

Скрытые уровни энергии атома водорода и порядок их квантования. Длина волны фотонов, испускаемых атомами в процессе сжижения водорода.

Автор Андрей Чернов

E mail: and8591@gmail.com

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

Содержание

1. Аннотация – 2-3 стр.
2. Методы – 3-9 стр.
3. Результаты – 9-11 стр.

1. Аннотация.

Это исследование базируется на положении о том, что в атоме водорода существуют уровни энергии E_n , энергия которых меньше, чем энергия первой орбиты электрона: $E_n < E_1$, где $E_1 = -13,6$ Эв. В исследовании такие уровни энергии E_n получили название «скрытые уровни энергии», потому что могут проявлять себя в относительно редких случаях. Одним из таких случаев является выделение энергии в виде теплового излучения в процессе сжижения водорода.

В ходе исследования было определено общее количество скрытых уровней энергии атома водорода, которое составило **18779** уровней (. Также через проведённый анализ был определён порядок квантования энергии на скрытых уровнях энергии: **1,2,3,4,5,6,7,8...18779**. (Этот порядок оказался идентичен главным квантовым числам из квантовой механики). В исследовании была определена энергия фотонов, которые в процессе сжижения водорода принудительно испускаются атомами водорода. Энергия фотона составила **0,0014489** Эв (1-19). Длина волны этого фотона равна **855,7 мкм** (1-20) и поэтому относится к области дальнего инфракрасного диапазона электромагнитных волн ($1,4 \div 1000$ мкм).

Фотоны такой малой энергии можно зарегистрировать только на специальные датчики тепла (болометры), которые очень чувствительны к нагреву инфракрасным излучением. Также для регистрации таких слабых фотонов необходимо полное отсутствие помех от посторонних источников и поглотителей тепловой энергии. Поэтому наиболее чувствительные болометры применяются в инфракрасных телескопах, находящихся на орбите Земли.

В марте 1995 года Япония запустила 15-сантиметровый инфракрасный телескоп IRTS, который впервые смог засечь космические фотоны с длиной волны ≥ 700 мкм (энергия зарегистрированного фотона $\leq 0,0017712$ Эв). Этот результат наблюдений полностью совпадает с полученными в этом исследовании параметрами фотона: $\lambda_\gamma = 855,7$ мкм, $e_\gamma = 0,0014489$ Эв. Учитывая наибольшую распространённость водорода во Вселенной (92%), можно сделать вывод, что зарегистрированные японским телескопом фотоны были излучены в процессе образования большой массы жидкого водорода в космосе. Полное совпадение результата исследования и результата астрономических наблюдений является прямым подтверждением существования скрытых уровней энергии атома водорода.

В этом исследовании был определён уровень энергии атомов водорода, когда водород переходит из газообразного состояния в жидкое состояние:

–13,73754 ЭВ (1-24). (Этому уровню энергии соответствуют следующие параметры жидкого водорода: температура –252,9 °С, объёмная плотность 70,9 кг/м³). Радиус орбиты электрона для этого уровня энергии составляет $5,240984 \cdot 10^{-11}$ м (1-25). Если сравнить этот радиус с Боровским радиусом $5,29177210544 \cdot 10^{-11}$ м, то расхождение составит: 0,96 %.

В исследовании отмечено, что атомы других газов тоже имеют скрытые уровни энергии. Также из материалов исследования следует, что некоторые выводы СТО, которые действуют в макромире, не действуют в квантовых процессах, происходящих в атоме.

Ключевые слова. Скрытые уровни энергии атома водорода, порядок квантования скрытых уровней энергии, принудительное испускание фотонов, космические фотоны, жидкий водород.

