DOI: 10.22363/2224-7580-2024-2-116-120
EDN: XZYXEE

ОБРАЗОВАНИЕ МАССИВНЫХ ЧАСТИЦ СФЕРИЧЕСКИМИ БЕЗМАССОВЫМИ ВОЛНАМИ В ШАРОВОМ РЕЗОНАТОРЕ

Н.В. Самсоненко*, М.В. Сёмин, Раиф Хайдар***, М.А. Алибин******

Института физических исследований и технологий
Российского университета дружбы народов
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Аннотация. Рассматривая частицу как сферический резонатор «электромагнитных» волн де Бройля, показано, что распространение сферических волн де Бройля по взаимно противоположным радиусам приводит к возникновению стоячих сферических волн, узлы и пучности которых можно ассоциировать с пространственным распределением характеристик частицы. Выбрав подходящую разность фаз сходящейся и расходящейся сферических волн, можно получить пространственные распределения без сингулярности в центре резонатора ($r = 0$).

Ключевые слова: волновое уравнение, волна де Бройля, структура элементарных частиц

Волной де Бройля в квантовом мире обладают все элементарные частицы. Это является главным достижением квантовой механики. Гипотезу де Бройля принимают как постулат, который подтверждают десятки экспериментов, поставленных научными группами по всему миру. Однако волной де Бройля обладают не только микрообъекты, но и макрообъекты [2]. Поэтому данный постулат не только прерогатива квантового мира, а Всеобъемлющее свойство всех объектов нашей Вселенной. Существует несколько точек зрения на природу волны де Бройля [2], но главным результатом является тот факт, что волна де Бройля **появляется** вследствие движения объектов. Нет движения – нет и волн де Бройля.

Де Бройль сопоставлял частицам стоячие волны. Именно поэтому он для описания частицы рассматривает **суперпозицию двух волн**, которые при сложении дают устойчивое образование – стоячую волну – частицу [1].

Данная суперпозиция является общим решением волнового уравнения. В **ортодоксальной** квантовой механике суперпозиции волн де Бройля для одной частицы быть не может, поскольку **одной частице** сопоставляется только

* E-mail: nsamson@bk.ru
** E-mail: mvsemin@yandex.ru
*** E-mail: raief.haidar@gmail.com
**** E-mail: maalibin2017@mail.ru

одна волна, являющаяся одним из решений волнового уравнения. Для суперпозиции требуется взаимодействие как минимум двух волн. При переходе в движущуюся систему отсчета частоты этих волн преобразуются. В результате для движущейся частицы получаем две волны с разными частотами. Одну из них можно назвать энергетической. Она движется медленнее скорости света. Другая волна является волной де Бройля. Это волна тахионного типа, и она движется со скоростью быстрее скорости света, распространяя информацию о частице практически мгновенно во всей Вселенной.

Интуитивно мы понимаем, что частица, как материальный объект, должна обладать пространственной протяженностью, поскольку все объекты материального мира имеют размер. Но сложно говорить о данном понятии в применении к бесструктурным элементам нашего мира – элементарным частицам, хотя в современной физике некоторые частицы рассматриваются как составные, состоящие из кварков. Однако на эксперименте кварки в свободном состоянии не наблюдаются. В стандартной модели это объясняется конфайнментом кварков, что не является плюсом данной теории. На эксперименте в конечном итоге мы наблюдаем набор одних и тех же истинно стабильных частиц: электронов, протонов, нейтрино и фотонов, на которые в конце концов распадаются все элементарные частицы. Возникает гипотеза, что все элементарные частицы являются возбужденными состояниями связанных стабильных частиц – e, p, ν, γ (модель Барута).

Следуя де Бройлю, будем считать, что наш мир построен из волн – колебаний, распространяющихся в пространстве и времени. Симметрию задачи будем выбирать наиболее естественную для частицы – сферическую.

Согласно постулату де Бройля, внутри каждой частицы локализован колебательный процесс, мгновенно распространяющийся во всем пространстве. Частота данного процесса зависит от массы покоя частицы:

$$\omega_0 = \frac{m_0 c^2}{\hbar}. \tag{1}$$

Цель работы показать, что с помощью модели стоячих волн, сопоставляемых частицам, можно получить пространственное распределение их характеристик внутри протяженной элементарной частицы.

