

**Электромагнитная волна, излучение фотона и  
релятивистский эффект в атоме водорода. Результаты  
исследования.**

**Автор Андрей Чернов**

E mail: [and8591@gmail.com](mailto:and8591@gmail.com)

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

**Содержание**

1. Аннотация – 2-3 стр.
2. Методы – 3-10 стр.
3. Результаты – 10-12 стр.

## 1. Аннотация.

Исследование базируется на положении, что в атоме водорода присутствует электромагнитная волна. Эта волна, поочередно отражаясь от протона и движущегося по орбите электрона, распространяется по кругу в пределах стационарной орбиты электрона. **Распространение в атоме электромагнитной волны происходит синхронно с обращением электрона.** Синхронность заключается в том, что после целого количества обращений электрона вокруг протона электромагнитная волна снова встречается с электроном. По этой причине внутриатомная электромагнитная волна, подобно стоячим электромагнитным волнам, не излучается в пространстве, а остаётся внутри атома водорода.

В процессе исследования была получена формула 2-10. В этой формуле для учёта релятивистского эффекта, связанного со скоростью движения электрона, был применен фактор Лоренца. В результате было определено целое количество  $k = 861$  (2-14) проходов электромагнитной волны между протоном и электроном в течение периода обращения электрона. **Получение целого значения  $k$  через формулу, в которой есть скорость распространения света, можно рассматривать как подтверждение, что в атоме водорода присутствует электромагнитная волна.**

Получение целого значения  $k = 861$  позволило применить математические методы, базирующиеся на свойствах чётных (нечётных) чисел, в отношении синхронности распространения внутриатомной электромагнитной волны. В результате был определен период электромагнитной волны в пределах первой стационарной орбиты электрона  $T_w = 3,03966 \cdot 10^{-16} \text{с}$  (2-17). На основе значения  $T_w$  были определены частота  $\nu = 3,289842 \cdot 10^{15} \text{с}^{-1}$  (2-18), длина  $\lambda = 9,112671 \cdot 10^{-8} \text{м}$  (2-20) и энергия  $e = -13,605693 \text{эВ}$  (2-22) электромагнитной волны. **Результат  $e = -13,6 \text{эВ}$  совпал с значением первого уровня энергии  $E = -13,6 \text{эВ}$  атома водорода. Это совпадение необходимо рассматривать, как доказательство присутствия электромагнитной волны в атоме водорода.**

В исследовании были определены параметры электромагнитной волны в пределах других стационарных орбит. После этого был проведён анализ полученных результатов. Проведённый анализ позволил получить новые физические формулы 2-30, 2-31. Основу этих формул составляет частота внутриатомной электромагнитной волны. **Вследствие того, что эти формулы точно отражают нормальное и возбуждённое состояния атома был сделан вывод о присутствии электромагнитной волны в атоме водорода.**

**Ключевые слова.** Электромагнитная волна, релятивистский фактор Лоренца, стационарная орбита, нормальное и возбуждённое состояние атома, фотон, уровни энергии атома, электрон.

## **2. Методы.**

**2.1.** Согласно законам классической электродинамики, вращающийся по орбите электрон, представляет собой высокочастотный переменный ток, который порождает переменное магнитное поле. Следовательно, **должна возникнуть электромагнитная волна, которая будет уносить энергию из атома.** В результате электрон должен непрерывно уменьшать свою орбиту и в конечном счете упасть на ядро. При этом спектр излучения должен быть не дискретным, а сплошным, что на практике не наблюдается. Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний) разрешил это противоречие.

Это исследование базируется на том, что в атоме водорода присутствует (как устанавливает классическая электродинамика, см. выше) электромагнитная волна. Но у этой волны есть отличительная особенность. **Эта электромагнитная волна, поочерёдно отражаясь от протона и движущегося по орбите электрона, распространяется внутри атома и поэтому не переносит энергию в пространстве.** (Здесь прямая аналогия с чистой стоячей электромагнитной волной, которая тоже не переносит энергию в пространстве). При этом образуется виртуальный фронт внутриатомной электромагнитной волны, ширина которого равна радиусу орбиты электрона. Этот фронт движется с угловой скоростью, которая равна угловой скорости электрона:

$$\omega_w = \omega_e \quad (2-1)$$

На рисунке 1 схематично показаны физические процессы, которые происходят при движении электрона со скоростью  $v$  на первой стационарной орбите атома водорода. Когда электрон находится в положении 1, электромагнитная волна отправляется к протону. Когда электромагнитная волна достигает протона, она отражается от него и отправляется обратно к электрону. Когда электрон находится в положении 2, электромагнитная волна снова встречается с электроном. Таким образом этот процесс продолжается дальше по кругу.

