Доклады Академии наук СССР
1955. Том 103, № 1

*ФИЗИКА*

Н. И. КАЛИТЕЕВСКИЙ и М. П. ЧАЙКА

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СПЕКТРОВ ПЛУТОНИЯ И ИЗОТОПОВ УРАНА*

*(Представлено академиком А. А. Лебедевым 16 IV 1955)*

Проведенное исследование сверхтонкой структуры спектров некоторых актиноидов имело своей целью определение моментов ядер указанных элементов.

Спектры исследуемых элементов возбуждались в газоразрядной трубке с полым катодом, охлаждаемым проточной водой. В качестве прибора высокой разрешающей силы использовался эталон Фабри — Перо. Эталон скрещивался со стеклянным двухпризменным спектрографом или со спектрографом с плоской диффракционной решеткой, что оказывается выгодным при исследовании красной и близкой инфракрасной областей спектра. Особое внимание уделялось качеству отражающих слоев эталона.

Определение механического момента ядра $U^{233}$. Как известно, энергетический терм, характеризуемый квантовым числом $J$, в силу взаимодействия с магнитным моментом ядра расщепляется на $2I + 1$ компонент при $J > I$ и на $2J + 1$ компонент при $J < I$.

В спектре урана, в основном классифицированном Киссом и др. ([1]), имеется большое число линий, возникающих при переходах между уровнями с большими квантовыми числами $J$. Следовательно, при расщеплении лишь одного из термов (верхнего или нижнего) можно однозначно определить механический момент ядра атома. Фотографирование спектра $U^{233}$ при помощи эталона Фабри и Перо показало, что линия урана $\lambda$ 5915 Å ($169_7 \rightarrow {}^5L_6$) состоит из 6 компонент. Последующие опыты показали, что многие другие спектральные линии также расщеплены на 6 компонент.

Изучение сверхтонкой структуры нескольких линий, оканчивающихся на одном терме, а также исследование правила интенсивностей приводят к выводу, что в спектре атома урана расщеплены лишь некоторые верхние уровни. Из соотношения $2I + 1 = 6$ однозначно определяется механический момент ядра этого изотопа урана: $I\,(U^{233}) = {}^5/_2$. Это же значение спина $U^{233}$ позднее было получено другими исследователями ([4], А. И. Стриганов).

Определение механического момента ядра $U^{235}$. Основные экспериментальные трудности при исследовании сверхтонкой структуры спектра $U^{235}$ связаны с тем, что ширина структуры линий $U^{235}$ очень невелика (почти в 2 раза меньше, чем на линиях $U^{233}$). Кроме того, исследуемый образец обычно содержит некоторое количество $U^{238}$, что также затрудняет интерферометрические измерения.

---

* Настоящая статья является изложением ряда работ, проведенных в 1952—1954 гг. Механический момент ядра $U^{233}$ был определен в ноябре 1952 г., механический момент ядра $Pu^{239}$ в январе 1953 г.

Мы провели исследование сверхтонкой структуры нескольких спектральных линий $U^{235}$ при помощи эталона Фабри и Перо с различными расстояниями между отражающими поверхностями. Исследуя таким способом различные участки сверхтонкой структуры трех спектральных линий (λλ 5915; 5976; 6449 Å), мы обнаружили, что каждая линия состоит из 6 компонент. На этом основании был определен механический момент ядра $I(U^{235}) = {}^5/_2$.

Однако недостаточно отчетливое разрешение последних компонент структуры может привести к ошибке в определении числа компонент, и значение спина ядра $U^{235}$, равное ${}^7/_2$, не исключено, хотя и менее вероятно.

Определению механического момента ядра изотопа урана с массовым числом 235 посвящено несколько работ ([2–4]). Авторы цитированных работ определили, что спин ядра $U^{235}$ равен ${}^5/_2$ или ${}^7/_2$, и высказали предположение, что значение $I = {}^5/_2$ является более вероятным. В недавно опубликованной статье ([6]) имеется указание, что, согласно последним измерениям Мак-Нелли, более вероятным предполагается значение $I(U^{235}) = {}^7/_2$.

