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.

В основу этого исследования было положено утверждение о существовании волны в нейтроне. В условиях очень плотного сближения между соседними нейтронами происходит обмен волнами, что приводит к слабому взаимодействию между нейтронами. Такое плотное сближение нейтронов характерно, в первую очередь, для нейтронных звёзд. Это обстоятельство позволило применить в этом исследовании волновое уравнение Шрёдингера к взаимодействию нейтронов в нейтронной звезде.

В ходе исследования были получены формулы массы и размера нейтрона в нейтронной звезде. Необходимо подчеркнуть, что обе формулы базируются на фундаментальных физических константах без ведения поправочных коэффициентов. Рассчитанные по этим формулам параметры нейтрона совпали с известными экспериментальными данными нейтрона.

В этом исследовании в этом исследовании была определена величина энергии слабого взаимодействия между двумя нейтронами в нейтронных звездах.

С полученными выше результатами и их анализом можно ознакомиться в 3 разделе исследования. Также в исследовании 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 в нейтроне равна радиусу нейтрона r_N, то есть $\boldsymbol{\lambda_N = r_N}$ (2-1)

В результате плотного сближения, между нейтронами происходит обмен волнами, который приводит к слабому взаимодействию между нейтронами. В этом исследовании эти процессы мы рассмотрим на примере нейтронной звезды, потому что в отличие от атомных ядер, где есть протоны, в нейтронной звезде присутствуют только нейтроны. Энергия связи двух соседних нейтронов чрезвычайно мала и определяется следующей формулой:

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

где λ_N – длина волны, м.

m_N – масса нейтрона в нейтронной звезде, кг.

G – гравитационная постоянная, $G = 6,6743 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{м}^4}{\text{с}^2\ \text{кг}}$

Как видим, формула очень похожа на формулу гравитационной энергии двух масс: $E = -\frac{G\,m_1\,m_2}{r}$. Различие состоит только в замене в гравитационной постоянной м^3 на м^4.

Дальше приведём известное решение волнового уравнения Шрёдингера для атома водорода http://surl.li/oryio

$$E_n = -\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \frac{m_e\,e^4}{2\hbar^2}\,\frac{1}{n^2} \quad \text{где n=1,2,3....} \quad (2\text{-}3)$$

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

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

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ – 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).

$$E_{bind} = -\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\right)^2 \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \quad (2\text{-}4)$$

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

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

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 дальнем 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: $\mathbf{e_N = 2e = 3{,}204353268 \cdot 10^{-19}}$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:

$$-\frac{\mathbf{G\, m_N^2}}{\boldsymbol{\lambda}_N^2} = -\mathbf{k^2 \frac{m_N e_N{}^4}{2\hbar^2}} \quad (2\text{-}6)$$

В результате получим: $\boldsymbol{\lambda}_N = \sqrt{\frac{\mathbf{2Gm_N\hbar^2}}{\mathbf{k^2 e_N{}^4}}}$ (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

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

где m – масса частицы.

a – ширина потенциальной ямы.

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

n – квантовое число.

Применим эту формулу к нейтрону в нейтронной звезде, введя следующие ограничения:

1. В условиях сильного гравитационного сжатия энергия E_N в нейтронной звезде 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 $\mathbf{a = r_N}$. Это объясняется тем, что волна в нейтроне распространяется от центра нейтрона к площади его поверхности.

В результате вышеизложенного получим формулу:

$$\mathbf{E_N = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m_N\, r_N^2}} \qquad (2\text{-}9)$$

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

r_N – радиус нейтрона, м.

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

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

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

В результате получим: $\mathbf{m_N = 1{,}630740013 \cdot 10^{-27}}$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 $_{12}^{6}C$, 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 ($\mathbf{e_N} = 2\,\mathbf{e}$) без применения поправочных коэффициентов.**

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

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

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

Таким образом, диаметр нейтрона $\mathbf{d_N} = \mathbf{9{,}58375276 \cdot 10^{-16}}$м (2-14)

Полученное значение соответствует экспериментальному размеру нейтрона ≈ $\mathbf{10^{-15}}$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 в нейтронной звезде. **Также как массу нейтрона 2-11, радиус нейтрона $\mathbf{r_N}$ можно выразить исключительно через фундаментальные физические константы без применения поправочных коэффициентов** (напомним, что $k = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$). Для этого подставим в формулу 2-13 значение m_N из формулы 2-11. В результате получим: $\mathbf{r_N} = \frac{\hbar}{\sqrt{2}} \sqrt[3]{\frac{4\,\pi\, G}{k^2\, e_N^4\, c}}$

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

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

3. Результаты.

В этом исследовании через применение предположения о существовании волны у нейтрона, находящегося в состоянии покоя, и применения двух решений волнового уравнения Шрёдингера 2-3 и 2-8, были получены следующие результаты:

1. Определена масса нейтрона в нейтронных звёздах, которая составила $\mathbf{m_N} = \mathbf{1{,}630740013 \cdot 10^{-27}}$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 $^{6}_{12}C$, где масса нейтронов практически равна 1 а.е.м. ($1{,}660539067 \cdot 10^{-27}$кг). Эта небольшая разница объясняется дефектом массы нейтронов в результате гравитационного сжатия в нейтронных звёздах. Необходимо подчеркнуть, что масса нейтрона была получена по формуле 2-11, которая базируется на трёх фундаментальных константах: гравитационной постоянной, скорости света и элементарном заряде ($e_N = 2$ e) без применения поправочных коэффициентов (напомним, что $k = 1\frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$).

2. Был определён размер нейтрона в нейтронных звёздах, который составил $\mathbf{d_N} = \mathbf{9{,}58375276 \cdot 10^{-16}}$м (2-14). **Эта величина с высокой точностью совпадает с экспериментальным размером нейтрона ≈ $\mathbf{10^{-15}}$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 в нейтронной звезде. Отметим, что радиус нейтрона, также как массу нейтрона, можно выразить (ф. 2-15) исключительно через фундаментальные физические константы: гравитационную постоянную, приведенную постоянную Планка, скорость света, элементарный заряд ($e_N = 2$ e) без введения поправочных коэффициентов (напомним, что $k = 1\frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$).

Таким образом, полученные в ходе исследования масса и размер нейтрона совпали с экспериментальной массой и размером нейтрона. Такое **двойное подтверждение** результатов через экспериментальные данные полностью исключает вероятность случайного совпадения и подтверждает правомерность применения в этом исследовании формулы 2-2 и волнового уравнения Шрёдингера.

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

В исследовании были получены другие результаты, имеющие научное значение.