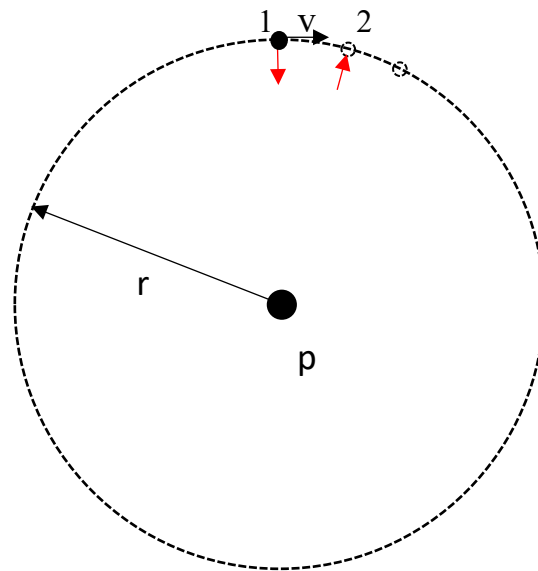


Рис.1

Период обращения электрона на первой стационарной орбите атома водорода определяется по формуле:

$$T_e = \frac{2\pi r}{v} \quad (2-3)$$

где  $v$  - скорость движения электрона на первой стационарной орбите, м/с,  $r$  – радиус первой стационарной орбиты, м.

Определим значения  $v$  и  $r$  через следующие формулы квантовой механики:

$$v = \sqrt{\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m r}} \quad (2-4), \quad r = n^2 \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \quad (2-5)$$

С учётом значений  $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34}$  Дж·с,  $e = 1,602176634 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $\epsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12}$  Ф·м,  $m = 9,109383702 \cdot 10^{-31}$  кг получим значения  $r$  и  $v$  для первой стационарной орбиты:  $r = 5,291772113 \cdot 10^{-11}$  м,  $v = 2,187691262 \cdot 10^6$  м/с.

Подставим значения  $v$  и  $r$  в формулу 2-3. В результате получим:

$$T_e = 1,51983 \cdot 10^{-16} \text{ с} \quad (2-6)$$

**На первой стационарной орбите между распространением внутриатомной электромагнитной волны и обращением электрона вокруг протона существует синхронность. Синхронность заключается в том, что после целого количества обращений электрона вокруг протона электромагнитная волна снова встречается с электроном (точка 1, рис.1). Это является полным циклом внутриатомной электромагнитной волны, которому соответствует период времени  $T_w$ . Из вышеизложенного следует:**

$$T_w = nT_e \quad (2-7)$$

За этот период времени  $T_w$  внутриатомная электромагнитная волна должна совершить целое количество проходов  $k$  между движущимся по орбите электроном и находящимся в центре атома протоном. (Напомним, что первая стационарная орбита в атоме водорода – это окружность. Поэтому если  $k$  не будет целым числом, то электромагнитная волна и электрон не смогут снова встретиться в точке 1, а это противоречит синхронности распространения электромагнитной волны, см. выше).

$$k = \frac{c \cdot T_w}{r} \quad k - \text{целое число.} \quad (2-8)$$

Определим значение  $k$ , исходя из условия, что  $T_w = T_e$  ( $n=1$ ). Для этого подставим в формулу 2-8 значение  $T_e$  (2-6),  $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  и  $v = 2,187691262 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ . В результате получим:

$$k = 861,022576 \quad (2-9)$$

Для  $k$  (2-9) ближайшим целым значением является  $k = 861$ . Расхождение между  $k$  (2-9) и  $k = 861$  составляет  $\Delta = 0,022576$ .

