

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2994 / 82

РЗ-82-224

28/vi-82

Ф.Бечварж, П.Земан, М.Кралик*, В.Кубечек**,
Нгуен Данг Нюян, Ю.П.Попов, С.А.Тележников

ПОИСК РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА
НЕЙТРОНОВ ЯДРАМИ,
СТИМУЛИРОВАННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ
ЛАЗЕРНОЙ ВОЛНЫ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

* Институт радиационной дозиметрии ЧСАН,
Прага, ЧССР.

** Ядерный и физико-инженерный факультет
Пражского политехнического института,
Прага, ЧССР.

1982

В работах Зарецкого и Ломоносова^{/1-3/} была развита теория стимулированных радиационных переходов между ядерными состояниями, находящимися в спектре возбуждений вблизи нейтронного порога. Согласно^{/3/} при амплитудах напряженности внешнего электрического поля $\mathcal{E}_0 \approx 3000$ В/см и оптических частотах ожидается заметное влияние поля на сечение реакции радиационного захвата нейтронов ядрами. Поля с такими значениями \mathcal{E}_0 можно реализовать в пучках импульсных лазеров.

Воздействие переменного электрического поля /электрической волны/ на систему "нейтрон + ядро", обладающую нейтронным резонансом с орбитальным моментом нейтрона $\ell_n = 1$ /т.е., р-резонансом/, проявляется в образовании двух дополнительных "сателлитных" нейтронных резонансов с энергиями, отличающимися от энергии E_{res} исходного резонанса на величину $\pm \hbar\omega$, где ω - частота поля. В рамках приближений, принятых в^{/1-3/}, вклад соответствующего сателлитного резонанса в сечение радиационного захвата нейтрона данным ядром можно выразить как

$$\sigma_{\gamma}^{\pm}(E_n) = \frac{\pi}{k^2} \cdot \frac{\Gamma_n^{(inel)} \Gamma_{\gamma}}{(E_n - E_{res} \pm \hbar\omega)^2 + \Gamma_{tot}^2/4} \quad /1/$$

Здесь E_n - энергия нейтронов, k - их волновое число, Γ_{tot} - полная ширина исходного р-резонанса и Γ_{γ} - его радиационная ширина. Величина $\Gamma_n^{(inel)}$ - "неупругая" нейтронная ширина, для которой согласно^{/3/} имеется выражение:

$$\Gamma_n^{(inel)} = \frac{e_{eff}^2 \mathcal{E}_0^2}{3(\hbar\omega)^2} \left(\frac{U_0}{\hbar\omega}\right)^2 (R-R')^2 \frac{1+k^2 R^2}{k^2 R^2} \left(\frac{E_n}{E_{res}}\right)^{1/2} \Gamma_n \quad /2/$$

где $e_{eff} = e_0 Z/A$ - эффективный электрический заряд нейтрона, U_0 - глубина эффективного потенциала внутри ядра, R - радиус ядра, R' - амплитуда потенциального рассеяния s-нейтронов и Γ_n - нейтронная ширина исходного р-резонанса.

Воздействие внешнего электрического поля на систему "нейтрон + ядро", обладающую s-резонансом, теоретически пока не анализировалось. Можно, однако, ожидать, что в этом случае эффект сателлитных резонансов будет вследствие малости потенциального рассеяния р-нейтронов существенно подавлен.

Для измерений были выбраны ядра-мишени ^{98}Mo и ^{127}I . Ядро ^{98}Mo имеет р-резонанс с параметрами $E_{res} = 12,1$ эВ и $g\Gamma_n = 60$ мкэВ^{/4/}. Характер гамма-распада этого резонанса /см. /5/ / позволяет с полной уверенностью приписать $\ell_n = 1$ этому резонан-

су. Ядро ^{127}I имеет резонанс с $E_{res} = 10,7$ эВ^{/4/}, для которого, по нашим оценкам, $g\Gamma_n \approx 8$ мкэВ. Из статистических соображений, основанных на применении распределения Портера-Томаса^{/6/} для нейтронных ширин, можно заключить, что такое низкое значение принадлежит с достоверностью, равной 95%, р-резонансу.

Суть эксперимента состояла в попытке зарегистрировать увеличенный выход гамма-лучей в реакции (n, γ) при энергиях нейтронов в районе сателлитных резонансов в условиях, когда данные ядра облучались электрической волной.