2. Методы

Если газообразный водород подвергнуть длительному сжатию с возможностью отвода тепла, то начнётся процесс сжижения водорода. Этот процесс будет сопровождаться выделением энергии в виде теплового излучения. Тепловое излучение связано с тем, что по мере сближения между собой атомов водорода вследствие внешнего давления, одновременно также происходит принудительное уменьшение радиусов орбит электронов в атомах. Принудительное уменьшение радиуса орбиты электрона в атоме водорода приводит к переходу электрона с более высокой орбиты, где более высокий уровень энергии, на более низкую орбиту, где уровень энергии ниже. Этот переход электрона сопровождается излучением энергии в виде фотонов. Таким образом, **принудительное уменьшение радиуса орбиты электрона в атоме** водорода приводит к принудительному испусканию фотонов. В дальнейшем в целях сокращения текста выделенное жирным шрифтом выражение будем называть «сжатием орбиты электрона».

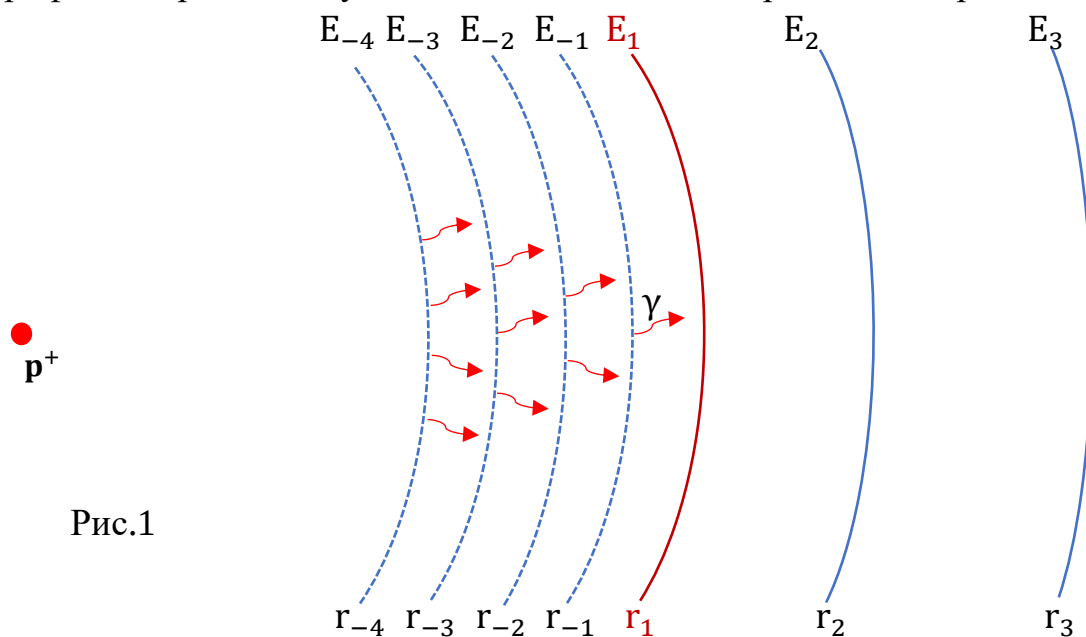


Рис.1

Вверху представлен рисунок 1. На этом рисунке схематично представлена шкала уровней энергии атома водорода. В середине шкалы находится хорошо известный из квантовой механики уровень $E_1 = -13,6$ Эв ($r_1 = 5,29177210544 \cdot 10^{-11}$ м). Этот уровень разделяет шкалу на две части. Справа от E_1 находятся уровни энергии: $E_2 = -3,4$ Эв, $E_3 = -1,51$ Эв, которые определяются по известной формуле: $E = -\frac{1}{n^2} \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$

Слева от уровня E_1 находится шкала скрытых уровней энергии атома водорода. В этой части шкалы уровни энергии атома водорода имеют знак «минус»: E_{-1} , E_{-2} , E_{-3} , E_{-4} и т.д. Знак «минус» введён для того, чтобы при работе с текстом избежать путаницы с классическими уровнями энергии, расположенными в правой части шкалы. Также на этом рисунке обозначены радиусы r_n орбит электрона.

Продолжим исследование. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода определяется по формуле:

$$W_k = \frac{m_e v^2}{2} \quad (1-1)$$

где m_e – масса электрона, v – скорость электрона.

