

**Применение решений уравнения Шрёдингера для
определения потенциальной энергии и расстояния между
нейтронами в нейтронных звёздах.**

Автор Андрей Чернов

E mail: and8591@gmail.com

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

Содержание

1. Аннотация – 2 стр.
2. Методы – 2-8 стр.
3. Результаты – 8-9 стр.

1. Аннотация.

В основе этого исследования находятся два решения волнового уравнения Шрёдингера: это решение для атома водорода и решение для энергии частицы в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме. В результате их применения вместе с представленной в этом исследовании формулой, была получена формула потенциальной энергии взаимодействия нейтронов в составе нейтронной звезды и др.

На основе полученных формул через квантовые числа $n=1$, $n=2$ были определены значения потенциальной энергии взаимодействия нейтронов в центральной части нейтронных звезд: $E_1 = -4,8245140 \cdot 10^{-15} \text{ эВ}$ и в периферической части нейтронных звезд: $E_2 = -1,2061285 \cdot 10^{-15} \text{ эВ}$. Наличие двух уровней энергии предполагает квантовый характер излучения гравитационных волн при слиянии нейтронных звезд.

Также через полученные формулы в соответствии с квантовыми числами $n=1$, $n=2$ были определены расстояния между нейтронами в нейтронных звездах. Был вычислен размер нейтрона в составе нейтронной звезды, который совпал с экспериментальным размером нейтрона.

В исследовании была определена масса нейтрона в составе нейтронной звезды, которая составила $m_N = 1,630740013 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Это на 2,6% меньше массы атома водорода и массы свободного нейтрона. С позиций атомной физики эта малая разница объясняется дефектом массы атомов водорода, гелия и других атомов в процессе эволюции звезды в нейтронную звезду. Формула, по которой была рассчитана масса нейтрона содержит три независимые физические постоянные: величину элементарного заряда, величину скорости света в вакууме, гравитационную постоянную.

Кроме вышеперечисленного были получены другие результаты.

Ключевые слова. Уравнение Шрёдингера, нейтронная звезда, квантовая гравитация, потенциальная энергия взаимодействия нейтронов, формула для определения массы нейтрона.

2. Методы.

Нейтронная звезда – это космическое тело, являющееся результатом эволюции звёзд и состоящее из нейтронной сердцевины, покрытой сравнительно тонкой (около 1 км) корой вещества в виде тяжёлых атомных ядер и электронов. Типичный радиус нейтронной звезды составляет 10 – 20 км. Средняя плотность вещества нейтронной звезды в несколько раз превышает плотность атомного ядра.

Внутри нейтронных звезд в результате сильного гравитационного давления нейтроны очень плотно прижаты друг к другу. В этих особо плотных условиях между соседними нейтронами возникает взаимодействие.

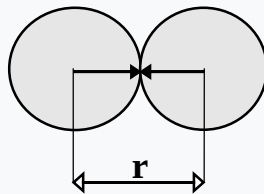


Рис.1

Сила F_N этого взаимодействия прямо пропорциональна произведению массы нейтронов и обратно пропорциональна кубу расстояния r между нейтронами:

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

m_N – масса нейтрона, кг.

r – расстояние между нейтронами, м. (Отметим, что из рис.1 видно, что r равно диаметру нейтрона).

Сила F_N имеет гравитационное происхождение, вследствие чего в формуле сохраняется гравитационная постоянная G . Сила F_N действует только на чрезвычайно малом расстоянии ($10^{-16} - 10^{-15}$ м) между нейтронами.

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

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

В исследовании предполагается, что энергия E в этой формуле имеет квантовую природу. В связи с этим формула 2-2 примет следующий вид:

$$E_n = -\frac{G m_N^2}{r_n^2} \quad \text{где } n - \text{квантовые числа } 1, 2, \dots \quad (2-3)$$

Далее приведём известное решение уравнения Шрёдингера для атома водорода. Для полноты информации приведём ссылку на вывод этой формулы <http://surl.li/oryio> Это решение совпадает с полученной Бором формулой квантовых состояний атома водорода.

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

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

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

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

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

Теперь проведём аналогию между взаимодействием протона и электрона в атоме водорода и между взаимодействием двух нейтронов в условиях их плотного сближения. На основании этой аналогии применим формулу 2-4 к потенциальной энергии взаимодействия двух нейтронов, заменив в формуле 2-4 значения массы и заряда. В результате получим:

$$E_n = -k^2 \frac{m_N e_N^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad (n=1, 2, \dots) \quad (2-5)$$

где E_n – потенциальная энергия взаимодействия двух нейтронов в условиях их плотного сближения в нейтронной звезде.

m_N – масса нейтрона в нейтронной звезде.

