

**ДИНАМИЧЕСКОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ЗАРЯДА ЯДРА
ДЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ $1S_{1/2}$ -ОБОЛОЧЕК И НОМИНАЛЬНОГО ЗАРЯДА ЯДРА
ДЛЯ АТОМОВ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С $10 \leq Z \leq 173$**

Ключевые слова: эффективный заряд ядра, номинальный заряд ядра, динамическое отображение, верхний континуум, нижний континуум значений энергии электронов.

1. Изучение электронной структуры и ее особенностей представляет принципиальный теоретический интерес как для релятивистской квантовой механики, квантовой электродинамики, так и для современной квантовополевой теории [1].

В известной работе Померанчука и Смородинского [2] было показано, что формула тонкой структуры Дирака – Зоммерфельда [3–5] может быть использована и для вычисления энергий состояний электрона для атомов с зарядом ядра $Z\alpha \geq 1$ ($\alpha = 1/137$ – постоянная тонкой структуры), если учесть конечные размеры ядра ($r \approx A^{1/3}$).

В последние годы [6, 7] эта проблема активно обсуждается и мы в предлагаемой работе рассматриваем связь (динамическое отображение [8]) эффективного заряда ядра Z_{eff} для электронов $1S_{1/2}$ -оболочек и номинального заряда ядра атома Z вплоть до так называемых критических значений зарядов ядер Z_{cr} .

2. Используя [5], можно показать, что для $1S_{1/2}$ -оболочки

$$Z_{\text{eff}} = 137[1 - (1 - \varepsilon/m)^2]^{1/2}, \quad (1)$$

где ε – энергия связи электрона, которая с энергией состояния E хорошо связана известным соотношением

$$E = m - \varepsilon. \quad (2)$$

Здесь m – масса электрона ($m = 0.511$ МэВ) и мы используем систему единиц, где скорость света $c = 1$.

Энергия связи электрона растет от $\varepsilon = 0$ (нижняя граница верхнего континуума) через $\varepsilon = m$, где энергия $E = 0$, до $\varepsilon = 2m$ (верхняя граница нижнего континуума).

Максимальное значение $Z_{\text{eff}} = 137$ достигается при $\varepsilon = m$ и каком-то значении номинального заряда Z .

В таблице с использованием результатов вычислений ε из работы [9] приведены значения эффективно-го заряда Z_{eff} и соответствующие значения номинального заряда Z (энергии ε даны в кэВ). Из результатов таблицы видно, что эффективный заряд Z_{eff} сначала медленно растет с ростом Z до $Z_{\text{eff}} = 137$:

$$\Delta Z_{\text{eff}}/\Delta Z = (137-8)/(150-10) = 0.921, \quad (3)$$

а затем быстро падает:

$$\Delta Z_{\text{eff}}/\Delta Z = (32-137)/(173-150) = -4.565. \quad (4)$$

Z	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ε	0.87	4.04	9.66	18.00	29.20	43.58	61.34	83.11	109.66
Z_{eff}	8.00	17.21	26.54	36.08	45.69	55.41	65.14	74.96	84.87
Z	100	110	120	130	140	145	150	155	160
ε	142	182	232	297	387	444	507	586	680
Z_{eff}	94.85	104.91	114.86	124.48	132.96	135.87	136.99	135.47	129.16
Z	165	170	171	172	173				
ε	791	910	939	967	1006				
Z_{eff}	114.33	84.99	74.08	60.81	31.88				

Автор выражает благодарность участникам семинара ЛТФ (ОИЯИ, октябрь 2019 г.) за полезное обсуждение результатов работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдович Я.Б., Попов В.С. // УФН. – 1971. – Т. 105. – Вып. 11. – С. 403–440.
2. Pomernanchuk I.Ya. and Smorodinsky Ya.I. // J. Phys. USSR. – 1945. – V. 9. – P. 97.
3. Дирак П. Принципы квантовой механики. – М.: Наука, 1979.
4. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика. – М.: Наука, 1980.
5. Бьоркен Дж., Дрелл С.Д. Релятивистская квантовая теория. Т.1. – М.: Наука, 1978.
6. Кулешов В.М., Мур В.Д., Нарожный Н.Б. и др. // УФН. – 2015. – Т. 185. – Вып. 8. – С. 845–852.
7. Незнамов В.П., Сафронов И.И. // УФН. – 2014. – Т. 184. – Вып. 2. – С. 200–205.
8. Умедзава Х., Мацумото Х., Татики М. Термополевая динамика и конденсированные состояния. – М.: Мир, 1985.
9. Fricke B. and Soff G. // Atomic Data and Nuclear Data Tables. – 1977. – V. 19. – Iss. 1. – P. 83–95.

Поступило в редакцию 24.03.2020.

Смоленский государственный университет, г. Смоленск, Россия

Ершов Дмитрий Кириллович, к.ф.-м.н., доцент каф. физики СмолГУ, e-mail: ershov-smolgu@yandex.ru.