Определение механического момента ядра плутония. Исследование спектра плутония при помощи эталона Фабри и Перо показало, что около 150 линий в области спектра 4000—6000 Å состоят из двух компонент. Величина расщепления по отдельным линиям различна, отношение интенсивностей компонент также различно, но для очень многих исследованных линий отношение интенсивностей компонент близко к единице. В спектре имеется несколько линий, имеющих три компоненты. Несмотря на то, что спектр плутония еще не классифицирован, возможно провести однозначную интерпретацию этих результатов. Нами было установлено, что в данных условиях опыта в применявшемся источнике света в основном возбуждаются линии нейтральных атомов. Расщепление линии на две компоненты соответствует расщеплению одного из термов. Спектр атома плутония ($Z = 94$) должен состоять из нечетных мультиплетов, а его энергетические уровни характеризуются целочисленными значениями квантового числа $J$. Поэтому можно утверждать, что при $I > J$ линии атома плутония не могут иметь дублетной сверхтонкой структуры. Следовательно, нужно предположить, что для всех расщепленных термов $J > I$ и $2I + 1 = 2$. Из этого равенства определяется механический момент ядра плутония $I(Pu^{239}) = {}^1/_2$. Это значение спина $Pu^{239}$ было подтверждено последующими исследованиями ([5], А. И. Стриганов).

Определение отношения магнитных и квадрупольных моментов изотопов урана. Измерив величину интервалов между компонентами сверхтонкой структуры на нескольких спектральных линиях $U^{233}$ и $U^{235}$, мы обнаружили нарушение правила интересов при расщеплении ряда энергетических уровней. Для этих энергетических уровней положение подуровней сверхтонкой структуры хорошо описывается известной формулой:

$$\nu = \nu_0 + \frac{A}{2}c + B\,\frac{{}^3/_8\,c(c+1) - {}^1/_2\,I(I+1)\,J(J+1)}{I(2I-1)\;J\;(2J-1)}.$$

Коэффициенты $A$ и $B$ были определены из экспериментальных данных по методу наименьших квадратов.

Отношение коэффициентов $A_{233}/A_{235}$ для одной и той же спектральной линии двух изотопов с одинаковыми механическими моментами равно отношению магнитных моментов ядер указанных изотопов, а отношение коэффициентов $B_{233}/B_{235}$ равно отношению квадрупольных моментов.

По измерениям сверхтонкой структуры двух линий урана (λλ 5915 и

5976 Å) было получено отношение магнитных моментов $\mu_{233}/_{235} = -1{,}8 \pm 0{,}1$. Это значит, что магнитные моменты ядер указанных изотопов урана имеют разные знаки и сильно отличаются по абсолютной величине. Отношение квадрупольных моментов оказалось равным $Q_{233}/Q_{235} = 2{,}0 \pm 0{,}3$. Отсюда следует, что квадрупольные моменты обоих изотопов — одного знака и также сильно различаются по величине.

В пределах погрешности измерений имеется удовлетворительное совпадение отношений квадрупольных моментов при измерениях по двум различным энергетическим термам ($169_7$ и $205_8$). Это подтверждает предположение о том, что нарушение правила интервалов вызвано наличием у обоих изотопов значительных квадрупольных моментов, а не связано с возмущениями исследуемых термов соседними расщепленными энергетическими уровнями.

Все рассмотрение проведено в предположении, что $I(U^{235}) = I(U^{233}) = {}^5/_2$. Если принять спин изотопа $U^{235}$ равным ${}^7/_2$; то отношение магнитных моментов $\mu_{233}/_{235} = -1{,}8$ остается тем же в пределах указанной погрешности определения. Знак отношения магнитных моментов отрицателен при любом из этих предположений. Отношение квадрупольных моментов $Q_{233}/Q_{235}$ существенно зависит от сделанного предположения о значении спина ядра $U^{235}$.

Авторы выражают глубокую благодарность чл.-корр. АН СССР С. Э. Фришу за инициативу постановки настоящей работы и помощь при ее выполнении, а также проф. А. Н. Зайделю за ряд ценных советов.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
25 XI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] C. C. Kiess, C. J. Humphreys, D. D. Laun, J. Res. Bur. of Stand., **37**, 57 (1946). [2] O. E. Anderson, H. E. White, Phys. Rev., **77**, 911 (1947). [3] G. R. Stukenbrouker, J. R. McNally, JOSA, **40**, 336 (1950). [4] K. L. Vander Sluis, J. R. McNally, JOSA, **44**, 87 (1954). [5] M. Van den Berg, P. Klinkenberg, P. Regnayt, Physica, **20**, No. 1, 37 (1954). [6] M. Van den Berg, P. Klinkenberg, Physica, **20**, No. 8, 461 (1954).