Применение волнового уравнения Шрёдингера к нейтронам нейтронной звезды. Результаты исследования.

Автор Андрей Чернов

E mail**:** and8591@gmail.com

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

Содержание

1. Аннотация.

В основе этого исследования находятся два частных решения основного уравнения Шрёдингера: это решение уравнения для атома водорода (2-4) и решение уравнения для энергии частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме (2-8). В результате их применения, а также применения представленной в этом исследовании формулы 2-1, были получены формула потенциальной энергии взаимодействия нейтронов в нейтронной звезде, формула определения массы нейтрона и др.

Рассчитанная по формуле масса нейтрона в нейтронной звезде составила $m_N = 1{,}630740013 \cdot 10^{-27}$кг. Это на 2,6 % меньше массы свободного нейтрона ($1{,}674927498 \cdot 10^{-27}$кг) и на 1,8% меньше атомной единицы массы 1а.е.м. ($1{,}660539066 \cdot 10^{-27}$кг). Такое расхождение хорошо согласуется с дефектом массы атомов химических элементов при образовании нейтронных звезд.

В этом исследовании были определены дискретные значения потенциальной энергии взаимодействия нейтронов в нейтронных звёздах. Предельное значение этой энергии составило $E_1 = -4{,}824514034 \cdot 10^{-15}$эВ. Также было определено минимально возможное расстояние между нейтронами в нейтронных звёздах, которое составило $r_1 = 4{,}79187638 \cdot 10^{-16}$м. Были получены другие дискретные значения E и r.

Кроме вышеперечисленного в этом исследовании есть другие результаты, имеющие научное значение.

Ключевые слова. Уравнение Шрёдингера, нейтронная звезда, квантовое число, потенциальная энергия взаимодействия нейтронов, расстояние между нейтронами в нейтронной звезде, формула массы нейтрона.

2. Методы.

При гравитационном сжатии гигантской звезды происходит дефект массы атомов химических элементов, из которых состоят эта звезда.

(Необходимые начальные условия и процесс превращения гигантской звезды в нейтронную звезду в тему исследования не входят и поэтому описываться не будут). В результате гигантская звезда превращается в очень плотное небесное тело, состоящее из тонкой оболочки и нейтронной сердцевины.

В нейтронной звезде нейтроны очень плотно прижаты друг к другу, поэтому расстояние между ними чрезвычайно мало. Сила взаимодействия между соседними нейтронами в нейтронной звезде **прямо пропорциональна произведению массы нейтронов и обратно пропорциональна кубу расстояния r между ними:**

$$\mathbf{F_N} = \frac{\mathbf{G\,m_N\,m_N}}{\mathbf{r^3}}, \text{ где } \mathrm{G} = 6{,}6743 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{м}^4}{\text{с}^2\ \text{кг}} \qquad (2\text{-}1)$$

m_N – масса нейтрона, r – расстояние между нейтронами.

Сила F_N имеет гравитационное происхождение, вследствие чего в формуле 2-1 сохраняется величина G. **Сила F_N действует только на чрезвычайно малом расстоянии** сразу после окончания действия гравитационных сил (где, как известно, сила обратно пропорциональна квадрату расстояния).

На основе формулы 2-1 получим формулу потенциальной энергии взаимодействия двух соседних нейтронов в нейтронной звезде:

$$\mathbf{E} = -\mathbf{F_N} \cdot \mathbf{r} \quad \text{или} \quad \mathbf{E} = -\frac{\mathbf{G\,m_N\,m_N}}{\mathbf{r^3}}\mathbf{r} = -\frac{\mathbf{G\,m_N^2}}{\mathbf{r^2}} \qquad (2\text{-}2)$$

В связи с тем, что расстояние между нейтронами в нейтронных звёздах чрезвычайно мало, к формуле 2-2 применяются положения квантовой механики. Вследствие этого формула 2-2 примет следующий вид:

$$\mathrm{E_n} = -\frac{\mathbf{G\,m_N^2}}{\mathbf{r_n^2}} \quad \text{где n – квантовые числа } 1,2,3\ldots.. \qquad (2\text{-}3)$$

Напишем известное решение уравнения Шрёдингера для атома водорода. Для полноты информации приведём ссылку на вывод этой формулы http://surl.li/oryio . Также отметим, что это уравнение совпадает с полученной Бором формулой квантовых состояний атома водорода.

