Якубовский Евгений Георгиевич

инженер

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

г. Санкт-Петербург

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ВРЕМЕНИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

***Аннотация**: существует поправка к значению линий тока орбиты небесного тела или электрона в атоме при переходе от описания с помощью специальной теории относительности СТО к общей теории относительности ОТО, она приводит к переходу от конечного эксцентриситета к почти нулевому эксцентриситету. В случае многоэлектронного атома это переход от мнимого эксцентриситета к бесконечно малому мнимому эксцентриситету. Таким образом образуются круговые орбиты в многоэлектронном атоме с точностью до малого эксцентриситета. Существует формула, описывающая энергию и импульс элементарных взаимодействующих частиц. Но она требует знания магнитного момента взаимодействия электронов между собой и соответствует начальному времени существования атома, когда эксцентриситет является мнимым, и орбита с мнимым эллиптическим эксцентриситетом и волновыми функциями, зависящими между собой. Но такая волновая функция существует недолго, через малый момент времени для электрона и большое время для небесных тел образуется почти круговая орбита, которую и описывает стандартная квантовая механика. Но решение при этом является действительным несмотря на мнимость эксцентриситета и устанавливается постоянный бесконечно малый мнимый эксцентриситет.*

***Ключевые слова**: собственная энергия атома, мнимый эксцентриситет.*

Оценим влияние эффектов ОТО на эксцентриситет и радиус орбиты p. Уравнение по определению орбиты менее массивного чем Солнца тела имеет вид

$$\varphi(r)\text{-}\varphi(r_{min}) = \int_{r_{min}}^{r} \frac{M}{r^2}\left[\frac{E_0^2}{c^2}\text{-}\left(m^2c^2+\frac{M^2}{r^2}\right)\left(1\text{-}\frac{r_g}{r}\right)\right]^{0.5} dr = $$

$$=$$

$$= \int_{r_{min}}^{r} \frac{M}{r^2}\left[2m(E\text{-}U)\text{-}\frac{M^2}{r^2}\left(1\text{-}\frac{r_g}{p}\right)\right]^{0.5} dr\,; U = \text{-}\frac{\alpha}{r}$$

Получилась почти не релятивистская формула с поправкой $\left(1\text{-}\frac{r_g}{p}\right)$. Решение этого уравнения приводит к эллиптическим орбитам, значение эксцентриситета и радиуса p которых я и приведу

$$p = \frac{M^2\left(1\text{-}\frac{r_g}{p}\right)}{m\alpha}; e = \sqrt{1 + \frac{2EM^2\left(1\text{-}\frac{r_g}{p}(1 + e cos\varphi)\right)}{m\alpha^2}}$$

Получается, что эксцентриситет – это функция угла φ

$$e^2 + \frac{2EM^2\frac{r_g}{p}cos\varphi}{m\alpha^2}e\text{-}1\text{-}\frac{2EM^2\left(1\text{-}\frac{r_g}{p}\right)}{m\alpha^2} = 0$$

$$e = \text{-}\frac{EM^2\frac{r_g}{p}cos\varphi}{m\alpha^2} \pm \sqrt{\left(\frac{EM^2\frac{r_g}{p}cos\varphi}{m\alpha^2}\right)^2 + 1 + \frac{2EM^2\left(1\text{-}\frac{r_g}{p}\right)}{m\alpha^2}}$$

Данная формула приближенная, но наводит на размышления о постоянстве значения эксцентриситета. Конечно, скачек на отрицательный эксцентриситет явление невероятное, но кто его знает, что происходит. Но факт установлен, эксцентриситет планет не является константой. Причем при положительном знаке квадратного корня эксцентриситет растет с каждым годом на величину $\frac{de}{dt} = e + \pi\left((1\text{-}e^2)\frac{r_g}{2p}\right)^2$/e, где время меняется в годах, причем среднее от косинуса равно нулю за один год.

$$\frac{dx}{2dt} = 1\text{-}\frac{1}{4\alpha} + \frac{1}{4\alpha} + (1\text{-}x) + \alpha(1\text{-}x)^2 = \text{-}\beta^2 + \alpha(\gamma\text{-}x)^2$$

$$ln\frac{\sqrt{\alpha}(\gamma\text{-}x) + \beta}{\sqrt{\alpha}(\gamma\text{-}x)\text{-}\beta} = \text{-}\frac{t\sqrt{\alpha}}{2\beta} = \text{-}t\left(\frac{r_g}{2p}\right)^2\sqrt{\pi}; x = 1\text{-}e^2 = \text{-}1 + \frac{1}{2\alpha}\text{-}\frac{\beta}{\sqrt{\alpha}} =$$

$$= \text{-}1 + \frac{1}{2\alpha}\text{-}\frac{1}{2\alpha}(1-4\alpha)^{0.5} = \alpha; e = \sqrt{\pi}\frac{r_g}{p}$$

$$x = e^2; \alpha = \pi\left(\frac{r_g}{2p}\right)^2;\ \beta^2 = \frac{1}{4\alpha}\text{-}1; \gamma = \text{-}1 + \frac{1}{2\alpha}$$

