением [3]:

$$v_1 = \frac{h}{2\pi m \cdot r_1}. \quad (11)$$

Подставляя значения h , m , r_1 в уравнение (11), получим $v_1 = 2,2 \cdot 10^6$ м·с⁻¹. Тогда имеем следующие значения скоростей электрона, движущегося по траектории винтовой спирали: $v_1 = \omega_2 = \omega_1 = 2,2 \cdot 10^6$ м·с⁻¹.

Подставляя значения ω_1 , h , m в уравнение (9), получим радиус винтовой спирали $R_1 = 0,26 \cdot 10^{-10}$ м. Подставляя значения h , m , ω_1 в уравнение (8), получим частоту электрона $\nu_1 = 14 \cdot 10^{15}$ Гц. Подставляя значения ω_2 и ν_1 в уравнение (6), получим длину волны электрона $\lambda_1 = 0,16 \cdot 10^{-9}$ м. Это означает, что электрон в атоме водорода движется по первой стационарной орбите со средним радиусом $0,53 \cdot 10^{-10}$ м по винтовой спирали шириной $0,52 \cdot 10^{-10}$ м с частотой $14 \cdot 10^{15}$ Гц и длиной волны $0,16 \cdot 10^{-9}$ м.

Известно, что средний радиус второй стационарной орбиты электрона в атоме водорода $r_2 = 2,12 \cdot 10^{-10}$ м, а скорость движения электрона по орбите (v_2) определяется следующим уравнением [3]:

$$v_2 = \frac{h}{\pi m \cdot r_2}. \quad (12)$$

Подставляя значения h , m , r_2 в уравнение (12), получим $v_2 = 1,1 \cdot 10^6$ м·с⁻¹. Тогда имеем следующие значения скоростей электрона, движущегося по траектории винтовой спирали второй стационарной орбиты: $v_2 = \omega_2 = \omega_1 = 1,1 \cdot 10^6$ м·с⁻¹. Подставляя эти значения ω_1 , h , m в уравнение (9), получим радиус винтовой спирали $R_2 = 0,52 \cdot 10^{-10}$ м. Подставляя значения h , m , ω_1 в уравнение (8), получим частоту электрона $\nu_2 = 3,6 \cdot 10^{15}$ Гц. Подставляя значения ω_2 и ν_2 в уравнение (6), получим длину волны электрона $\lambda_2 = 0,31 \cdot 10^{-9}$ м. Это означает, что электрон в атоме водорода движется по второй стационарной орбите со средним радиусом $2,12 \cdot 10^{-10}$ м по винтовой спирали шириной $1,04 \cdot 10^{-10}$ м с частотой $3,6 \cdot 10^{15}$ Гц и длиной волны $0,31 \cdot 10^{-9}$ м. При этом траектории движения электронов, движущихся по двум стационарным орбитам, не пересекаются, поскольку минимальное расстояние между ними составляет $0,81 \cdot 10^{-10}$ м. Движение электронов в атомах по траекториям винтовых спиралей позволяет объяснить первый постулат Бора, когда при движении по стационарным орбитам электроны не излучают фотонов. Это происходит потому, что электроны движутся в замкнутом магнитном поле, как в катушке соленоида, которая не излучает фотонов.

В атомах электроны движутся вокруг ядер по орбиталам, которые располагаются в атомных оболочках. Первая из них находится очень близко к ядру атома, поэтому в этой оболочке всего одна орбиталь, на которой могут находиться только два электрона с противоположными спинами. Согласно принципу Паули, по одной орбитали могут двигаться только такие электроны [1].

Понять принцип Паули можно, исходя из движения электронов вокруг ядра по траекториям винтовых спиралей. При этом каждый электрон, двигаясь по орбиталам, создает собственное (спиновое) магнитное поле (магнитную орбиталь) (рис. 2, а). Направление поля магнитной орбитали зависит от спина электрона. Если два электрона атома, двигаясь по одной орбитали, имеют одинаковые спины, то эти электроны будут отталкиваться друг от друга магнитными силами. Если спины двух электронов атома на

одной орбитали противоположны, то такие электроны будут притягиваться друг к другу магнитными силами и двигаться по одной орбитали (рис. 2, б). Магнитные орбитали электронов атомов А и Б с противоположными спинами будут притягиваться, обеспечивая химическую связь между атомами (рис. 2, в).

