

**Определение массы и размера нейтрона с помощью
волнового уравнения Шрёдингера. Взаимодействие нейтронов
в нейтронной звезде.**

Автор Андрей Чернов

E mail: and8591@gmail.com

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

Содержание

1. Аннотация – 2 стр.
2. Методы – 3- 6 стр.
3. Результаты – 6-7 стр.

1. Аннотация.

В основу этого исследования было положено утверждение о существовании волны у нейтрона, когда он находится в состоянии покоя. В условиях очень плотного сближения нейтронов в нейтронных звёздах происходит обмен волнами между нейтронами. Это приводит к очень слабому взаимодействию между нейтронами. Для проверки этого утверждения в исследовании были применены два известных решения уравнения Шрёдингера: решение волнового уравнения Шрёдингера для атома водорода и решение уравнения Шрёдингера для энергии частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме.

В результате произведённых физико-математических расчётов была определена масса нейтрона в нейтронной звезде $1,630740013 \cdot 10^{-27}$ кг и определен размер нейтрона $9,58375276 \cdot 10^{-16}$ м. Оба значения с высокой точностью совпали с экспериментальными данными относительно нейтрона. Небольшое отличие по массе со свободным нейтроном 2,6% можно объяснить дефектом массы нейтронов в результате гравитационного сжатия в нейтронной звезде. (В ядрах атомов химических элементов масса нейтронов также меньше массы свободного нейтрона в среднем на 0,8%). Масса нейтрона была получена через формулу, базирующуюся на трёх фундаментальных константах без применения дополнительных коэффициентов

В этом исследовании была определена величина энергии слабого взаимодействия между двумя нейтронами в нейтронных звездах: $E_{\text{bind}} = -4,82451403 \cdot 10^{-15}$ ЭВ

Были получены другие результаты, имеющие научное значение.

Ключевые слова. Уравнение Шрёдингера, масса нейтрона, размер нейтрона, энергия связи нейтронов, взаимодействие нейтронов.

2. Методы.

Нейтрон, в отличие от протона и электрона, содержит в себе два противоположных элементарных заряда (как известно, свободный нейтрон распадается на положительно заряженный протон p^+ и отрицательно заряженный электрон e^-). Эта особенность нейтрона позволяет предположить, что в нейтроне в состоянии покоя может существовать внутренняя волна, вызванная наличием двух зарядов. Эта волна с очень высокой частотой распространяется от центра нейтрона ко всей площади его поверхности и отражается обратно в центр нейтрона. В результате в волновом процессе участвует вся масса нейтрона m_N . Длина λ_N волны равна радиусу нейтрона r_N , то есть $\lambda_N = r_N$ (2-1)

В результате очень плотного сближения между нейтронами происходит обмен волнами. Такое сближение нейтронов происходит в условиях сильного гравитационного сжатия в нейтронных звёздах. Этот обмен приводит к слабому взаимодействию между нейтронами. Энергия связи двух нейтронов чрезвычайно мала и определяется следующей формулой:

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

Дальше приведём известное решение волнового уравнения

Шрёдингера для атома водорода <http://surl.li/oryio>

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

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, $8,988 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$

n – квантовое число.

Как известно, при $n=1$ значение энергии E_n в этой формуле **равно энергии связи** между протоном и электроном в атоме водорода. (В атомной физике это называют энергией ионизации атома водорода).

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

Применим эту формулу к энергии связи между двумя нейтронами в нейтронной звезде:

$$E_{\text{bind}} = -k^2 \frac{m_N e_N^4}{2\hbar^2} \quad (2-5)$$

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

k – коэффициент энергии связи двух нейтронов, $k = 1 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

1. Нейтрон содержит два элементарных противоположных заряда (как известно, свободный нейтрон распадается на положительно заряженный протон p^+ и отрицательно заряженный электрон e^-). При дальнейшем взаимодействии между нейтронами заряд нейтрона нейтрален, но **в условиях плотного сближения нейтронов 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.

2. Взаимодействие между нейтронами в нейтронной звезде является слабым взаимодействием. Поэтому коэффициент в этой формуле будет иметь минимальную величину $k = 1 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Исходя из одного значения энергии в формулах 2-2 и 2-5 получим:

$$-\frac{G m_N^2}{\lambda_N^2} = -k^2 \frac{m_N e_N^4}{2\hbar^2} \quad (2-6)$$

$$\text{В результате получим: } \lambda_N = \sqrt{\frac{2Gm_N\hbar^2}{k^2 e_N^4}} \quad (2-7)$$

Учитывая **волновой** характер процесса в исследовании было использовано известное решение волнового уравнения Шрёдингера для энергии частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме. Приведём это уравнение <http://surl.li/orygz>

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m a^2} n^2 \quad \text{где } n=1,2,3\dots \quad (2-8)$$

где m – масса частицы.

a – ширина потенциальной ямы.

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

n – квантовое число.

Применим эту формулу к нейтрону в нейтронной звезде:

$$E_N = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_N r_N^2} \quad (2-9)$$

где E_N – энергия массы покоя нейтрона, $E_N = m_N c^2$, Дж.

r_N – радиус нейтрона, м.

1. В условиях сильного гравитационного сжатия энергия в нейтронной звезде E_N может иметь только одно квантовое состояние $n=1$. Этому квантовому состоянию соответствует значение $E_N = m_N c^2$.

2. В условиях сильного гравитационного сжатия в нейтронной звезде ширина потенциальной ямы равна радиусу нейтрона $a = r_N$. Это объясняется тем, что волна в нейтроне распространяется от центра нейтрона к площади его поверхности.