Эксцентриситет стремится к нулю, и становится бесконечно малым на бесконечности времени, т.е. асимптотика эксцентриситета почти круговая орбита. Произойдет это через $\frac{ct}{p} = \left(\frac{2p}{r_g}\right)^2 /\pi$ безразмерного времени.

$$E_{n,l}(0) = -\frac{m\alpha^2}{2\hbar^2\left(1+\frac{137m^2}{m_{Pl}^2}\right)n^2}; E_{n,l}(t) = -\frac{[1-e^2(t)]m\alpha^2}{2\hbar^2\left(1+\frac{137m^2}{m_{Pl}^2}\right)l(l+1)};$$

$$\alpha = MmG$$

Начальное значение эксцентриситета действительное и равняется $e(0) = \sqrt{1-\frac{l(l+1)}{n^2}}$; окончательное значение эксцентриситета при приближенном решении ОТО равняется $e\left[\frac{p}{c}\left(\frac{2p}{r_g}\right)^2\right] = \sqrt{\pi}\frac{r_g}{2p}$. Квантовая динамика для гравитационного поля не создана и приближенный результат ОТО не с чем сравнивать.

Причем в микромире эксцентриситет растет с каждой долей секунды на величину $\frac{de}{dt} = e + \pi\left((e^2-1)\frac{r_e}{2a_0}\right)^2$/e, где время меняется в долях секунды.

$$\frac{dx}{2dt} = 1-\frac{1}{4\alpha} + \frac{1}{4\alpha} + (x-1) + \alpha(x-1)^2 = -\beta^2 + \alpha(x-\gamma)^2$$

$$ln\frac{\sqrt{\alpha}(x-\gamma)-\beta}{\sqrt{\alpha}(x-\gamma)+\beta} = \frac{t\sqrt{\alpha}}{2\beta} = t\left(\frac{r_e}{2a_0}\right)^2\sqrt{\pi}; x = e^2 = 1-\frac{1}{2\alpha} + \frac{\beta}{\sqrt{\alpha}} =$$

$$= 1-\frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{2\alpha}(1-4\alpha)^{0.5} = -\alpha; e = i\sqrt{\pi}\frac{r_e}{2a_0} = \frac{i\sqrt{\pi}}{2\cdot 137.036^2}$$

$$x = e^2; \alpha = \pi\left(\frac{r_e}{2a_0}\right)^2; \ \beta^2 = \frac{1}{4\alpha}-1; \gamma = 1-\frac{1}{2\alpha}$$

В случае орбиты электронов в атоме имеем сначала мнимый эксцентриситет $e = \sqrt{1-\frac{Z^2l(l+1)}{n^2}}$. Мнимый эксцентриситет у водородоподобных атомов стремится к нулю, и является бесконечно малым и мнимым на бесконечности времени. Время образования почти круговой орбиты $\frac{ct}{a_0} = \left(\frac{2a_0}{r_e}\right)^2/\pi = (2\cdot 137.036)^2/\pi$.

Но до момента ионизации с существовало другое, квантовое, орбитальное число и энергия атома была отрицательная с мнимым эксцентриситетом.

Но это состояние продлилось не долго и образовался атом с круговой орбитой и мнимым, малым эксцентриситетом, который и описывается вычисленной в [1] волновой функцией и собственной энергией.

$$E_{nZ}(t) = \frac{[e^2(t)\text{-}1]\left[\frac{Z^3}{2n^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}1)J(J+1)\pi^2}{16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\right]}{2Z\text{-}1}\frac{m_e c^2}{137.036^2}; j = j_o; J = j_o + \frac{1}{2}$$

Формула для энергии многоэлектронного атома выводится ниже по тексту. Начальный и окончательный эксцентриситет определяется по формуле $e(0) = i\sqrt{\frac{Z^2 l(l+1)}{n^2}\text{-}1}; n = l + n_r + 1; e\left[\frac{(2\cdot 137.036)^2}{\pi}\right] = i\frac{(Z\alpha)^2}{n}\left(\frac{1}{n\text{-}n_r}\text{-}\frac{3}{4n}\right) = i\sqrt{\pi}\frac{r_e}{2a_0} = \sqrt{\pi}\frac{(Z\alpha)^2}{2n^2}$; Произошла не стыковка формул ОТО и квантовой механики, вернее приближенного метода решения уравнения ОТО с точным результатом квантовой механики $\frac{1}{1\text{-}n_r/n}\text{-}\frac{3}{4} = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$. И то, и другое решение является релятивистской поправкой действительной для гравитации и мнимой для электричества.