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

где 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, ħ = $1{,}054571817 \cdot 10^{-34}$ Дж · с

k – коэффициент пропорциональности, $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8{,}988 \cdot 10^9 \frac{Н\cdot м2}{Кл^2}$

Теперь проведём аналогию между взаимодействием протона и электрона в атоме водорода и взаимодействием между двумя нейтронами в нейтронной звезде. Эта аналогия позволяет применить формулу 2-4 к потенциальной энергии взаимодействия нейтронов в нейтронной звезде, изменив в формуле 2-4 значения массы и заряда:

$$\mathbf{E_n = -k^2 \frac{m_N\, e_N{}^4}{2\hbar^2}}\frac{1}{n^2} \qquad (n=1,2,3...) \qquad (2\text{-}5)$$

где E_n – потенциальная энергия взаимодействия двух соседних нейтронов.

m_N– масса нейтрона в нейтронной звезде.

e_N – заряд нейтрона в нейтронной звезде, $e_N = 3{,}204353268 \cdot 10^{-19}$Кл

В нейтроне, как известно, находятся два противоположных элементарных заряда (свободный нейтрон распадается на положительно заряженный протон p^+ и отрицательно заряженный электрон e^-). **В нейтронной звезде в условиях очень плотного взаимодействия с другими нейтронами заряд нейтрона не равен 0, а составляет: $\mathbf{e_N = 2e = 3{,}204353268 \cdot 10^{-19}}$Кл** (это значение $\mathbf{e_N}$ будет подтверждено в ходе исследования).

$k = 1\frac{Н\cdot м2}{Кл^2}$. Коэффициент k при плотном нейтронном взаимодействии имеет номинальное значение и служит для перевода единиц измерений. Его величина будет проанализирована в 3 разделе статьи.

Исходя из одного значения энергии в формулах 2-3 и 2-5, получим уравнение: $\mathbf{-k^2 \frac{m_N\, e_N{}^4}{2\hbar^2}\frac{1}{n^2} = -\frac{G\, m_N^2}{r_n^2}}$ (2-6)

Отсюда получим: $\mathbf{r_n = \frac{\hbar\sqrt{2\, G\, m_N}}{k\, e_N{}^2}\, n}$ (n=1,2,3…) (2-7)

Приведём известное решение уравнения Шрёдингера для энергии частицы для энергии частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме (для полноты информации приведём ссылку на вывод этой формулы http://surl.li/orygz) :

$$E_n = \frac{\pi^2\hbar^2}{2ma^2}\ n^2 \qquad (n=1,2,3\ldots) \qquad (2\text{-}8)$$

где m – масса частицы, a — ширина потенциальной ямы.

Теперь применим эту формулу к состоянию нейтрона в нейтронной звезде, где нейтрон очень плотно зажат между другими нейтронами. **В этих условиях расстояние r_n между центрами соседних нейтронов равно диаметру нейтрона. Таким образом в нейтронной звезде каждый нейтрон находится в одномерной потенциальной яме, которая равна диаметру этого нейтрона: $a = r_n$.** С учётом этого обстоятельства получим формулу:

$$\mathbf{E_n = \frac{\pi^2\hbar^2 n^2}{2m_N r_n^2}} \qquad (n=1,2,3\ldots) \quad (2\text{-}9)$$

С учётом значения $\mathbf{r_n = \frac{\hbar\sqrt{2\,G\,m_N}}{k\,{e_N}^2}\,n}$ в формуле 2-7 получим:

$$\mathbf{E = \frac{k^2\pi^2\,{e_N}^4}{4m_N^2\,G}} \qquad (2\text{-}10)$$

Как видим, в полученной формуле 2-10 **энергия E является постоянной величиной, которая не зависит от изменения квантового числа n.** Предполагается, что такой величиной должна быть **энергия массы покоя нейтрона** в нейтронной звезде. Проверим это утверждение через применение формулы Эйнштейна $E = m\,c^2$.

$$\mathbf{m_N\,c^2 = \frac{k^2\pi^2\,{e_N}^4}{4\,m_N^2\,G}} \qquad (2\text{-}11)$$

После решения этого уравнения получим формулу массы нейтрона в нейтронной звезде:

$$\mathbf{m_N = \sqrt[3]{\frac{k^2\pi^2{e_N}^4}{4G\,c^2}}} \quad (2\text{-}12)$$

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, $k = 1\,\frac{Н\cdot м2}{Кл^2}$.

В результате получим: $\mathbf{m_N} = \mathbf{1{,}630740013 \cdot 10^{-27}}$кг

Масса нейтрона была определена через три независимые константы: величину элементарного заряда ($\mathbf{e_N = 2e}$), величину гравитационной постоянной и величину скорости света в вакууме.

Масса нейтрона в нейтронной звезде оказалась меньше массы свободного нейтрона ($1{,}674927498 \cdot 10^{-27}$кг) на 2,6% и меньше 1 а.е.м. ($1{,}660539066 \cdot 10^{-27}$кг) на 1,8% (1 а.е.м. – это 1/12 массы атома ${}^{6}_{12}C$, ядро которого состоит из 6 нейтронов и 6 протонов). Такое малое расхождение с 1 а.е.м. хорошо **согласуется с дефектом массы атомов химических элементов** при гравитационном сжатии гигантских звёзд и последующем превращении их в нейтронные звезды. Отметим также, что фундаментальные постоянные в формуле 2-12 очень сильно отличаются между собой по величине, что с математических позиций исключает случайное получение такого результата.

На основании вышеизложенного можно заключить, что формула 2-12 является верной. Из этого в свою очередь следует, что базовые формулы 2-1 и 2-5 тоже получили подтверждение.