Подобная задача ставилась Р. Фейнманом [3], где было рассмотрено движение произвольной волны внутри ограниченного пространства набором собственных частот.

Фейнман рассмотрел простейший пример волны в ограниченном пространстве [2], а именно перемещение горба на струне между двумя жестко закрепленными концами. Решение можно получить в виде синуса. Для этого необходимо взять волну, которая в точности укладывается на длине струны L. В противном случае мы не получим собственной частоты, с которой струна могла бы продолжать свои колебания. То есть если по струне пустить синусоидальную волну, которая кратно укладывается на ее длине, то она сохраняет свою идеальную синусообразную форму и будет гармонически колебаться с некоторой частотой. Здесь мы заменяем волну – синус, бесконечную в пространстве, на её часть, которая отражается от границ. Рассматривая форму волны в виде $\sin kx$, где $k = \frac{\omega}{c}$, учитывая равенство нулю синуса на границах, имеем

$$\sin kL = 0. \quad (2)$$

Отсюда получим

$$kL = n\pi. \quad (3)$$

Следовательно,

$$\omega_n = \frac{n\pi c}{L}. \quad (4)$$

То есть синусоидальные колебания происходят только с некоторыми определенными частотами, что является самой важной характеристикой волн, распространяющихся в ограниченных областях. В простейшем одномерном случае может возникать множество частот, каждой из которых будет соответствовать собственное колебание – синусоидальная волна. В одном резонаторе может возбуждаться бесконечное множество собственных колебаний. При сложении данных колебаний – синусоидальных волн, движущихся навстречу друг другу внутри резонатора, при их одновременном действии, можем получить любое движение гребня внутри ограниченной области. На рис. 1 показан пример сложения двух синусоидальных одномерных волн, движущихся навстречу друг другу (левая часть рисунка). При сложении возникает сложное движение горба, который отражается от границ струны (правая часть рисунка).

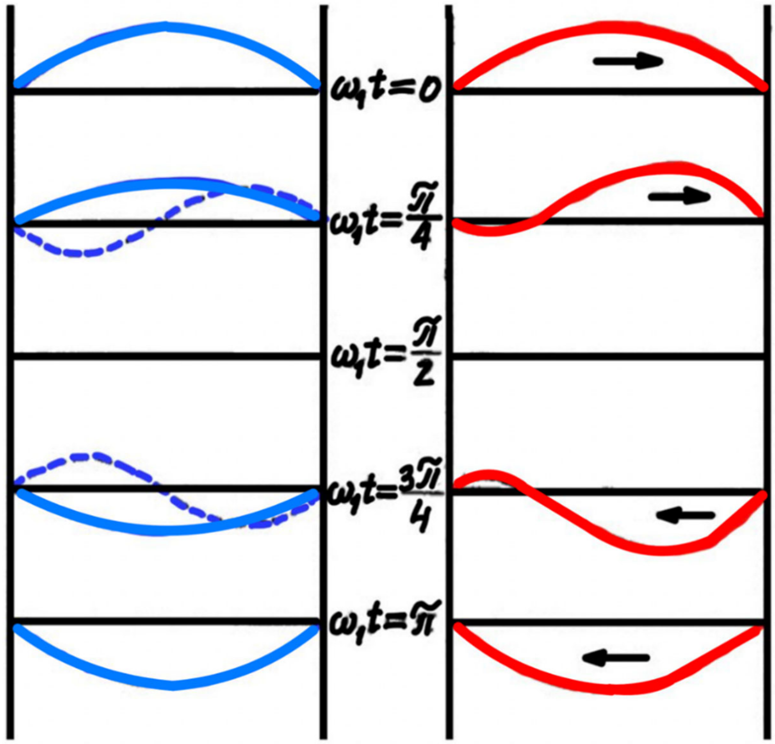

Рис. 1

Рассмотрим распространение волн внутри сферического резонатора. Будем считать, что процесс распространяется по радиусам от периферии к центру, проходит через этот центр и далее по противоположным радиусам продолжает распространяться от центра к периферии. Один и тот же непрерывный вдоль диаметра процесс выступает сначала в роли сходящейся волны, а потом, после прохождения центра, в роли расходящейся волны. Таким образом, по каждому диаметру идут одновременно два встречных процесса, тем самым формируя трехмерную стоячую сферическую волну [4].