Исследования проводились на импульсном быстром реакторе ИБР-30 Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ. Реактор работал со средней мощностью 20 кВт. Полуширина нейтронных вспышек составляла ≈ 100 мкс и частота их повторения - 4 Гц. Измерения выполнялись на расстоянии 51,9 м от поверхности замедлителя реактора. Энергия нейтронов определялась методом времени пролета.

В качестве источника электрической волны применялся импульсный лазер* на базе иттрий-алюминиевого граната с неодимом (YAG: Nd³⁺). Энергия квантов лазера составляла $\hbar\omega = 1,165$ эВ. Резонатор лазера длиной 235 мм состоял из двух диэлектрических зеркал с отражением 100 и 50%. Использовался стержень граната диаметром 7 и длиной 60 мм. Накачка лазера проводилась ламповой вспышкой в эллиптическом отражателе. Лазер работал в многомодном режиме свободной генерации и запускался синхронно с импульсным реактором. Задержка вспышек лазера относительно нейтронных вспышек была выбрана равной времени пролета нейтронов с энергией $E_n = E_{res} - \hbar\omega$. Полуширина вспышек лазера составляла 105 мкс, и их световая энергия была равна 0,65 Дж при энергии накачки 110 Дж.

В случае измерений на ^{98}Mo применялся стеклянный образец в виде стержня диаметром 6,5 мм и длиной 73,9 мм с основным составом $3\text{SiO}_2 \times \text{Na}_2\text{O}$, содержащий примесь 4,0% /по весу/ естественного молибдена. Образец ^{127}I состоял из кристалла KI диаметром 6,45 мм и длиной 12,2 мм.

На образце перпендикулярно к его оси падал пучок нейтронов. Пучок лазера проходил через образец вдоль оси. Гамма-кванты, испускаемые образцом при захвате нейтронов, регистрировались сцинтилляционным детектором с кристаллом NaI(Tl) размером $\varnothing 100$ мм x 100 мм. Для уменьшения фона от рассеянных нейтронов между кристаллом NaI(Tl) и образцом находился слой толщиной 70 мм из ^6LiF , и, кроме того, образец был расположен в нейтронноводе длиной 5 м, заполненном аргоном. Лазерный пучок проходил через образец лишь после каждой второй нейтронной вспышки.

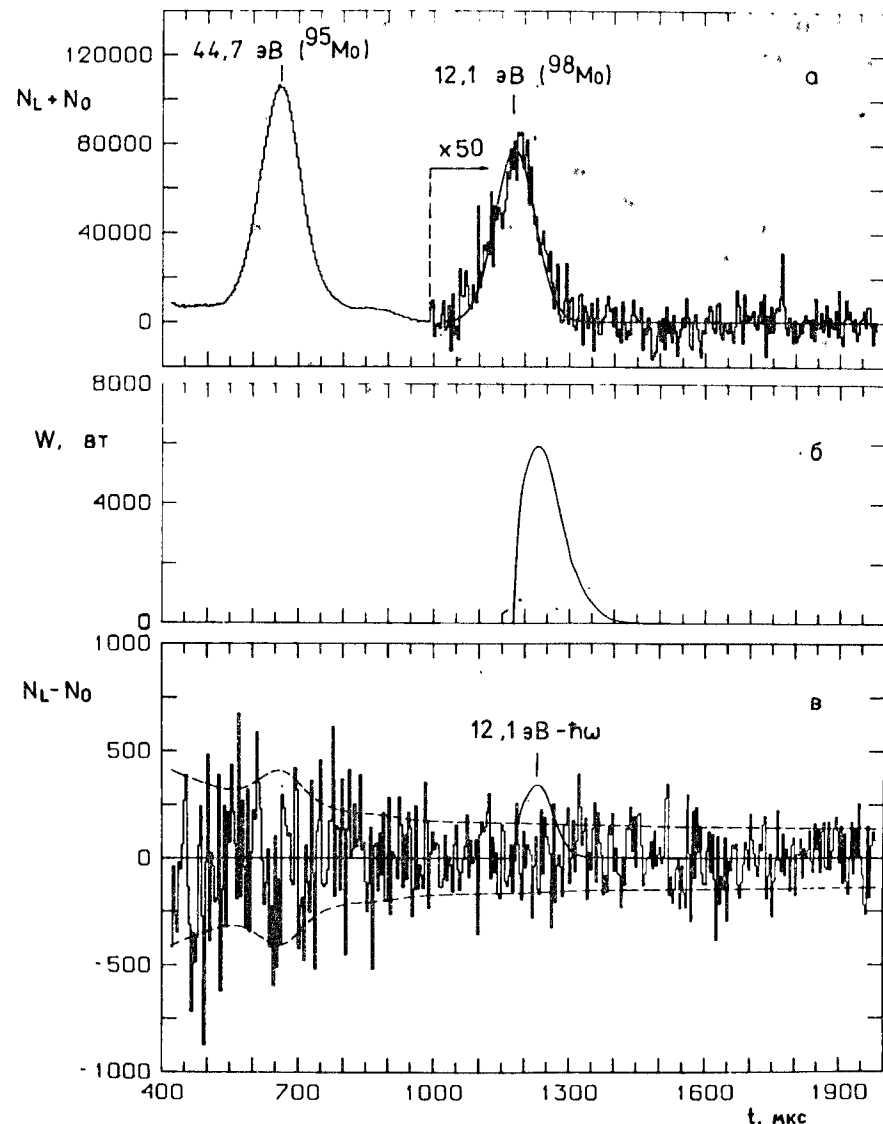
* Лазер был разработан на ядерном и физико-инженерном факультете Пражского политехнического института.