Эксцентриситет для водородоподобного многоэлектронного атома является мнимым $e = \sqrt{1\text{-}\frac{2EM^2}{m\alpha^2}} = \sqrt{1\text{-}\frac{Z^2 l(l+1)}{n^2}}$. Но я пользуюсь обратными функциями, в частности действительными волновыми функциями, и для них эти формулы выглядят таким образом. Умножаю формулу (1) на величину ψ_{kn} и суммирую по индексу состояния n, получаю

$$p_{kn}\psi_{kn}^2 = \text{-}i\hbar\frac{\partial\frac{\psi_{kn}^2}{2}}{\partial x_k}$$

$$P_k\sum_{n=1}^{N}\psi_{kn}^2 = \sum_{n=1}^{N}p_{kn}\psi_{kn}^2 = \text{-}i\hbar\frac{\partial\sum_{n=1}^{N}\frac{\psi_{kn}^2}{2}}{\partial x_k}$$

Получаю определение среднего импульса и могу его вычислить по волновым функциям

$$P_k = \frac{\sum_{n=1}^{N}p_{kn}\psi_{kn}^2}{\sum_{n=1}^{N}\psi_{kn}^2} = \text{-}i\hbar\frac{\partial ln\sqrt{\sum_{n=1}^{N}\psi_{kn}^2}}{\partial x_k}$$

Эту формулу можно расписать для определения суммарной волновой функции и собственного значения суммарного импульса

$$P_k\sqrt{\sum_{n=1}^{N}\psi_{kn}^2}=\frac{\sum_{n=1}^{N}p_{kn}\psi_{kn}^2}{\sum_{n=1}^{N}\psi_{kn}^2}\sqrt{\sum_{n=1}^{N}\psi_{kn}^2}=\text{-}i\hbar\frac{\partial\sqrt{\sum_{n=1}^{N}\psi_{kn}^2}}{\partial x_k}$$

Аналогичную процедуру можно проделать с энергией, и моментом импульса

$$E_k=\frac{\sum_{n=1}^{N}E_{kn}\psi_{kn}^2}{\sum_{n=1}^{N}\psi_{kn}^2}=i\hbar\frac{\partial ln\sqrt{\sum_{n=1}^{N}\psi_{kn}^2}}{\partial t}$$

$$P_k\sum_{n=1}^{N}\int_0^{\infty}\psi_{kn}^2\,dr=\sum_{n=1}^{N}p_{kn}\int_0^{\infty}\psi_{kn}^2\,dr$$

Получаю определение среднего импульса и могу его вычислить по волновым функциям

$$P_k=\frac{\sum_{n=1}^{N}p_{kn}\int_0^{\infty}\psi_{kn}^2\,dr}{\sum_{n=1}^{N}\int_0^{\infty}\psi_{kn}^2\,dr}$$

Эту формулу можно расписать для определения суммарной волновой функции и собственного значения суммарного импульса

$$P_k=\frac{\sum_{n=1}^{N}p_{kn}\int_0^{\infty}\psi_{kn}^2\,dr}{\sum_{n=1}^{N}\int_0^{\infty}\psi_{kn}^2\,dr}$$

Аналогичную процедуру можно проделать с энергией, и моментом импульса

$$E_k=\frac{\sum_{n=1}^{N}E_{kn}\int_0^{\infty}\psi_{kn}^2\,dr}{\sum_{n=1}^{N}\int_0^{\infty}\psi_{kn}^2\,dr}$$

Эту идею можно использовать для вычисления энергии многоэлектронного атома с учетом взаимодействия электронов между собой.

Энергия ионизации определяется по формуле $E_{n(Z\text{-}1)}\text{-}E_{nZ}=$

$\frac{\left[\frac{Z^3}{2n^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}1)J(J+1)\pi^2}{16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\right]}{2Z\text{-}1}\text{-}\frac{\left[\frac{(Z\text{-}1)^3}{2n^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}2)J(J+1)\pi^2}{16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\right]}{2Z\text{-}3} > 0$, т.е. для ионизации атома надо затратить энергию, т.е. передать энергию атому.