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

В нейтроне находятся два противоположных элементарных заряда (как известно, свободный нейтрон распадается на положительно заряженный протон p^+ и отрицательно заряженный электрон e^-). В обычных условиях заряд свободного нейтрона нейтрален. Но при очень плотном сближении заряды нейтронов перестают быть нейтральными, и в этих условиях

заряд каждого нейтрона составляет: $e_N = 2e = 3,204353268 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ (это значение e_N будет подтверждено в ходе исследования).

$k = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$. Коэффициент пропорциональности k в условиях плотного нейтронного взаимодействия равен единице.

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

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

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

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n^2 \quad (n=1,2,\dots) \quad (2-8)$$

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

Дальше применим эту формулу к энергии нейтрона в нейтронной звезде.

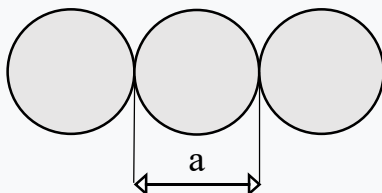


Рис. 2

В нейтронной звезде каждый нейтрон очень плотно зажат между соседними нейтронами, расстояние между которыми является шириной «а» потенциальной ямы. Поэтому в этих условиях диаметр нейтрона равен ширине «а» потенциальной ямы. При этом заметим, что расстояние r между нейтронами тоже равно диаметру нейтрона (см. пояснение к формуле 2-1 и рис.1). Отсюда получается, что $a = r$. С учётом этого получим следующую формулу:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2m_N r_n^2} \quad (n=1,2,\dots) \quad (2-9)$$

Подставим в формулу 2-9 значение r_n из формулы 2-7 и получим:

$$E = \frac{k^2 \pi^2 e_N^4}{4 m_N^2 G} \quad (2-10)$$

В полученной формуле 2-10 энергия **E** является **постоянной величиной, которая не зависит от квантового числа n**. Предполагается, что такой постоянной величиной E должна быть **энергия массы нейтрона**. Проверим это утверждение через применение формулы $E = m c^2$.

$$m_N c^2 = \frac{k^2 \pi^2 e_N^4}{4 m_N^2 G} \quad (2-11)$$

После решения этого уравнения получим формулу для определения массы нейтрона в составе нейтронной звезды:

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

Отметим, что формула 2-12 базируется на трёх независимых физических постоянных: элементарном заряде e ($e_N = 2e$), гравитационной постоянной G , скорости света в вакууме. Подставим в эту формулу $\pi = 3,141592654$, $e_N = 3,204353268 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^4}{\text{с}^2 \text{ кг}}$, $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, $k = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

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

Как видим, масса нейтрона в составе нейтронной звезды оказалась на 2,6% меньше массы атома водорода и массы свободного нейтрона. С позиций атомной физики эта малая разница объясняется **дефектом массы** атомов водорода, гелия и других атомов в процессе эволюции звезды в нейтронную звезду. Такой полученный результат подтверждает формулу 2-12. Из этого, в свою очередь, следует, что базовые формулы 2-1, 2-5 и также входящие в эти формулы значения $e_N = 3,204353268 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ и $k = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ тоже получили подтверждение.

Дальше определим значения потенциальной энергии E_n и значения расстояния r_n между нейтронами в нейтронных звёздах.

Начнём с определения расстояния r_n при **$n=1$** . Для этого подставим в формулу 2-7 значения $\hbar$, e_N , G , m_N , k . В результате получим:

$$r = \frac{\hbar \sqrt{2 G m_N}}{k e_N^2} n = 4,79187638 \cdot 10^{-16} \text{ м}$$

Это расстояние между нейтронами в центральной части нейтронной звезды. Вследствие очень сильного гравитационного давления в центре звезды диаметр нейтрона там равен $4,79187638 \cdot 10^{-16} \text{ м}$. (Почему диаметр нейтрона равен значению r , надо смотреть пояснение к формуле 2-1 и рис.1).