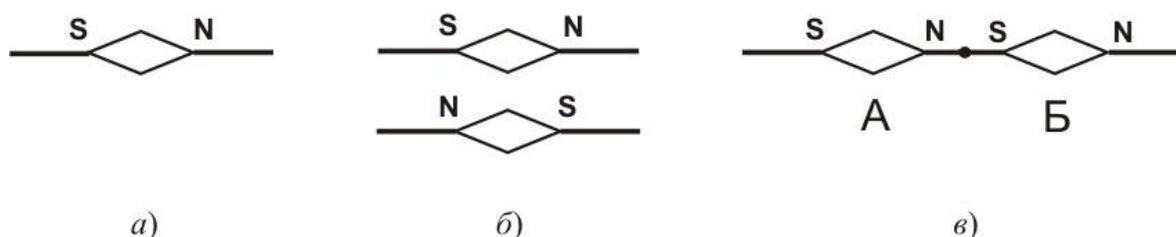


Рис. 2. Схемы магнитных орбиталей электронов: а) для одного электрона; б) для двух электронов атома с разными спинами; в) для электронов атомов А и Б с разными спинами

Исходя из принципа Паули, схема орбиталей электронов 2-й оболочки атомов представлена на рис. 3.

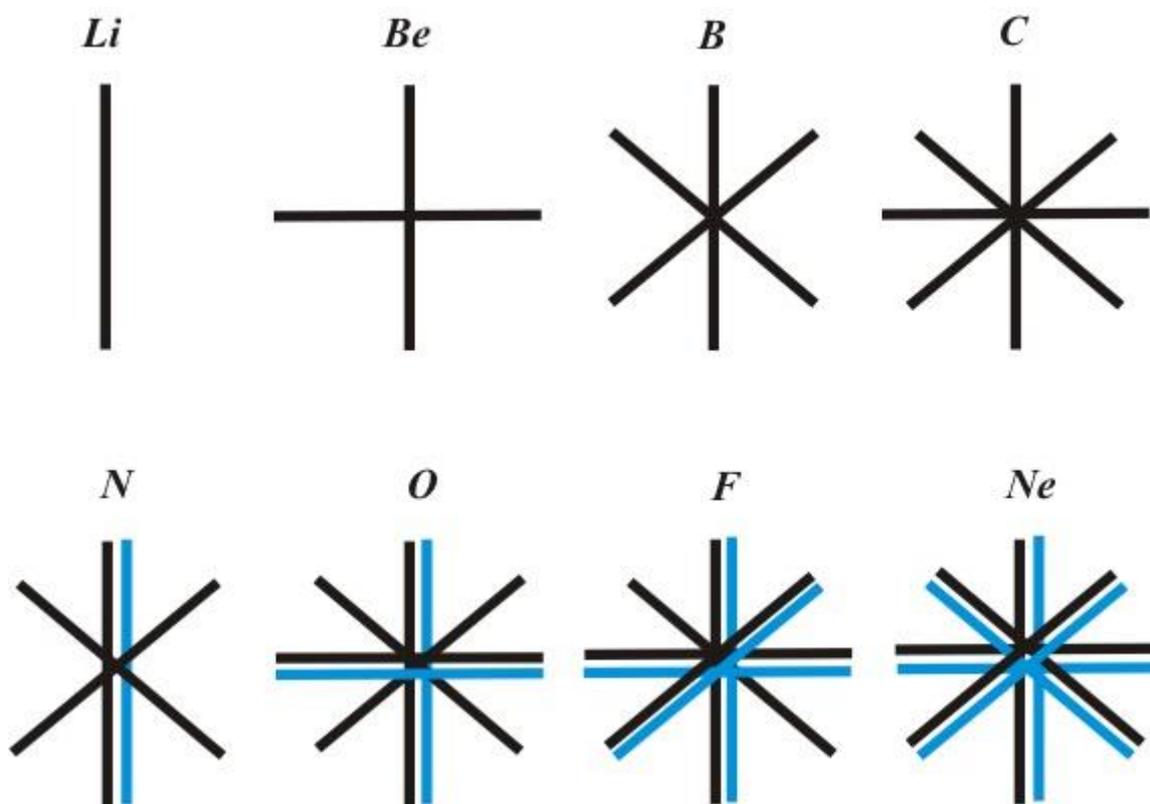


Рис. 3. Схемы орбиталей электронов 2-й оболочки атомов.

Атом *Li* имеет одну орбиталь с одним электроном. У атома *Be* две орбитали, на каждой из которых движется по одному электрону. Атом *B* имеет три орбитали, на каждой из которых также движется по одному электрону. У атома углерода четыре орбитали, каждая из которых имеет по одному электрону. Атомы *N*, *O*, *F* и *Ne* имеют по четыре орбитали, на каждой из которых могут двигаться как по одному, так и по два электрона (рис. 3).

Неспаренные электроны на орбиталях обеспечивают химическую связь между атомами (валентность). Близко расположенные на разных орбиталях электроны, имеющие противоположные спины, могут спариваться. При этом снижается валентность. Например, у атома углерода четыре неспаренных электрона, которые обеспечивают валентность четыре. Но если два электрона спарятся, то валентность снизится до двух.

Движение электронов вокруг ядер атомов по траекториям винтовых спиралей позволяет объяснить равенство ковалентных радиусов атомов *Na* и *Pb* (0,154 нм), *Au* и *Li* (0,134 нм) [6]. У *Na* в трех

