

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ АТОМА Li И Li-ПОДОБНЫХ ИОНОВ.
РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ПОПРАВКИ И УЧЕТ СТРУКТУРЫ ЯДЕР**

Л.А. Вайнштейн, Р.А. Сюняев, Е.М. Чуразов

Рассчитаны поправки к сверхтонкому расщеплению высокозарядных Li-подобных ионов. Основной вклад вносят релятивистские эффекты и учет структуры ядра. Приведены окончательные результаты для расщепления в ряде ионов.

Радиолинии, соответствующие переходам между компонентами сверхтонкой структуры (СТС) основного состояния Li-подобных ионов (ниже [Li]-ионов), представляют интерес для диагностики горячей плазмы в астрофизических объектах /1/. Настоящая работа является продолжением /2/, в которой был приведен расчет параметров СТС с использованием метода Хартри – Фока (ХФ) и его модификаций. Основной вывод состоял в том, что обычный метод ХФ не годится и необходим учет спиновой поляризации остова $1s^2$. Необходимая точность обеспечивается (для многозарядных ионов) с помощью неограниченного метода НХФ или многоконфигурационного подхода (МКХФ). В последнем случае фактически достаточно учета одной возмущающей конфигурации $1s3s(^3S)2s$.

Для получения окончательного результата необходимо учесть ряд поправок, которые здесь представлены в виде множителей:

$$\Delta E = \Delta E^* g M(Z,A) R(Z), \tag{1}$$

где $g = 1,0012$ аномальный магнитный момент электрона; $M(Z,A)$ – поправка на структуру ядра; $R(Z)$ – релятивистская поправка; ΔE^* – расщепление, полученное при решении нерелятивистских уравнений с кулоновским потенциалом ядра /2/.

Поскольку основной вклад связан с учетом релятивистских эффектов, расчет поправок осуществлялся решением уравнений Дирака – Хартри – Фока (ДХФ). Имеющаяся программа не позволяла полностью учесть возмущающую конфигурацию с согласованием энергетического параметра. Поэтому ограничимся одноконфигурационным методом ДХФ с введением поправок в форме (1), где ΔE^* получено методом МКХФ. Релятивистская поправка $R(Z)$ была получена путем сравнения решений уравнений ДХФ при $v = 3 \cdot 10^{10}$ см/с и $3 \cdot 10^{13}$ см/с.

При расчетах методом МКХФ /2/ потенциал ядра предполагался чисто кулоновским ($V_c = -Z/r$). Учет структуры ядра приводит к искажению V_c вблизи $r = 0$. Теоретические оценки этой поправки приведены в /3,4/. В рамках простейшей модели ядро представляет собой однородно заряженный шар с $R = 1,2 \cdot 10^{-13} \sqrt[3]{A}$ см, где A – атомный вес ядра. Тогда

$$V = \begin{cases} -\frac{Z}{2R} \left[3 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \right], & r \leq R, \\ -\frac{Z}{r}, & r > R. \end{cases}$$

Поправка $N(Z,A)$ находилась из сравнения решений уравнений ДХФ с потенциалами ядер V_c и V . Результаты приведены в табл. 1. В работе /5/ проведен аналитический расчет релятивистской поправки $R(Z)$ для [H]-ионов. В табл. 1 приведены также результаты расчета по формуле /5/:

$$R(Z) = \frac{(2l+1)\kappa}{\gamma(4\gamma^2-1)} \left[2\kappa \frac{\gamma+n-|\kappa|}{N} - 1 \right] \left(\frac{n}{N} \right)^3,$$

$$\kappa = (-1)^{j+1/2} (j + 1/2),$$

$$\gamma = [\kappa^2 - (Z/137)^2]^{1/2},$$

$$N = [n^2 - 2(n - |\kappa|)(|\kappa| - \gamma)]^{1/2}$$

при Z равном заряду ядра. Как видно, водородоподобное приближение достаточно хорошо описывает $R(Z)$ при $Z > 10$.

Поправки к сверхтонкому расщеплению (1)

Таблица 1

Изотоп	1/M (Z,A)	R(Z)	
		ДХФ	[5]
${}^6\text{Li}_3$	1,0002	1,0008	1,001
${}^{25}\text{Mg}_{12}$	1,0013	1,0157	1,016
${}^{57}\text{Fe}_{26}$	1,0044	1,079	1,081

Таблица 2

Длины волн переходов между компонентами сверхтонкой структуры

Изотоп	λ , см	Эксперимент
${}^6\text{Li}_3$	139	131
${}^{25}\text{Mg}_{12}$	0,668	—
${}^{57}\text{Fe}_{26}$	0,3060	—

С учетом требований астрофизических наблюдений и точности, обеспечиваемой в нерелятивистских расчетах, менее существенные поправки (поляризация вакуума, конечная масса ядра, различные варианты распределения намагниченности по ядру) не были включены в конечный результат.

В табл. 2 приведены длины волн переходов между компонентами СТС для основных состояний [Li]-ионов ряда изотопов.

В настоящей работе расчеты основаны на методе МКХФ и не рассматриваются высшие релятивистские поправки, влияние формы распределения заряда в ядре и, быть может, некоторые другие эффекты. Общая погрешность, по-видимому, не превосходит 0,2% для ${}^{57}\text{Fe}_{26}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сюняев Р. А., Чуразов Е. М. ПЖ, 10, № 7, 483 (1984).
2. Вайнштейн Л. А., Чуразов Е. М. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11, 22 (1985).
3. Crawford M. F., Schawlow A. L. Phys. Rev., 76, 1310 (1949).
4. Соболевман И. И. Введение в теорию атомных спектров. ГИФМЛ, М., 1963.
5. Шабеев В. М. Оптика и спектроскопия, 56, в. 3, с. 397-401 (1984).

Поступила в редакцию 30 октября 1985 г