При этом центростремительной силой, удерживающей электрон в атоме, является кулоновская сила притяжения между электроном и ядром атома (протоном). Отсюда получим следующее уравнение:

$$\frac{m_e v^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad (1-2)$$

где r – радиус орбиты электрона, e – элементарный заряд, ε_0 – электрическая постоянная.

Используя 1-1 и 1-2, получим формулу для кинетической энергии:

$$W_k = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} \quad (1-3)$$

Потенциальная энергия притяжения двух зарядов (протона и электрона) равна:

$$W_p = -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r} \quad (1-4)$$

Суммируя 1-3 и 1-4, получим значение полной энергии электрона:

$$W = W_k + W_p = -\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} \quad (1-5)$$

Обратим внимание на то, что численно равны правые части уравнений 1-5 и 1-3: $\left| -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \right| = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$. Это позволяет сделать вывод, что:

$$W = -W_k \quad (1-6)$$

На основании 1-6 и на основании 1-1 получим известную формулу полной энергии электрона в атоме водорода:

$$W = -\frac{1}{2} m_e v^2 \quad (1-7)$$

На основании того, что полная энергия электрона и уровень энергии атома водорода тождественные понятия, получим:

$$E_n = -\frac{1}{2} m_e v^2 \quad (1-8)$$

В формуле 1-8 **скорость электрона не может быть выше скорости распространения света**. Отсюда получим минимально возможный уровень энергии атома водорода:

$$E_{\min} = -\frac{1}{2} m_e c^2 \quad (1-9)$$

Подставим в эту формулу значения $m_e = 9,109383702 \cdot 10^{-31}$ кг, $c = 2,99792458 \cdot 10^8$ м/с и получим:

$$E_{\min} = -4,09355288864 \cdot 10^{-14} \text{ Дж } (-255499,475 \text{ Эв}) \quad (1-10)$$

Количество уровней энергии, расположенных в левой от уровня E_1 части шкалы (рис.1), определяется по следующей формуле:

$$N = \frac{E_{\min}}{E_1} \quad (1-11)$$

где E_1 –нижний (классический) уровень энергии в атоме водорода.

$$E_1 = -\frac{1}{n^2} \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = -2,17987235766 \cdot 10^{-18} \text{ Дж } (-13,605693 \text{ Эв}) \quad (1-12)$$

где $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, $e = 1,602176634 \cdot 10^{-19}$ Кл, $\epsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12}$ Ф · м, $m_e = 9,109383702 \cdot 10^{-31}$ кг

Подставим в формулу 1-11 значение E_1 и значение $E_{\min}$. В результате получим: $N = 18778,87$

Получение не полностью целого числа N связано с допустимыми погрешностями измерений физических величин, которые использовались при расчёте $E_{\min}$ и E_1 . Поэтому округлим полученный результат и получим целое количество уровней энергии в левой от значения E_1 части шкалы (рис.1):

$$N = 18779 \quad (1-13)$$

Отметим, что эти уровни энергии E_n строго привязаны к расстоянию r_n до центра атома. На этих уровнях E_n находится разное количество

одинаковых квантов энергии e_γ . При этом порядковый номер «n» уровня энергии E_n показывает количество квантов e_γ на этом уровне. Поэтому количество квантов e_γ , находящихся на уровнях энергии E_n в левой части шкалы (рис.1), выглядит следующим образом:

$$1,2,3,4,5,6,7,8...18779 \quad (1-14)$$

Такой порядок квантования энергии на уровнях атома водорода базируется на положении, что плотность энергии в атоме водорода возрастает по мере приближения орбиты электрона к ядру атома (протону). (Это совпадает с известным положением современной квантовой механики, где электрон представляет собой сферическое облако плотности вероятности, которое уплотняется по мере приближения орбиты электрона к ядру атома). **А в связи с тем, что квант e_γ является единственной минимальной порцией энергии, то каждый последующий уровень энергии должен содержать на один квант энергии больше.** На этом основании был получен обозначенный выше 1-14 порядок квантования энергии на уровнях атома водорода. Отметим, что этот порядок внешне идентичен главным квантовым числам из квантовой механики.