Это сравнительно малое расхождение вплотную приблизится к нулю, если будет учтен релятивистский эффект, связанный со скоростью электрона на орбите. Объясняется это тем, что согласно СТО, скорость движения электрона влияет на продолжительность времени обращения электрона вокруг протона. **В связи с этим в формулу 2-8, где присутствует период  $T_e$  времени обращения электрона, необходимо ввести фактор Лоренца  $\gamma$ .** В этом случае будет учтён релятивистский эффект замедления времени, и значение  $k$  изменится:

$$k = \frac{c \cdot T_e \gamma^{-1}}{r} \quad k - \text{целое число.} \quad (2-10)$$

Раскроем значение  $T_e = \frac{2\pi r}{v}$  (2-3) и после сокращения в числителе и знаменателе значения  $r$  получим формулу:

$$k = \frac{2\pi c}{v} \gamma^{-1} \quad k - \text{целое число.} \quad (2-11)$$

С учётом значений  $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  и  $v = 2,187691262 \cdot 10^6 \text{ м/с}$  фактор Лоренца составит:  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1,00002662674$  (2-12)

Подставим значение  $\gamma$  в формулу 2-11. В результате получим:

$$k = 860,999651 \quad (2-13)$$

Теперь с учётом релятивистского фактора Лоренца отклонение значения  $k$  (2-13) от целого значения  $k = 861$  составляет  $\Delta = 0,000349$ .

С учётом того, что в формуле 2-11 число  $\pi$  является трансцендентным числом, а значение скорости света и других физических величин, входящих в значение  $v$  (2-4) могут иметь погрешности измерений, то получить целое число  $k$  совсем без отклонений невозможно. Поэтому принимая во внимание ничтожно малую величину отклонения ( $\Delta = 0,000349$  или  $0,035\%$ ) от целого числа, можно сделать вывод, что  $k = 861$  (2-14)

**Получение целого значения  $k = 861$  через формулу 2-10, в которой есть скорость распространения света, может служить подтверждением, что в атоме водорода присутствует электромагнитная волна.**

Проведём математический анализ полученного результата  $k = 861$ . Для этого рассмотрим рисунок 2. На этом рисунке электрон совершил **одно обращение** вокруг протона и снова оказался в точке начала отсчёта движения электрона (точка 1). При этом электромагнитная волна, стартовав из точки 1, совершила **861** проход между протоном и движущимся по орбите электроном. Отметим, что число **861** является **нечётным** числом.

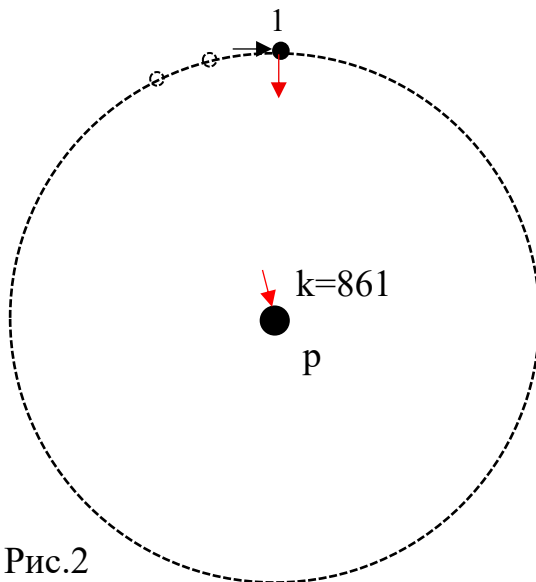


Рис.2

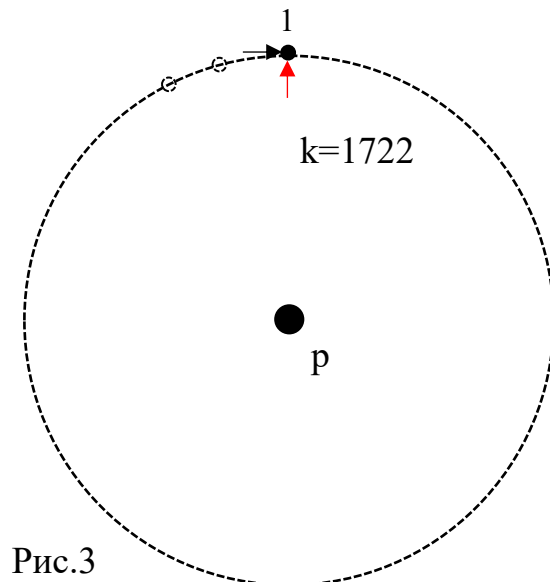


Рис.3

**Исходя из свойств целых чисел, нечётное число  $k$  свидетельствует о том, что электромагнитная волна после одного обращения электрона не вернулась к электрону (точка 1), а встретилась с протоном в центре атома. Это не может являться полным циклом внутриатомной электромагнитной**

волны (см. стр. 4). Поэтому на рисунке 2 мы имеем **неполный цикл** внутриатомной электромагнитной волны (**1/2** цикла).