электронных оболочках движутся 11 электронов, а у *Pb* в шести электронных оболочках – 82 электрона. У *Li* в двух электронных оболочках движутся 3 электрона, а у *Au* в шести электронных оболочках – 79 электронов. С увеличением числа магнитных орбиталей в атомных оболочках и возрастанием их числа увеличивается сила притяжения между оболочками. Это приводит к снижению расстояния между атомными оболочками и уменьшению ковалентного радиуса атома, несмотря на то, что в нем значительно повышается количество электронов, орбиталей, оболочек.

Таким образом, механизм корпускулярно-волнового движения электронов заключается в том, что они движутся по траекториям винтовых спиралей. При этом каждый электрон одновременно совершает периодические вращательные и поступательные движения. В результате электроны обладают как волновыми, так и корпускулярными свойствами. При этом к электронам неприменимы уравнения специальной теории относительности. Двигаясь по траекториям винтовых спиралей, электроны в атомах создают собственные магнитные поля (магнитные орбитали). Взаимодействиями этих орбиталей можно объяснить принцип Паули, относительно малые значения атомных радиусов элементов, первый постулат Бора.

Список литературы / References

1. Энциклопедия для школьников и студентов. Т. 2. Физика. Математика. *Под ред. Н.А. Поклонского.* Беларуская энцыклапедыя імя П. Броўкі. Минск, 2010. 528 с.
2. *Рыдник В.И.* Законы атомного мира. Атомиздат. Москва, 1975. 368 с.
3. *Аксенович Л.А., Зенькович В.И., Фарино К.С.* Физика в средней школе. Аверсэв. Минск, 2010. 1102 с.
4. *Борн М.* Атомная физика. Мир. Москва, 1970. 484 с.
5. *Стеценко В.Ю.* Корпускулярно-волновое движение частиц // Литье и металлургия. 2023. № 2. С. 137–140.
6. *Широков Ю.М., Юдин Н.П.* Ядерная физика. Наука. Москва, 1972. 672 с.
7. Свойства элементов. Ч. 1. Физические свойства. Справочник. *Под ред. Г.В. Самсонова.* Металлургия. Москва, 1976. 600 с.