В процессе сжижения водорода происходит последовательное сжатие орбиты электрона в атоме. В результате с уровнем E_n (см. рис.1)

принудительно испускаются кванты энергии e_γ в виде фотонов γ .

Происходит это в следующем порядке. При сжатии орбиты электрона от радиуса r_1 до радиуса r_{-1} с уровня E_{-1} испускается 1 фотон; при сжатии орбиты от r_{-1} до r_{-2} с уровня E_{-2} испускаются 2 фотона; при сжатии орбиты от r_{-2} до r_{-3} с уровня E_{-3} испускаются 3 фотона; при сжатии орбиты от r_{-3} до r_{-4} с уровня E_{-4} испускаются 4 фотона и т.д.

Вернёмся к 1-14 и применим к этому порядку квантования математическую формулу суммы ряда натуральных чисел. В результате получим формулу **общего количества S_γ квантов e_γ** , которые находятся в левой части шкалы (рис.1) уровней энергии атома водорода:

$$S_\gamma = \frac{n(n+1)}{2}, \text{ где } n = 18779 \quad (1-15)$$

В результате получим:

$$S_\gamma = 176\,334\,810 \quad (1-16)$$

Общая энергия квантов e_γ в левой части шкалы определяется, как разность энергий атома водорода в двух стационарных состояниях E_1 и $E_{\min}$:

$$\Delta E = E_1 - E_{\min} \quad (1-17)$$

С учётом значений $E_1(1-12)$ и $E_{\min}(1-10)$ получим:

$$\Delta E = 4,0933349014 \cdot 10^{-14} \text{ Дж } (255485,869 \text{ Эв}) \quad (1-18)$$

Исходя из значения энергии ΔE и количества квантов S_γ , определим величину кванта e_γ :

$$e_\gamma = \frac{\Delta E}{S_\gamma} = 2,321342508266 \cdot 10^{-22} \text{ Дж (0,001448868033 Эв)} \quad (1-19)$$

Используя формулу $E = hc/\lambda$, определим длину волны фотона, имеющего энергию e_γ :

$$\lambda = hc/e_\gamma = 8,557 \cdot 10^{-4} \text{ м (855,7 мкм)} \quad (1-20)$$

Эта длина волны относится к инфракрасному диапазону (0,74 ÷ 1000 мкм) излучения электромагнитных волн.

Значение уровней энергии в левой части шкалы (рис.1) определяются по следующей формуле:

$$E_n = E_1 - e_\gamma \frac{n(n+1)}{2} \quad (1-21)$$

где n – порядковый номер уровня E_n в левой части шкалы от E_1 :
1,2,3,4,5...18779

С учётом значения $E_1 = -13,605693 \text{ Эв}$ (1-12) и значения e_γ (1-19) определим по формуле 1-21 значения некоторых уровней энергии:
 $E_{-1} = -13,607142 \text{ Эв}$, $E_{-2} = -13,61004 \text{ Эв}$, $E_{-3} = -13,614386 \text{ Эв}$, $E_{-4} = -13,620182 \text{ Эв}$

Определим радиус r_n орбиты электрона через известный уровень энергии E_n . Для этого используем формулу полной энергии электрона (1-5):

$$W = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

На основании того, что полная энергия электрона и уровень энергии атома водорода тождественные понятия, получим:

$$E_n = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n} \quad (1-22)$$

Отсюда следует:

$$r_n = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 E_n} \quad (1-23)$$

где $e = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, $\epsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}$,
 $\pi = 3,1415926535$

Определим в левой части шкалы (рис.1) некоторые радиусы орбит электрона: $r_{-1} = 5,29120864 \cdot 10^{-11} \text{ м}$, $r_{-2} = 5,29008198 \cdot 10^{-11} \text{ м}$, $r_{-3} = 5,28839327 \cdot 10^{-11} \text{ м}$, $r_{-4} = 5,28614282 \cdot 10^{-11} \text{ м}$.