При данных параметрах лазерного пучка и образцов с точки зрения ожидаемого эффекта электрическая волна лазера внутри образца в момент максимума мощности вспышки была равносильна "эффективной" однородной волне с параметром $\mathcal{E}_0^{(eff)} = 2170$ В/см в случае ^{98}Mo и $\mathcal{E}_0^{(eff)} = 1890$ В/см в случае ^{127}I .

Отдельные события зарегистрированных гамма-квантов с энергией $E_\gamma \geq 300$ кэВ накапливались во внешней памяти малой ЭВМ в виде двух временных спектров $N_L(t)$ и $N_0(t)$, соответствующих нейтронным вспышкам с лазерной волной в образце и без нее; под t здесь подразумевается время пролета захватившихся нейтронов.

Результаты измерений с образцом, содержащим молибден, показаны на рисунке. Разность спектров $N_L(t) - N_0(t)$ не указывает на какое-либо статистически достоверное проявление сателлитного резонанса. Обработка этих результатов приводит к экспериментальному значению отношения $\Gamma_n^{(inel)}/\Gamma_n$, равному $-0,006 \pm 0,048$. Согласно оценке, приведенной в работе ^{/9/}, для поля $\mathcal{E}_0^{(eff)} = 2170$ В/см следовало бы ожидать $\Gamma_n^{(inel)}/\Gamma_n = 0,41$. При получении этой величины брались следующие значения параметров: $R' = 7 \cdot 10^{-13}$ см, $R = 1,2 \cdot A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ см, где A - массовое число, и $U_0 = -50$ МэВ. Очевидно, что приведенное здесь значение $\Gamma_n^{(inel)}/\Gamma_n$ с высокой достоверностью отвергается полученным экспериментальным результатом. Если, однако, при оценке эффекта по формуле /2/ взять исходные значения $R = 1,35 \cdot A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ см, $U_0 = -43,5$ МэВ, вытекающие из систематики нейтронно-спектроскопических данных по широкому кругу ядер в рамках оптической модели ^{/4/}, и экспериментальное значение $R' = /6,9 \pm 0,2/ \cdot 10^{-13}$ см ^{/4/} для ^{98}Mo , тогда следовало бы ожидать $\Gamma_n^{(inel)}/\Gamma_n = 0,063$. Экспериментально полученное значение $-0,006 \pm 0,048$ опровергает правильность этой оценки со статистической достоверностью, равной лишь 92%.

