

**Волновые свойства нейтрона. Взаимодействие нейтронов.  
Результаты исследования.**

**Автор Андрей Чернов**

E mail: [and8591@gmail.com](mailto:and8591@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-6461-5261>

**Содержание**

1. Аннотация – 2 стр.
2. Методы – 3-7 стр.
3. Результаты – 8 стр.

## 1. Аннотация.

В основу этого исследования было положено утверждение о существовании внутренней волны в нейтроне. Для проверки этого было использовано решение волнового уравнения Шрёдингера для энергии частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме. В результате была получена формула длины внутренней волны в нейтроне. С помощью этой формулы была определена длина волны в нейтроне  $4,66545839 \cdot 10^{-16}$  м и определён размер нейтрона  $9,33091678 \cdot 10^{-16}$  м. Полученный размер нейтрона оказался равен экспериментальному размеру нейтрона  $\approx 10^{-15}$  м.

С помощью формулы длины волны нейтрона и решения волнового уравнения Шрёдингера для атома водорода была получена формула энергии связи двух нейтронов. Через эту формулу была определена величина энергии связи двух нейтронов, которая составила:  $-4,82451403 \cdot 10^{-15}$  эВ  $\leq E_{\text{bind}} \leq -5,36906566 \cdot 10^{-15}$  эВ. Также с помощью вышестоящих формул была получена формула массы нейтрона, выраженная через три независимые физические константы. Вычисленная по этой формуле масса нейтрона (в зависимости от дефекта массы в ядрах атомов и в нейтронных звёздах) может находиться в следующем интервале:  $1,630740013 \cdot 10^{-27}$  кг  $\leq m_N \leq 1,674927498 \cdot 10^{-27}$  кг. Таким образом, полученный в исследовании результат согласуется с экспериментальной массой нейтрона.

Были получены другие результаты, имеющие научное значение.

**Ключевые слова.** Уравнение Шрёдингера, нейтрон, длина волны в нейтроне, энергия связи нейтронов, взаимодействие нейтронов.

## 2. Методы.

В этой работе приводится доказательство существования внутренней волны в нейтроне. Для целей дальнейшего исследования сразу отметим, что нейтрон содержит в себе два элементарных заряда (как известно, свободный нейтрон распадается на положительно заряженный протон  $p^+$  и отрицательно

заряженный электрон  $e^-$ ). Волна в нейтроне распространяется **от центра нейтрона по направлению к площади всей поверхности нейтрона** и отражается обратно в центр нейтрона. **В результате в этом объёмном волновом процессе участвует вся масса нейтрона  $m_N$** . При этом длина внутренней волны  $\lambda_N$  равна радиусу нейтрона. Волна распространяется со скоростью света, поэтому частота волны очень высокая:  $\nu_N = \frac{c}{\lambda_N}$ .

Учитывая **волновой характер** процесса в нейтроне, в котором задействована **вся масса частицы**, в исследовании было использовано решение **волнового** уравнения Шрёдингера для энергии частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме. Приведём это уравнение:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m a^2} n^2 \quad \text{где } n=1,2,3\dots \quad (2-1)$$

где  $m$  – масса частицы,  $a$  – ширина потенциальной ямы,

$\hbar$  – приведенная постоянная Планка,  $n$  – квантовое число.

Вышеприведенная волновая формула 2-1 была применена для выражения взаимосвязи между энергией  $E_N$  массы нейтрона и длиной  $\lambda_N$  внутренней волны и массой  $m_N$  нейтрона. В результате формула 2-1 получила следующий вид:

$$E_N = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_N \lambda_N^2} \quad (2-2)$$

где  $E_N$  – энергия массы нейтрона.

$m_N$  – масса нейтрона,  $\lambda_N$  – длина волны в нейтроне.

Преобразуем эту формулу с учётом, что  $E_N = m_N c^2$ :

$$m_N c^2 = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_N \lambda_N^2} \quad (2-3)$$

В результате получим формулу длины волны в нейтроне:

$$\lambda_N = \frac{\pi \hbar}{\sqrt{2} m_N c} \quad (2-4)$$

С помощью этой формулы определим длину волны в нейтроне, используя массу свободного нейтрона  $m_N = 1,674927498 \cdot 10^{-27}$  кг,  $\hbar = 1,054571817 \cdot 10^{-34}$  Дж · с,  $c = 2,99792458 \cdot 10^8$  м/с,  $\pi = 3,141592654$ .