Полученные в этом исследовании формулы позволяют определить уровень энергии и радиус орбиты атома водорода, когда водород становится жидкостью.

Как известно из практики, для сжижения 1 кг водорода требуется $E \approx 12$ МДж. Это значение энергии равно величине энергии теплового излучения, которое выделяется при сжижении водорода. Масса атома водорода составляет $m_a = 1,6735575 \cdot 10^{-27}$ кг. Таким образом в 1 кг водорода находится следующее количество атомов: $k = \frac{1 \text{ кг}}{m_a}$. В результате получим значение энергии теплового излучения, которое приходится на 1 атом водорода:

$$E_a = \frac{E}{k} = \frac{E m_a}{1 \text{ кг}} = 2,008269 \cdot 10^{-20} \text{ Дж} \quad (0,1253463 \text{ Эв})$$

Для получения порядкового номера уровня энергии применим следующее уравнение, взятое из 1-21:

$$E_a = e_\gamma \frac{n(n+1)}{2}$$

После решения этого уравнения, где $E \approx 12$ МДж, $e_\gamma = 0,001448868$ Эв, получим:

$$n = 13$$

Этому порядковому номеру, согласно 1-21, соответствует уровень энергии атома: $E_{-13} = -13,73754$ Эв (1-24)

Определим по формуле 1-23 радиус орбиты электрона для 13-го уровня энергии. В результате получим: $r_{-13} = 5,240984 \cdot 10^{-11}$ м (1-25)

В процессе сжижения водорода атомы излучают тепловую энергию в виде множества фотонов. Отсюда следует, что атомы водорода должны терять свою массу согласно формуле:

$$\Delta m = \frac{E}{c^2}, \text{ где } \Delta m - \text{дефект массы, } E - \text{излучаемая энергия.}$$

Для отдельно взятого атома водорода дефект массы в результате излучения тепловой энергии определяется по формуле:

$$\Delta m = \frac{E_1 - E_n}{c^2}$$

E_1 и E_n – уровни энергии, где $E_1 = -13,605693$ Эв.

Например, при сжатии орбиты электрона до 13-го уровня (граница, где происходит сжижение водорода) дефект массы атома водорода в результате излучения фотонов составит:

$$\Delta m = \frac{E_1 - E_{13}}{c^2} = 2,35 \cdot 10^{-36} \text{ кг. Это очень малая величина.}$$

Потеря массы в результате теплового излучения должна распространяться на весь атом водорода, а не только один электрон. Поэтому если дефект массы при сжижении водорода распределяется между

электроном и протоном пропорционально отношению их масс (1: 1836), то уменьшение массы электрона в атоме водорода будет абсолютно ничтожным:

$$\Delta m = \frac{E_1 - E_{13}}{c^2} \frac{1}{1836} = 1,28 \cdot 10^{-39} \text{ кг}$$

В контексте вышеизложенного необходимо отметить, что **некоторые выводы специальной теории относительности (СТО), которые действуют в макром мире, не действуют в квантовых процессах, происходящих в атоме.** Это касается релятивистского увеличения массы, которое происходит при увеличении скорости тела в результате ускорения. Этот вывод СТО нельзя распространять на движение электрона в атоме. Дело в том, что в процессе сжижения водорода переход электрона на нижестоящую орбиту происходит **скачкообразно**, в результате чего электрон **мгновенно** (то есть без ускорения) увеличивает свою скорость. При этом, как показало исследование, **при сжижении водорода масса электрона не возрастает, а, наоборот, даже уменьшается при переходе на нижестоящую орбиту**, вследствие излучения атомом водорода энергии в виде фотонов.

3. Результаты

В этом исследовании было определено количество скрытых уровней энергии атома водорода, которое составило **18779** уровней (1-13). Был получен порядок квантования энергии на скрытых уровнях энергии, который выглядит следующим образом: **1,2,3,4,5,6,7,8...18779** (1-14). Отметим, что этот порядок внешне идентичен главным квантовым числам из квантовой механики.