В случае ядер ^{127}I результаты настоящей работы привели к экспериментальному значению $\Gamma_n^{(inel)}/\Gamma_n = -0,022 \pm 0,020$, которое является также полностью совместимым с отсутствием сателлитных резонансов. В работе ^{/4/} приводится для ^{127}I экспериментальное значение $R' = /5,7 \pm 0,6/ \cdot 10^{-13}$ см, которое с точностью лучше чем $0,2 \cdot 10^{-13}$ см совпадает с оценкой, сделанной на основании экспериментальных значений R' для соседних ядер с массовым числом в районе $A \approx 127$, см. ^{/4/}. Более того, значение $R' = /5,7 \pm 0,6/ \cdot 10^{-13}$ см хорошо согласуется с результатом $R' = 5,55 \cdot 10^{-13}$ см, полученным для $A=127$ из расчетов по оптической модели ^{/7/}. Если взять $R' = 5,7 \cdot 10^{-13}$ см, $R = 1,35 \cdot A^{1/3} \cdot 10^{-13}$ см и $U_0 = -43,5$ МэВ, то при напряженности эффективного поля $\mathcal{E}_0^{(eff)} = 1890$ В/см из выражения /2/ следует оценка эффекта $\Gamma_n^{(inel)}/\Gamma_n = 0,120$. Эта оценка значительно превышает экспериментальное значение $\Gamma_n^{(inel)}/\Gamma_n = -0,022 \pm 0,020$.



Результаты измерений для образца с молибденом. а/ Полный выход гамма-квантов $N_L(t) + N_0(t)$ за вычетом плавно меняющейся фоновой компоненты. б/ Мгновенная мощность лазера W . в/ Разность $N_L(t) - N_0(t)$ /в виде гистограммы/, эффект, ожидаемый согласно оценке, полученной в работе ^{/3/} /сплошная кривая/, и коридор стандартных флуктуаций разности $N_L(t) - N_0(t)$ /в виде пунктирных линий/. Величина t - время пролета нейтронов; кроме р-резонанса изотопа ^{98}Mo показан и s-резонанс изотопа ^{95}Mo .

Можно констатировать, что результаты настоящей работы не подтверждают эффекта воздействия внешней электрической волны на систему "нейтрон + ядро", хотя чувствительность измерений достигала критического значения, необходимого для наблюдения этого эффекта, или даже превышала его, если считать выводы теории /1-3/ справедливыми. Следует, однако, отметить, что результат, относящийся к мишени ^{127}I , можно считать правильным лишь при условии, что резонанс 10,7 эВ, действительно, является р-резонансом.

Авторы считают своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность академику АН СССР И.М.Франку и академику ЧСАН Б.Квасилу за интерес к работе и поддержку. Авторы также благодарят Д.Ф.Зарецкого за плодотворные дискуссии, способствующие проведению эксперимента, и Я.Волдана из Государственного института стекла /г. Градец Кралове, ЧССР/ за изготовление специального образца с молибденом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зарецкий Д.Ф., Ломоносов В.В. Письма в ЖЭТФ, 1979, т.30, с.541.
2. Зарецкий Д.Ф., Ломоносов В.В. Нейтронная физика, материалы V Всесоюзной конференции по нейтронной физике. ЦНИИАтоминформ, М., 1980, ч.1, с.26.
3. Зарецкий Д.Ф., Ломоносов В.В. ЖЭТФ, 1981, т.81, с.429.
4. Mughabghab S.F., Divadeenam M., Holden N.E. Neutron Cross Sections, Academic Press, New York, 1981, vol.1, part A Z=1-60.
5. Chrien R.E. et al. Phys.Rev., 1976, 130, p.578.
6. Porter C.E., Thomas R.G. Phys.Rev., 1956, 104, p.483.
7. Mughabghab S.F. In: Neutron Cross Sections and Technology. (Ed. by J.A.Harvey and R.L.Macklin), Knoxville, Tenn., 1971, p.386.

Рукопись посту
24

Бечварж Ф. и др. P3-82-224
Поиск радиационного захвата нейтронов ядрами, стимулированного электрическим полем лазерной волны

Экспериментально исследовалось воздействие внешнего переменного электрического поля на систему "нейтрон + ядро". Измерения проводились с ядрами-мишенями ^{98}Mo и ^{127}I . Статистически достоверного эффекта такого воздействия не обнаружено.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Bečvář F. et al. P3-82-224
The Search for Radiative Capture of Neutrons in Nuclei Stimulated by Electrical Field of Laser Wave

The influence of external variable electrical field on the "neutron + nucleus" system is investigated experimentally. The measurements were performed with ^{98}Mo and ^{127}I target-nuclei. No statistically reliable effect of such influence is discovered.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.