Стоячая сферическая волна имеет особую точку – центр сферы ($R = 0$), которую будем сопоставлять с началом системы отсчета, а также с центром частицы. Центрально симметричные модели имеют большой недостаток. Как правило, при R, стремящемся к нулю, амплитуда сферической волны стремится к бесконечности. Данный недостаток можно устранить путем подбора фаз сходящейся и расходящейся волны, так чтобы в центре частицы ($R = 0$) получался максимум амплитуды колебаний стоячей волны. Обозначим f_1 – сходящуюся **безмассовую** волну, f_2 – расходящуюся **безмассовую** волну. Тогда [4]

$$f_1 = \frac{a}{R}\cos(\omega_0 t - k_0 R), \tag{5}$$

$$f_2 = \frac{a}{R}\cos(\omega_0 t + k_0 R \pm \pi) = -\cos(\omega_0 t + k_0 R), \tag{6}$$

$$f_1 + f_2 = \frac{2a}{R}\sin(k_0 R)\sin(\omega_0 t) = 2ak_0\frac{\sin(k_0 R)}{k_0 R}\sin(\omega_0 t). \tag{7}$$

При $R = 0$ дробь в правой части (7) равна 1, амплитуда не бесконечна и принимает значение $2ak_0$. При всех остальных значениях R амплитуда меньше единицы и с ростом R стремится к нулю. Амплитуда сферической стоячей волны будет иметь величину

$$A = 2ak_0\left|\frac{\sin(k_0 R)}{k_0 R}\right|. \tag{8}$$

Полагая для диаметра образовавшейся массивной частицы в формуле (4) $\boldsymbol{D = L = \frac{\lambda}{2}}$, при $\boldsymbol{n = 1}$, характерный радиус частицы $\boldsymbol{R_0}$ составит

$$\boldsymbol{R_0 = \frac{L}{2} = \frac{1}{4}\lambda_C}, \tag{9}$$

где Комптоновская длина волны $\boldsymbol{\lambda_C = \frac{h}{m_0 c}}$, m_0 – *масса покоя образовавшейся частицы.*

Характерный размер пространственной локализации частицы (размер частицы) связан с комптоновской длиной волны. Таким образом, в квантовой теории частицу с размерами комптоновской длины волны нельзя считать точечным объектом.

Энергия волны будет зависеть от амплитуды, однако амплитуда связана с частотой через соотношение $\omega_0 = ck_0$. Такое удачное соотношение между амплитудой волны и частотой показывает глубокую связь между корпускулярно-волновыми характеристиками частицы, указывая на их единое происхождение.

Литература

1. *Broglie Louis de.* Sur la frequence propre de l'electron // Compt. Rend. 1925. Vol. 180. P. 498.
2. *Самсоненко Н. В., Семин М. В.* Волна де Бройля как амплитудно-модулированный сигнал. Основания фундаментальной физики и математики: материалы IV Российской конференции (ОФФМ-2020) / под ред. Ю.С. Владимирова, В.А. Панчелюги. М.: РУДН, 2020. С. 143–147.
3. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике: Кинетика. Теплота. Звук. М.: Мир, 1965.
4. *Goryunov A. V.* Walking Wave as a Model of Particle. 2010. https://doi.org/10.48550/arXiv.1006.0016

FORMATION OF MASSIVE PARTICLES BY SPHERICAL MASSLESS WAVES IN A SPHERICAL RESONATOR

N.V. Samsonenko[*], M.V. Semin[**], Raif Haidar[***], M.A. Alibin[****]

Institute of Physical Research and Technology,
RUDN University
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

Abstract. Considering the particle as a spherical resonator of "electromagnetic" de Broglie waves, it was shown that the propagation of spherical de Broglie waves along mutually opposite radii leads to the emergence of standing spherical waves, the nodes and antinodes of which can be associated with the spatial distribution of the particle's characteristics. Thus, in the work it is examinated a steady-state oscillatory process inside a hollow resonator. Using a suitable phase difference between the converging and diverging spherical waves, it is possible to obtain the spatial distribution of characteristics inside the de Broglie wave resonator particle without a singularity at the center ($r = 0$).

Keywords: wave equation, de Broglie wave, structure of elementary particles

[*] E-mail: nsamson@bk.ru
[**] E-mail: mvsemin@yandex.ru
[***] E-mail: raief.haidar@gmail.com
[****] E-mail: maalibin2017@mail.ru