В исследовании была определена энергия фотонов, которые в процессе сжижения водорода принудительно испускаются атомами водорода. Энергия фотона составила **0,0014489** Эв (1-19). Длина волны этого фотона равна **855,7** мкм (1-20) и поэтому относится к **крайней области дальнего инфракрасного диапазона электромагнитных волн** ($1,4 \div 1000$ мкм). Отметим, что тепловизоры для приборов ночного видения чувствительны в диапазоне 8-15 мкм, где энергия фотонов составляет 0,15-0,08 Эв. Как видим, отличие между 0,08 Эв и 0,0014489 Эв очень значительное (в 55 раз). Поэтому такие слабые фотоны $e_\gamma = 0,0014489$ Эв можно зарегистрировать только при соблюдении следующих условий: 1) С помощью специальных детекторов (болометров), которые очень чувствительны к нагреву инфракрасным излучением, 2) При полном отсутствии помех в виде сторонних источников тепловой энергии и сторонних поглотителей теплового излучения. Этим условиям могут отвечать только высокочувствительные инфракрасные телескопы на орбите Земли.

В марте 1995 года Япония запустила 15-сантиметровый инфракрасный телескоп IRTS, который впервые смог засечь космические фотоны с длиной волны ≥ 700 мкм (энергия зарегистрированного фотона $\leq 0,0017712$ Эв). Это результат астрономических наблюдений полностью совпадает с полученными в исследовании параметрами фотона: $\lambda_\gamma = 855,7$ мкм, $e_\gamma = 0,0014489$ Эв. Учитывая наибольшую распространённость водорода во Вселенной, можно сделать вывод, что зарегистрированные японским телескопом фотоны были излучены в процессе образования жидкого водорода в космосе. (Попутно отметим высокую точность японского инфракрасного телескопа, где допустимое отклонение составило 18%).

Совпадение результата исследования и результата астрономических наблюдений является **прямым подтверждением** существования скрытых уровней в атоме водорода и действия формул 1-9, 1-11, 1-14, на которых базируется это исследование.

Как известно, газообразный водород не поглощает инфракрасное излучение, то есть справа от E_1 (рис.1) отсутствуют такие уровни энергии, где при переходе электрона с нижнего уровня на верхний уровень ($\Delta E = E_k - E_n$, $\Delta E = h\nu$) могут поглощаться фотоны инфракрасного диапазона. Но в то же время жидкий водород поглощает тепловую энергию, в результате чего превращается в газ. Это может служить **дополнительным подтверждением**, что кроме классических уровней энергии (правая часть рисунка 1) в атоме водорода существуют скрытые уровни энергии (левая часть рисунка 1).

Необходимо заметить, что все газообразные одноатомные газы (а также двухатомные: O_2 , N_2 , H_2 , Cl_2) не поглощают инфракрасное излучение. Но в то же время в жидком состоянии эти газы поглощают тепловую энергию, в результате чего приобретают газообразное состояние. Отсюда можно сделать вывод, что **атомы таких газов тоже имеют скрытые уровни энергии, вследствие чего в процессе сжижения могут испускать фотоны инфракрасного диапазона.**

В этом исследовании был определён уровень энергии атомов водорода, когда водород переходит из газообразного состояния в жидкое состояние: $-13,73754$ Эв (1-24). (Этому уровню энергии соответствуют следующие параметры жидкого водорода: температура $-252,9$ °C, объёмная плотность $70,9$ кг/м³).

Радиус орбиты электрона для этого уровня энергии составляет $5,240984 \cdot 10^{-11}$ м (1-25). Если сравнить этот радиус с Боровским радиусом орбиты электрона $5,29177210544 \cdot 10^{-11}$ м, то расхождение составит: 0,96 %.

Отметим, что только 13 уровней из 18779 уровней энергии участвуют в процессе сжижения водорода. Остальные 18766 уровней энергии остаются в атоме водорода в скрытом состоянии.

Также из результатов проведённого исследования следует, что некоторые выводы СТО, которые действуют в макромире, не действуют в квантовых процессах, происходящих в атоме (см. 2 раздел).