При $n=2$ значение r составляет $9,58375276 \cdot 10^{-16} \text{ м}$. Это расстояние между нейтронами вдали от центра нейтронной звезды. Получается, что в этой части звезды диаметр нейтрона (см. ф. 2-1 и рис.1) совпадает с размером свободного нейтрона, который, как известно, равен $\approx 10^{-15} \text{ м}$. **Это показывает, что для нейтронных звёзд следующего квантового числа $n=3$ не существует**, потому что тогда расстояние r будет равно $1,43756 \cdot 10^{-15} \text{ м}$, а это в полтора раза больше размера свободного нейтрона. В этом случае между нейтронами появится большой зазор, что несовместимо с существованием нейтронной звезды.

Отсюда следует вывод, что **в нейтронных звездах квантовая система из двух нейтронов может иметь только два квантовых состояния $n=1$ и $n=2$** . В центральной части нейтронной звезды, где очень сильное гравитационное давление $n=1$, и расстояние между нейтронами составляет $r_1 = 4,79187638 \cdot 10^{-16} \text{ м}$. Вдали от центра нейтронной звёзды, где гравитационное давление меньше $n=2$, и расстояние между нейтронами составляет $r_2 = 9,58375276 \cdot 10^{-16} \text{ м}$.

Применим квантовые числа $n=1$ и $n=2$ к формуле $E_n = -k^2 \frac{m_N e_N^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}$ (2-5). В результате получим два значения потенциальной энергии взаимодействия нейтронов в нейтронной звезде: $E_1 = -4,8245140 \cdot 10^{-15} \text{ эВ}$ (в центральной части нейтронной звезды), $E_2 = -1,2061285 \cdot 10^{-15} \text{ эВ}$ (в периферической части нейтронной звезды).

Необходимо отметить, что наличие двух уровней энергии предполагает **квантовый характер излучения гравитационных волн** при слиянии нейтронных звёзд.

3. Результаты.

В этом исследовании были применены два решения (2-4, 2-8) основного уравнения Шрёдингера и представленная в этом исследовании формула 2-1. В результате были получены формула потенциальной энергии взаимодействия нейтронов (2-5), формула массы нейтрона (2-12), а также формулы 2-3, 2-7, 2-9, 2-10.

Применение этих формул позволило получить следующие результаты. По формуле 2-5 в соответствии с квантовыми числами $n=1$ и $n=2$ были получены значения потенциальной энергии взаимодействия нейтронов: $E_1 = -4,8245140 \cdot 10^{-15}$ эВ (в центральной части нейтронной звезды), $E_2 = -1,2061285 \cdot 10^{-15}$ эВ (в периферической части нейтронной звезды). По формуле 2-7 в соответствии с квантовыми числами $n=1$ и $n=2$ были определены расстояния между нейтронами в нейтронных звёздах: $r_1 = 4,79187638 \cdot 10^{-16}$ м (центральная часть нейтронной звезды), $r_2 = 9,58375276 \cdot 10^{-16}$ м (периферийная часть нейтронной звезды). На основе этого был определён размер нейтрона в составе нейтронной звёзды, который совпал с экспериментальным размером нейтрона. Это совпадение подтверждает действие формул 2-5 и 2-7.

Полученная в этом исследовании формула массы нейтрона 2-12 базируется на **трёх физических постоянных: величине элементарного заряда, величине гравитационной постоянной и скорости света в вакууме**. Рассчитанная по этой формуле масса нейтрона в составе нейтронной звезды составила $m_n = 1,630740013 \cdot 10^{-27}$ кг. Это на 2,6% меньше массы атома водорода и массы свободного нейтрона. С позиций атомной физики такая малая разница объясняется **дефектом массы** атомов водорода, гелия и других атомов в процессе эволюции звезды в нейтронную

звезду. Таким образом, полученный через независимые физические постоянные результат подтвердил формулу 2-12. Из правильности формулы 2-12 следует, что формулы 2-1, 2-5, а также входящие в эти формулы значения $e_N = 3,204353268 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, $k = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ тоже получили подтверждение.

Это напрямую не относится к теме исследования, но на это необходимо обратить внимание. Значение коэффициента $k = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ в формуле 2-5 позволяет предположить, что коэффициент k в формуле Кулона $F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r}$, где $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon}$, при изменении величины относительной диэлектрической проницаемости среды ϵ может быть представлен только **целыми числами** от 1,2,3.... до 8988000000. Заметим, что уверенно подтвердить или опровергнуть это утверждение (то есть доказать существование дробных чисел в этом длинном ряду) невозможно из-за сложности измерения с высокой точностью величины ϵ , см. <http://surl.li/pibzc>

4. Декларация.

Автор исследования: Андрей Чернов.