В результате получим:  $\lambda_N = 4,66545839 \cdot 10^{-16}$  м

Частота волны в нейтроне составляет:  $\gamma_N = \frac{c}{\lambda_N} = 6,42578784 \cdot 10^{23}$  с<sup>-1</sup> (2-5)

Как уже было написано выше, волна в нейтроне распространяется с очень высокой частотой от центра нейтрона по направлению к площади всей поверхности нейтрона. При этом длина волны  $\lambda_N$  в нейтроне равна радиусу нейтрона или половине диаметра (размера) нейтрона. Отсюда следует, что размер нейтрона должен составлять  $9,33091678 \cdot 10^{-16}$  м.

Таким образом, присутствует полное совпадение полученного по формуле 2-4 результата с экспериментальным результатом нейтрона, который равен  $\approx 10^{-15}$  м. Отсюда можно заключить, что волновая формула 2-4 получила подтверждение, и тем самым был подтверждён волновой процесс в нейтроне.

**Внутренние волны в нейтронах участвуют во взаимодействии нейтронов.** Это происходит в условиях контактного сближения между нейтронами, в результате которого между нейтронами происходит обмен  $\lambda_N$  волнами. **Обмен волнами приводит к взаимодействию между нейтронами.** Энергия такого **контактного взаимодействия** чрезвычайно мала и определяется следующей формулой:

$$E_{\text{bind}} = -\frac{G m_N^2}{\lambda_N \cdot \lambda_N} = -\frac{G m_N^2}{\lambda_N^2} \quad (2-6)$$

Подставим в эту формулу значения  $m_N$  и  $\lambda_N$ . В результате получим величину энергии связи между нейтронами:

$$E_{\text{bind}} = 8,602191543 \cdot 10^{-34} \text{ Дж или } E_{\text{bind}} = 5,369065658 \cdot 10^{-15} \text{ ЭВ}$$

Отметим, что экспериментальным путём определить величину энергии связи между двумя свободными нейтронами невозможно. Это связано не только с тем, что эта энергия чрезвычайно мала, хотя это тоже существенный факт. Невозможность определить энергию связи связана прежде всего с тем,

**что это взаимодействие является контактным.** Поэтому даже самый малый внешний импульс (например, попавший в нейтрон фотон) моментально разъединит нейтроны, и это очень слабое контактное взаимодействие прекратится. В результате в образовавшемся между нейтронами пространстве **начнёт действовать обычное гравитационное взаимодействие.** Приведём для сравнения формулу гравитационной энергии двух взаимодействующих масс нейтронов:

$$E = -\frac{G m_N^2}{r}, \text{ где } r \text{ – расстояние между нейтронами.}$$

Дальше подставим в формулу 2-6 значение  $\lambda_N$  из ф. 2-4 и получим:

$$E_{\text{bind}} = -\frac{2G m_N^4 c^2}{\pi^2 \hbar^2} \quad (2-7)$$

Теперь приведём решение волнового уравнения Шрёдингера для атома водорода:

$$E_n = -\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2} \text{ где } n=1,2,3,\dots \quad (2-8)$$

где  $E_n$  – энергия стационарных состояний атома водорода.

$m_e$  – масса электрона,  $m_e = 9,109383702 \cdot 10^{-31}$  кг

$e$  – элементарный заряд,  $1,602176634 \cdot 10^{-19}$  Кл

$\hbar$  – приведённая постоянная Планка,  $\hbar = 1,054571817 \cdot 10^{-34}$  Дж · с

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  – коэффициент пропорциональности,  $8,988 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$

При  $n=1$  значение энергии  $E_n$  в этой формуле **равно энергии связи** между протоном и электроном в атоме водорода. (В физике это называют энергией ионизации атома водорода). Поэтому формула энергии связи между протоном и нейтроном будет выглядеть следующим образом:

$$E = -\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \quad (2-9)$$

В этом исследовании проводится аналогия между формулой энергией связи протона и электрона в атоме водорода и формулой энергии связи двух нейтронов. Чтобы согласно этой аналогии, применить формулу 2-9 к энергии

связи двух нейтронов, в формуле 2-9 необходимо изменить начальные условия.

Первым условием, которое надо изменить, является изменение величины заряда. Нейтрон содержит два элементарных противоположных заряда ( как известно, свободный нейтрон распадается на положительно заряженный протон  $p^+$  и отрицательно заряженный электрон  $e^-$ ). При дальнейшем взаимодействии заряд нейтрона нейтрален, но **в условиях контактного взаимодействия заряды нейтронов перестают быть нейтральными**. В этих условиях заряд каждого нейтрона равен сумме двух элементарных зарядов:  $e_N = 2e = 3,204353268 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Контактное взаимодействие между нейтронами является слабым взаимодействием гравитационного происхождения. Поэтому коэффициент в новой формуле будет иметь другой физический смысл и другую величину.