Теперь рассмотрим рисунок 3. На этом рисунке показан момент, когда электрон совершил **второе обращение** вокруг протона. При этом общее количество проходов электромагнитной волны между протоном и электроном **удвоилось** и составило **чётное** значение:  **$k = 1722$**  (2-15)

**Исходя из свойств целых чисел**, чётное число  $k$  свидетельствует о том, что после двух обращений электрона вокруг протона, электромагнитная волна и электрон снова встретились (точка 1). Поэтому на рисунке 3, где электрон совершил **два** обращения вокруг протона ( **$n=2$** ), наблюдается **полный цикл** внутриатомной электромагнитной волны (см. стр.4).

Перейдём к определению параметров внутриатомной электромагнитной волны. Из вышеизложенного следует, что в пределах первой стационарной орбиты период электромагнитной волны равен двум периодам обращения электрона:

$$T_w = 2 T_e \quad (2-16)$$

Для определения значения  $T_w$  подставим в эту формулу значение  $T_e$  (2-6). В результате получим:

$$T_w = 3,03966 \cdot 10^{-16} \text{с} \quad (2-17)$$

Определим через формулу  $\nu = 1/T_w$  частоту внутриатомной электромагнитной волны, которая распространяется в пределах первой стационарной орбиты:

$$\nu = 3,289842 \cdot 10^{15} \text{с}^{-1} \quad (2-18)$$

Длина электромагнитной волны определяется по формуле:

$$\lambda = c \cdot T_w \quad (2-19)$$

Подставим в эту формулу значения  $T_w$  и  $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{м/с}$ . В результате получим длину электромагнитной волны в пределах первой стационарной орбиты:

$$\lambda = 9,112671 \cdot 10^{-8} \text{м} \quad (2-20)$$

Применим формулу  $E = h\nu$  (где  $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{Дж} \cdot \text{с}$ ) и получим значение энергии электромагнитной волны в пределах первой стационарной орбиты:

$$e = 21,798723 \cdot 10^{-19} \text{Дж} \text{ или } e = 13,605693 \text{эВ} \quad (2-21)$$

Отметим, что эта электромагнитная волна распространяется внутри атома водорода. Поэтому энергию закрытой в атоме электромагнитной волны следует отнести к **потенциальной энергии**. Вследствие этого значение энергии электромагнитной волны будет иметь **отрицательное** значение:

$$e = -13,605693 \text{ эВ} \quad (2-22)$$

Как видим, **энергия внутриатомной электромагнитной волны оказалась равна первому уровню энергии атома водорода:  $E = -13,6 \text{ эВ}$ .**

Отметим, что в этом исследовании значение энергии  $e = -13,6 \text{ эВ}$  было получено через условие присутствия электромагнитной волны в атоме водорода, поэтому совпадение значений двух энергий не может быть случайным. **Вследствие вышеизложенного полученный результат 2-22 следует отнести к прямому доказательству присутствия электромагнитной волны в атоме водорода.**

Равенство  $E$  и  $e$  объясняется тем, что **это разные названия одной энергии**. Это равенство распространяется на все стационарные орбиты:

$$E_n = e_n \quad (2-23)$$

На основании равенства 2-23 и формулы  $E = \frac{1}{n^2} E_1$  напомним значения энергии  $e_n$  внутриатомной электромагнитной волны для стационарных орбит:  $-13,605693 \text{ эВ}$ ,  $-3,401423 \text{ эВ}$ ,  $-1,511744 \text{ эВ}$ ,  $-0,850356 \text{ эВ}$ ,  $-0,544228 \text{ эВ} \dots$  (2-24)

Частота внутриатомной электромагнитной волны для стационарных орбит электрона определяется по формуле  $\nu = \frac{1}{n^2} \nu_1$ . В результате получим:

$$\nu_1 = 3,289842 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}, \nu_2 = 8,224605 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}, \nu_3 = 3,65538 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1} \\ \nu_4 = 2,056151 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}, \nu_5 = 1,315937 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1} \dots \quad (2-25)$$