Вычисляется суммарный момент вращения электронов между собой с учетом спина электрона и по нему уточняется однократная энергия ионизации. Это позволяет добиться совпадения теоретического значения энергии ионизации с экспериментальным. Также определена энергия двукратной ионизации, совпадающая с экспериментом, и по ней вычислена энергия атома. При малом количестве электронов получилась отрицательная полная энергия атома, при увеличивающемся количестве электронов энергия атома положительная. Была определена положительная энергия атома по двум формулам

$$E_{nZ} = \text{-}\frac{\left[\frac{Z^3}{2n^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}1)J(J+1)\pi^2}{16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\right]}{2Z\text{-}1}27.21\text{эВ} = 5.35937\text{эВ};$$

$$Z = 3; j = 3.5; n = 2$$

$$E_{n(Z\text{-}1)} = \text{-}\frac{\left[\frac{(Z\text{-}1)^3}{2n^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}2)J(J+1)\pi^2}{16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\right]}{2Z\text{-}3}27.21\text{эВ} = 10.70176\text{эВ};$$

$$Z\text{-}1 = 2; j = 3.5, n = 2$$

Их разность равна энергии ионизации атома лития $e = E_{22}\text{-}E_{23} = 5.3424\text{эВ}$ при экспериментальном значении энергии однократной ионизации 5.39171еВ.

$$E_{nZ} = \text{-}\frac{\left[\frac{Z^3}{2n^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}1)J(J+1)\pi^2}{16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\right]}{2Z\text{-}1}27.21\text{эВ} = 19.6328\text{эВ};$$

$$Z = 4; j = 5; n = 2$$

$$E_{n(Z\text{-}1)} = \text{-}\frac{\left[\frac{(Z\text{-}1)^3}{2n^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}2)J(J+1)\pi^2}{16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\right]}{2Z\text{-}3}27.21\text{эВ} = 28.98126\text{эВ};$$

$$Z\text{-}1 = 3; j = 5, n = 2$$

Их разность равна энергии ионизации атома Бериллия $e = E_{23}\text{-}E_{24} = 9.3483\text{эВ}$ при экспериментальном значении энергии однократной ионизации 9.32269 еВ. Формула исправно считает энергию однократной ионизации.

Величина $E_{23} = 5.35937 \neq 28.9812$, так как в первом случае $j = 3.5$, а во втором случае $j = 5$; Но в обоих случаях собственная энергия положительная и зависит от разных квантовых чисел.

$$E_k = \frac{Z^3}{(2Z\text{-}1)2n^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}k)^3}{(2Z\text{-}1-2k)2n^2}$$

Разделить ее на величину

$$E_k = \left[\frac{(Z\text{-}1)\pi^2}{(2Z\text{-}1)16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}1\text{-}k)\pi^2}{(2Z\text{-}1-2k)16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\right]\frac{E_k}{e_k}$$

$$e_k = \frac{(Z\text{-}1)\pi^2}{(2Z\text{-}1)16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}1\text{-}k)\pi^2}{(2Z\text{-}1-2k)16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}$$

Получим величину $j_k(j_k+1) = \frac{E_k}{e_k}$. Находим полуцелое число j_k и далее уточняем положительное значение энергии ионизации. Значение величины j_k зависит от кратности ионизации. И собственная энергия зависит от квантового числа j_k.

$$E_{nZj_k} = \text{-}\frac{\left[\frac{Z^3}{2n^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}1)j_k(j_k+1)\pi^2}{16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\right]}{2Z\text{-}1}$$

$$E_{n(Z\text{-}k)j_k} = \text{-}\frac{\left[\frac{(Z\text{-}k)^3}{2n^2}\text{-}\frac{(Z\text{-}1\text{-}k)j_k(j_k+1)\pi^2}{16\left(n+\frac{1}{Z^2}\right)^2}\right]}{2Z\text{-}1-2k}$$

Таким образом обнаружилось новое квантовое число, от которого зависит энергия атома. Причем собственная энергия многоэлектронного атома, может быть как положительной, так и отрицательной, зависит от значения квантового числа j_k.

Список литературы

1. Якубовский Е.Г. Новые решения уравнения Шредингера / Е.Г. Якубовский // Современные концепции техники и технологии: проблемы, состояние и перспективы: сборник тезисов докладов на конференции. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2024.