В результате изменения начальных условий формула 2-9 примет следующий вид:

$$E_{\text{bind}} = -k^2 \frac{m_N e_N^4}{2\hbar^2} \quad (2-10)$$

где  $e_N$  – заряд нейтрона,  $3,204353268 \cdot 10^{-19}$  Кл

$k$  – коэффициент энергии связи двух нейтронов,  $k \geq 1$ . Величина этого коэффициента зависит от массы нейтрона.

Теперь определим величину  $k$ . Исходя из одинакового значения энергии  $E_{\text{bind}}$  в формулах 2-7 и 2-10, получим следующее уравнение:

$$-k^2 \frac{m_N e_N^4}{2\hbar^2} = -\frac{2G m_N^4 c^2}{\pi^2 \hbar^2}$$

$$\text{Решим это уравнение и получим: } k = \sqrt{\frac{4G c^2 m_N^3}{\pi^2 e_N^4}} \quad (2-11)$$

Подставим в эту формулу значение массы свободного нейтрона  $m_N = 1,674927498 \cdot 10^{-27}$  кг,  $\pi = 3,141592654$ ,  $e_N = 3,204353268 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^4}{\text{с}^2 \text{ кг}}$ ,  $c = 2,99792458 \cdot 10^8$  м/с.

$$\text{В результате получим: } k = 1,040918981 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Как видим, коэффициент энергии связи двух свободных нейтронов очень близок к единице. Для энергии связи нейтронов в ядрах атомов химических элементов этот коэффициент будет ещё ближе к единице. Например, в атомном ядре изотопа углерода  ${}_{12}^6\text{C}$ , где в результате дефекта массы у нейтронов масса практически равна 1 а.е.м. ( $1,660539067 \cdot 10^{-27}$  кг),

$$k = 1,018273332 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Отсюда можно предположить, что **в нейтронной звезде, где в результате сильного гравитационного сжатия дефект массы будет значительно больше чем в ядрах атомов, коэффициент энергии связи составит  $k = 1 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$** . Теперь преобразуем формулу 2-11 и определим массу нейтрона в нейтронной звезде:

$$m_N = \sqrt[3]{\frac{k^2 \pi^2 e_N^4}{4G c^2}} = 1,630740013 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \quad (2-12)$$

Это на 2,6% меньше массы свободного нейтрона и на 1,8% меньше, чем масса нейтрона в атомном ядре. Отметим, что формула 2-12 была получена в результате применения волновой формулы 2-4 и решения волнового уравнения Шредингера для атома водорода 2-8. Поэтому определение массы нейтрона через формулу 2-12 **является вторым математическим подтверждением** существования волны в нейтроне. Отметим, что формула 2-12 базируется на трёх фундаментальных физических константах: гравитационной постоянной, скорости света и элементарном заряде ( $e_N = 2 e$ ).

### 3. Результаты.

Главным результатом этого исследования является присутствие волнового процесса в нейтроне. Этот результат получил двойное подтверждение через физико-математические расчёты (см. 2 раздел).

Также к результатам исследования следует отнести получение следующих формул: формула длины волны в нейтроне (ф. 2-4), формула

энергии взаимодействия двух нейтронов (ф. 2-6, ф. 2-7, ф. 2-10), формула массы нейтрона (2-12).

Согласно формуле 2-12, в зависимости от дефекта массы (в ядрах атомов химических элементов и в нейтронных звёздах) масса нейтронов может находиться в следующих пределах:

$$1,630740013 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \leq m_N \leq 1,674927498 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

В зависимости от массы нейтрона длина волны в нейтроне (ф. 2-4) составляет:  $4,66545839 \cdot 10^{-16} \text{ м} \leq \lambda_N \leq 4,79187638 \cdot 10^{-16} \text{ м}$

В зависимости от массы нейтрона частота волны в нейтроне (ф. 2-5) составляет:  $6,25626444 \cdot 10^{23} \text{ с}^{-1} \leq \gamma_N \leq 6,42578784 \cdot 10^{23} \text{ с}^{-1}$

В зависимости от массы нейтрона энергия связи двух нейтронов (ф. 2-б) составляет:  $-5,36906566 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \leq E_{\text{bind}} \leq -4,82451403 \cdot 10^{-15} \text{ эВ}$

Анализ формулы 2-12 позволяет предположить, что при достижении значения  $m_N = 1,630740013 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$  дальнейший дефект массы нейтронов невозможен по причине того, что соотношение заряда нейтрона  $e_N = 3,204353268 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$  к его массе  $m_N$  достигло максимального предела:  $\frac{e_N}{m_N} = 1,964968813 \cdot 10^8 \text{ Кл/кг}$ .

Также в исследовании были получены другие результаты, имеющие научное значение.