Плотность нейтронных звезд зависит от расстояния между нейтронами. Это расстояние определяется через формулу 2-7: $\mathbf{r_n = \frac{\hbar \sqrt{2\, G\, m_N}}{k\, {e_N}^2}\, n}$

Согласно этой формуле наиболее плотными нейтронными звёздами, будут те звёзды, где n=1. Подставим в формулу 2-7 значения $\hbar = 1{,}054571817 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, n=1, e_N, G, m_N, k. В результате получим: $\mathbf{r_1 = 4{,}79187638 \cdot 10^{-16}}$м.

Согласно формуле 2-5 при n=1 значение потенциальной энергии взаимодействия соседних нейтронов в таких нейтронных звёздах составит:

$\mathbf{E_1 = -7{,}729723656 \cdot 10^{-34}}$Дж или $\mathbf{E_1 = -4{,}824514034 \cdot 10^{-15}}$эВ

3. Результаты.

В этом исследовании были применены два частных решения (2-4, 2-8) основного уравнения Шрёдингера и представленная в исследовании формула 2-1. В результате были получены формула потенциальной энергии взаимодействия нейтронов в нейтронной звезде (2-5), формула массы нейтрона (2-12), а также формулы 2-3, 2-7, 2-10.

Отметим, что полученная формула массы нейтрона 2-12 состоит **из трёх фундаментальных физических постоянных:** величины элементарного заряда, величины гравитационной постоянной и скорости света в вакууме. Рассчитанная по этой формуле масса нейтрона в нейтронной звезде составила $\mathbf{m_N = 1{,}630740013 \cdot 10^{-27}}$кг. Полученный результат на 2,6 % меньше массы свободного нейтрона и на 1,8% меньше атомной единицы массы 1а.е.м. Такое расхождение хорошо согласуется с дефектом массы атомов химических элементов при образовании нейтронных звезд в результате гравитационного сжатия гигантских звёзд. Отметим, что фундаментальные постоянные в формуле 2-12 очень сильно отличаются между собой по величине, что с математических позиций исключает случайное получение такого результата. На основании вышеизложенного можно заключить, что формула 2-12 является верной. **Из этого в свою очередь следует, что базовые формулы 2-1 и 2-5 тоже получили подтверждение.**

Коэффициент $\mathrm{k} = 1\,\frac{\text{Н}\cdot\text{м2}}{\text{Кл}^2}$, который в формуле 2-5 служит для перевода единиц измерений, одновременно является целым числом в виде единицы. И хотя это напрямую не относится к теме исследования, но можно предположить, что в диэлектриках подобный коэффициент в формуле Кулона, где $\mathrm{k} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon}$, может быть представлен целыми числами: 1,2,3,4….8988000000. Уверенно доказать, что в этом длинном ряду присутствуют дробные числа невозможно, потому что экспериментальные значения относительной диэлектрической проницаемости ε для этого недостаточно точны. Чтобы в этом убедиться, достаточно взглянуть на таблицу диэлектрической проницаемости материалов http://surl.li/pibzc

Также к важным результатам этого исследования необходимо отнести следующее. При n=1 расстояние между нейтронами в нейтронной звезде составляет $r_1 = 4{,}79187638 \cdot 10^{-16}$м (см. 2 раздел). При n=2 это расстояние согласно формуле 2-7 будет в два раза больше и составит $\mathbf{r_2 = 9{,}58375276 \cdot 10^{-16}}$**м.** Как уже отмечалось в исследовании (см. 2 раздел), r – это расстояние между центрами соседних нейтронов, поэтому r равно диаметру нейтрона. Таким образом, величина r_2 совпадает с принятым в атомной физике размером нейтрона, который в обычных земных условиях (то есть при отсутствии гравитационного давления) равен $\approx \mathbf{10^{-15}}$м.

Это очередное совпадение (см. 2 раздел) **служит ещё одним подтверждением базовых формул 2-1 и 2-5**, на основе которых была получена формула 2-7. Это совпадение также свидетельствует о том, что **в нейтронных звёздах могут быть только два дискретных расстояния между соседними нейтронами: $\mathbf{r_1}$ и $\mathbf{r_2}$.** (Отметим, что чрезвычайно малая разница между r_1 и r_2 (это $4{,}79187638 \cdot 10^{-16}$м) показывает, что нейтроны практически несжимаемы).

На основании вышеизложенного можно заключить, что **между нейтронами сила $\mathbf{F_N}$ (ф. 2-1) начинает действовать с расстояния $\mathbf{9{,}58375276 \cdot 10^{-16}}$**м. До этого расстояния между нейтронами действует «обычная» гравитационная сила, которая, как известно, обратно пропорциональны квадрату расстояния r^2 между двумя массами.

Важным результатом этого исследования является определение уровней потенциальной энергии соседних нейтронов в нейтронных звёздах (ф. 2-5). Эти уровни энергии тоже могут иметь только два значения: $\mathbf{E_1 = -4{,}824514034 \cdot 10^{-15}}$эВ и $\mathbf{E_2 = -\,9{,}649\,028\,068 \cdot 10^{-15}}$эВ

4. Заключение.

Отличительной особенностью этого исследования является то, что оно полностью базируется на фундаментальных физических константах.

5. Декларация.

Автор исследования: Андрей Чернов.