Длина внутриатомной электромагнитной волны для стационарных орбит электрона определяется по формуле  $\lambda = n^2 \lambda_1$ . В результате получим:

$$\lambda_1 = 9,112671 \cdot 10^{-8} \text{ м}, \lambda_2 = 3,645068 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \lambda_3 = 8,201404 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \\ \lambda_4 = 1,458027 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \lambda_5 = 2,278168 \cdot 10^{-6} \text{ м} \dots \quad (2-26)$$

Для целей предстоящего анализа определим частоту обращения электрона вокруг протона. Частота обращения электрона определяется по формуле:  $\nu_e = \frac{v}{2\pi r}$  (2-27)

Подставим в эту формулу  $v$  (2-4) и  $r$  (2-5). В результате получим

$$\text{следующую формулу: } \nu_e = \frac{1}{n^3} \frac{m e^4}{4h^3 \epsilon_0^2} \quad (2-28)$$

Определим по этой формуле частоту  $\nu_e$  обращения электрона на стационарных орбитах:  $\nu_{e1} = 6,579684 \cdot 10^{15} \text{с}^{-1}$ ,  $\nu_{e2} = 8,224605 \cdot 10^{14} \text{с}^{-1}$ ,  $\nu_{e3} = 2,43692 \cdot 10^{14} \text{с}^{-1}$ ,  $\nu_{e4} = 1,028076 \cdot 10^{14} \text{с}^{-1}$ ,  $\nu_{e5} = 5,263747 \cdot 10^{13} \text{с}^{-1}$  (2-29)

Занесём полученные значения частоты  $\nu$  внутриатомной электромагнитной волны и частоты  $\nu_e$  обращения электрона в таблицу.

Табл. 1

Орбита электрона	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5
Частота $\nu$ электромагнитной волны, $\text{с}^{-1}$	$3,289842 \cdot 10^{15}$	$8,224605 \cdot 10^{14}$	$3,65538 \cdot 10^{14}$	$2,056151 \cdot 10^{14}$	$1,315937 \cdot 10^{14}$
Частота $\nu_e$ обращения электрона, $\text{с}^{-1}$	$6,579684 \cdot 10^{15}$	$8,224605 \cdot 10^{14}$	$2,43692 \cdot 10^{14}$	$1,028076 \cdot 10^{14}$	$5,263747 \cdot 10^{13}$

Рассмотрим первую колонку этой таблицы, где  $n=1$ . Электрон находится на первой стационарной орбите, следовательно атом находится в нормальном (основном) состоянии. Этому состоянию атома соответствует следующая формула:

$$\nu_e > \nu \quad (2-30)$$

Как видим, для первой стационарной орбиты частота обращения электрона **в 2 раза больше** частоты внутриатомной электромагнитной волны. Можно предположить, что по причине этой **существенной разницы** электромагнитная волна остаётся постоянно запертой внутри атома, вследствие чего атом **не может излучать** энергию в виде фотона. Таким образом, формула 2-30 отражает **невозможность атома водорода излучать фотон, когда электрон находится на первой стационарной орбите** ( $n=1$ ,  $r = 5,291772113 \cdot 10^{-11} \text{м}$ ). Это полностью соответствует известному из квантовой механики **нормальному (основному) состоянию** атома водорода, находясь в котором **атом не может самопроизвольно излучать фотон**. Это состояние атома является **стабильным**.

Если провести дальнейший анализ таблицы, то для стационарных орбит  $n=2,3,4,5\dots$  получим следующий результат:

$$\nu_e \leq \nu \quad (2-31)$$

Как видим, знак неравенства между  $\nu_e$  и  $\nu$  изменился **на противоположный**. При этом начиная со второй стационарной орбиты, разница между частотой электромагнитной волны и частотой обращения

электрона постоянно возрастает (это объясняется множителями  $\frac{1}{n^2}$  и  $\frac{1}{n^3}$  в формулах 2-25 и 2-28). Отсюда можно предположить, что вторая стационарная орбита является рубежом, где изменяется состояние атома. И действительно, начиная со второй стационарной орбиты ( $n = 2,3,4,5\dots$ ), состояние атома водорода переходит из нормального состояния в **возбуждённое** состояние. Это состояние атома является **нестабильным**, и через короткий промежуток времени происходит **самопроизвольное излучение** избыточной энергии в виде фотона.

**Как видим, формулы 2-30, 2-31, в которых присутствует частота электромагнитной волны, точно отражают нормальное и возбуждённое состояния атома водорода.**

### **3.Результаты.**

Все полученные в этом исследовании результаты базируются на синхронности распространения электромагнитной волны и обращения электрона в атоме водорода (см. второй раздел статьи).