Исходя из формулы $\lambda_N = \sqrt{\frac{2Gm_N \hbar^2}{k^2 e_N^4}}$ (2-7) и $\lambda_N = r_N$ (2-1), получим:

$$m_N c^2 = \frac{k^2 \pi^2 e_N^4}{4G m_N^2} \quad (2-10) \quad \text{или} \quad m_N = \sqrt[3]{\frac{k^2 \pi^2 e_N^4}{4G c^2}} \quad (2-11)$$

Подставим в эту формулу $\pi = 3,141592654$, $e_N = 3,204353268 \cdot 10^{-19}$ Кл,
 $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^4}{\text{с}^2 \text{кг}}$, $c = 2,99792458 \cdot 10^8$ м/с, $k = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ и получим:

$$m_N = 1,630740013 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \quad (2-12)$$

Это на 2,6% меньше массы свободного нейтрона ($1,674927498 \cdot 10^{-27}$ кг) и на 1,8% меньше, чем масса нейтрона в атомном ядре изотопа углерода ^{12}C , где масса нейтронов практически равна 1 а.е.м. ($1,660539067 \cdot 10^{-27}$ кг). Эта небольшая разница объясняется дефектом массы нейтронов в нейтронных звёздах в результате гравитационного сжатия. Необходимо подчеркнуть, что масса нейтрона была получена по формуле, которая

базируется на трёх фундаментальных константах: гравитационной постоянной, скорости света и элементарном заряде ($e_N = 2e$).

Через полученную массу нейтрона m_N определим радиус нейтрона r_N . Для этого опять используем формулу (2-9). В результате получим

$$\text{уравнение: } m_N c^2 = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m_N r_N^2} \quad (\hbar = 1,054571817 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с})$$

$$\text{Отсюда следует, что } r_N = \frac{\pi \hbar}{\sqrt{2} m_N c} = 4,79187638 \cdot 10^{-16} \text{ м} \quad (2-13)$$

$$\text{Таким образом, диаметр нейтрона равен } d_N = 9,58375276 \cdot 10^{-16} \text{ м}$$

Полученное значение полностью соответствует экспериментальному размеру нейтрона $\approx 10^{-15}$ м <http://surl.li/spekj>

Тот факт, что $9,58375276 \cdot 10^{-16}$ м чуть меньше 10^{-15} м объясняется уменьшением размера нейтрона в результате гравитационного сжатия.

Таким образом, в этом исследовании было получено совпадение результатов физико-математических расчётов с экспериментальными данными по двум параметрам нейтрона: по массе нейтрона и по его размеру.

Теперь через формулу $E_{\text{bind}} = -k^2 \frac{m_N e_N^4}{2\hbar^2}$ (2-5) получим значение энергии связи двух нейтронов в нейтронной звезде:

$$E_{\text{bind}} = -7,72972366 \cdot 10^{-34} \text{ Дж или } E_{\text{bind}} = -4,82451403 \cdot 10^{-15} \text{ ЭВ}$$

3. Результаты.

В этом исследовании через применение гипотезы о существовании волны у нейтрона, находящегося в состоянии покоя, и применения к этой гипотезе двух решений волнового уравнения Шрёдингера 2-3 и 2-9, были получены следующие результаты:

1. Определена масса нейтрона в нейтронных звёздах, которая составила $m_N = 1,630740013 \cdot 10^{-27}$ кг (2-12). Это на 2,6% меньше массы свободного нейтрона ($1,674927498 \cdot 10^{-27}$ кг) и на 1,8% меньше, чем масса нейтрона в атомном ядре изотопа углерода ${}_{12}^6\text{C}$, где масса нейтронов практически равна 1 а.е.м. ($1,660539067 \cdot 10^{-27}$ кг). Эта небольшая разница объясняется

дефектом массы нейтронов в результате гравитационного сжатия.

Необходимо подчеркнуть, что масса нейтрона была получена по формуле 2-11, которая базируется на трёх фундаментальных константах:

гравитационной постоянной, скорости света и элементарном заряде ($e_N = 2e$) без применения дополнительных коэффициентов (напомним, что $k = 1 \frac{H \cdot M^2}{KJ^2}$).

2. Был определён размер нейтрона в нейтронных звёздах, который составил $d_N = 9,58375276 \cdot 10^{-16}$ м. Эта величина с высокой точностью совпадает с экспериментальным размером нейтрона $\approx 10^{-15}$ м

<http://surl.li/spekj> Тот факт, что $9,58375276 \cdot 10^{-16}$ м чуть меньше 10^{-15} м объясняется уменьшением размера нейтрона в результате гравитационного сжатия. Надо также отметить, что размер нейтрона был определён через полученную в исследовании формулу 2-13. Эта формула базируется на массе нейтрона m_N , приведённой постоянной Планка и скорости света в вакууме. В связи с тем, что значение m_N определяется через фундаментальные константы формулу размера нейтрона тоже можно выразить через

фундаментальные константы: $r_N = \frac{\hbar}{\sqrt{2}} \sqrt[3]{\frac{G \pi}{k^2 c e_N^4}}$. Это тоже существенный момент исследования.

Учитывая большие порядки цифр, двойное совпадение результатов физико-математических расчётов с известными экспериментальными данными нейтрона исключает вероятность случайного совпадения. Это подтверждает правомерность применения формулы 2-1 и решений уравнения Шрёдингера.

3. Ещё одним значительным результатом этого исследования является определение энергии слабого взаимодействия между двумя нейтронами в нейтронной звезде, которое составило $E_{bind} = -4,82451403 \cdot 10^{-15}$ ЭВ.

В исследовании были получены другие результаты, имеющие научное значение.