В процессе исследования была получена новая физическая формула 2-10, которая учитывает синхронность распространения электромагнитной волны в атоме водорода. В этой формуле присутствует фактор Лоренца для учёта релятивистского эффекта, связанного со скоростью движения электрона в атоме. В результате по формуле 2-10 было определено, как и предполагалось (см. стр. 5), целое количество  $k = 861$  (2-14) проходов электромагнитной волны между протоном и электроном в течение периода обращения электрона. (Отклонение от целого числа 861 составило ничтожно малую величину  $\Delta = 0,000349$ , что не выходит за пределы допустимой погрешности).

**Получение целого значения  $k = 861$  через формулу 2-10, в которой есть скорость распространения света, может служить подтверждением, что в атоме водорода присутствует электромагнитная волна.**

Целое значение  $k = 861$  позволило применить в этом исследовании математические методы, базирующиеся на свойствах чётных (нечётных) чисел, для определения параметров электромагнитной волны. В результате проведённого математического анализа (см. стр. 6-7) был определен период распространения электромагнитной волны в пределах первой стационарной орбиты электрона:  $T_w = 3,03966 \cdot 10^{-16} \text{ с}$  (2-17). На основе значения  $T_w$  были определены частота  $\nu = 3,289842 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  (2-18), длина  $\lambda = 9,112671 \cdot 10^{-8} \text{ м}$  (2-20) и энергия  $e = -13,605693 \text{ эВ}$  (2-22) электромагнитной волны.

Как видим, энергия  $e = -13,6 \text{ эВ}$  электромагнитной волны в пределах первой стационарной орбиты оказалась равна первому уровню энергии атома

водорода  $E = -13,6$  эВ. Значение энергии  $e = -13,6$  эВ было получено через условие присутствия электромагнитной волны в атоме водорода, поэтому совпадение значений двух энергий не может быть случайным.

**Вследствие равенства  $E$  и  $e$ , результат  $e = -13,6$  эВ (2-22) следует отнести к доказательству присутствия электромагнитной волны в атоме водорода.**

**Отметим, что равенство  $E$  и  $e$  можно объяснить тем, что это разные названия одной энергии.** Это равенство распространяется на все стационарные орбиты в атоме водорода (2-23).

В исследовании были определены параметры электромагнитной волны в пределах других стационарных орбит атома водорода: энергия (2-24), частота (2-25), длина (2-26). Полученные значения частоты волны (2-25) были занесены в таблицу 1. Также в таблицу были занесены значения частоты обращения электрона на стационарных орбитах, которые определялись по формуле 2-28. Сравнительный анализ внесённых в таблицу результатов позволил получить формулы 2-30, 2-31 и сделать следующие выводы:

**1. Формула 2-30.** Когда электрон находится на первой стационарной орбите  $n = 1$ , то атом водорода находится в **нормальном (основном) состоянии**. Теперь отметим, что согласно первой колонке таблицы 1,  $v_e > v$  **в 2 раза**. Отсюда можно предположить, что когда частота обращения электрона **значительно превышает** частоту электромагнитной волны, то электромагнитная волна не может выйти за пределы орбиты электрона и поэтому **не может быть излучения фотона**. Этот вывод полностью совпадает с нормальным состоянием атома водорода, где **самопроизвольное излучение атомом фотона невозможно**.

**2. Формула 2-31.** Как известно из квантовой механики, когда электрон переходит на вторую орбиту, то атом переходит из нормального состояния в **возбуждённое состояние**. Теперь обратимся к таблице 1 и отметим, что, **начиная со второй орбиты  $n = 2$** , знак неравенства сменился на противоположный:  $v_e \leq v$  (2-31). Отсюда можно предположить, что когда частота электромагнитной волны становится больше частоты обращения электрона, то электромагнитная волна способна выйти за пределы стационарной орбиты электрона в виде излучения фотона. Это полностью совпадает с возбуждённым состоянием атома, где на стационарных орбитах  $n = 2,3,4,5\dots$ , происходит **самопроизвольное излучение** избыточной энергии в виде фотона.

**Учитывая наличие в формулах 2-30, 2-31 частоты волны  $\nu$ , можно сделать вывод о подтверждении присутствия электромагнитной волны в атоме водорода.**