

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

99-70

P15-99-70

С.Б.Борзаков, Ю.Н.Покотиловский

ПОИСК ВОЗБУЖДЕННОГО УРОВНЯ ДЕЙТРОНА
С ПОМОЩЬЮ РЕЗОНАНСНОГО РАССЕЯНИЯ
 γ -КВАНТОВ

1999

Борзаков С.Б., Покотилловский Ю.Н.
 Поиск возбужденного уровня дейтрона
 с помощью резонансного рассеяния γ -квантов

В ряде работ сделана попытка описания нейтрон-протонного взаимодействия в 1S_0 -состоянии при низких энергиях с помощью уровня, расположенного ниже энергии связи дейтрона. В настоящей работе описана методика и представлены результаты поиска возбужденного уровня дейтрона с помощью резонансного рассеяния гамма-квантов, испускаемых радиоактивным источником. Получена верхняя граница ширины уровня в зависимости от энергии падающих γ -квантов E_γ : от 0,2 эВ при $E_\gamma = 200$ кэВ до 4 эВ при $E_\gamma = 570$ кэВ.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1999

Перевод авторов

Borzakov S.B., Pokotilovsky Yu.N.
 Search for Exited Level of Deuteron
 by Resonance Scattering of γ -Quanta

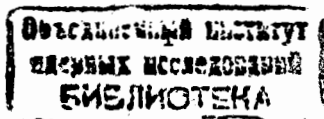
An attempt to describe the low energy neutron-proton interaction in 1S_0 -state with the help of a level at energy less than deuteron bound energy was made in a number of works. The method to search for exited level of the deuteron with the help of resonance scattering of γ -quanta from the radioactive source and first results are described. The high boundary for the level width is obtained as a function of γ -quanta energy E_γ : from 0.2 eV at $E_\gamma = 200$ keV to 4 eV at $E_\gamma = 570$ keV.

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

Общепринятой моделью *np*-взаимодействия при низких энергиях является теория эффективного радиуса [1]. Согласно этой модели система не имеет связанного 1S_0 -состояния. Существуют также другие подходы к описанию *NN*- взаимодействия при низких энергиях. Так, например, Ма [2] показал, что возможно описать *np*-рассеяние при низких энергиях с помощью R-матрицы. В такой модели рассеяние в синглетном состоянии описывается с помощью резонанса с отрицательной энергией. Более подробно этот вопрос обсуждается в работах [3,4].

Следует отметить, что вопрос о существовании возбужденного уровня дейтрона с энергией ниже порога развала никогда не исследовался экспериментально. В настоящее время появилась работа, указывающая на существование резонанса с энергией 0,4 МэВ в *pp*-системе [5]. Согласно принципу изотопической инвариантности в дейтроне должен существовать уровень с близкой энергией.

В настоящей работе опробована простейшая методика поиска резонансного рассеяния γ -квантов ядрами дейтерия. Схема установки показана на рис. 1. Источником γ -квантов служил изотоп ^{137}Cs ($E_\gamma = 662$ кэВ) интенсивностью $\sim 10^7$ с $^{-1}$. С целью формирования непрерывного спектра кванты от источника рассеивались



комптоновски на алюминиевой пластине и после некоторой коллимации облучали мишень из дейтерированного полиэтилена толщиной 1 мм и диаметром 5 см. Рассеянные образцом γ -кванты регистрировались Ge(Li)-детектором, расположенным на расстоянии

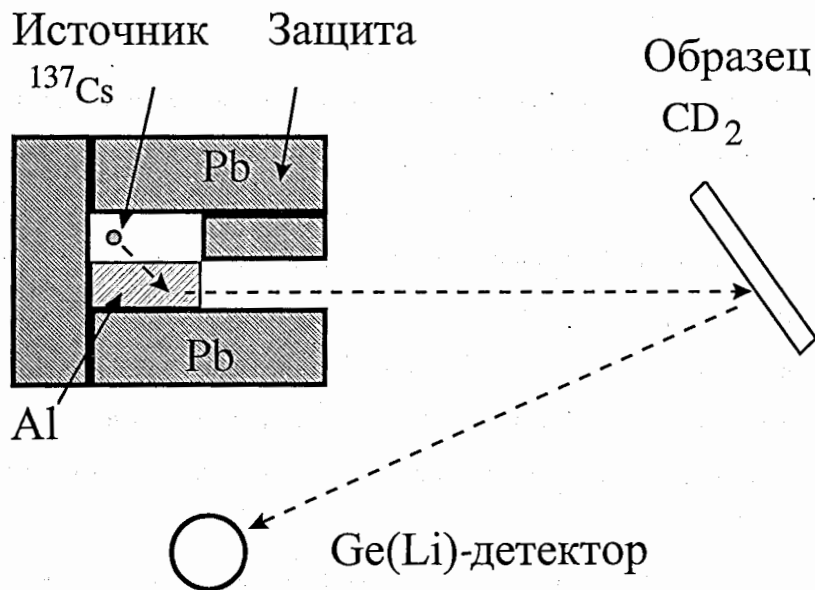


Рис. 1. Схема эксперимента

50 см от образца и защищенным от прямого попадания квантов от источника защитой из свинца. Угол рассеяния θ выбирался возможно максимальным для уменьшения вероятности попадания комптоновски рассеянных γ -квантов и составлял $\sim 110^\circ$.

Сечение резонансного рассеяния γ -квантов описывается формулой Брейта-Вигнера

$$\sigma_{\pi} = \frac{\pi}{k_{\gamma}^2} \frac{\Gamma_{\gamma} \Gamma_{\gamma}}{(E - E_r)^2 + \frac{\Gamma_{\gamma}^2}{4}}, \quad (1)$$

где E_r - положение уровня, Γ_{γ} - радиационная ширина уровня, k_{γ} - волновой вектор γ -кванта. Число отсчетов детектора, обязанных резонансному рассеянию, можно представить в следующем виде:

$$N = \Phi_{\gamma} S_r \varepsilon(E_{\gamma}) \Delta \Omega, \quad (2)$$

где Φ_{γ} - плотность потока падающих на образец γ -квантов, ε - эффективность регистрации, $\Delta \Omega$ - телесный угол, в котором регистрируются γ -кванты, $S_r = \int (1 - e^{-n\sigma_{\pi}}) dE_{\gamma}$ - резонансный интеграл. Можно показать, что $S_r = f \Gamma_{\gamma}$, где f - функция, зависящая от толщины образца n .

Поток падающих на образец γ -квантов в интервале энергии ΔE можно определить, измерив число комптоновски рассеянных на угол θ γ -квантов, попадающих в интервал энергии $\Delta E_c = \Delta E / [1 + E(1 - \cos \theta) / m c^2]^2$:

$$N_c = \Phi_{\gamma}(E_{\gamma}) \cdot \Delta E \cdot n_e \frac{d\sigma_c}{d\Omega} \varepsilon(E_c) \cdot \Delta \Omega, \quad (3)$$

где n_e - число электронов в образце (см^{-2}).

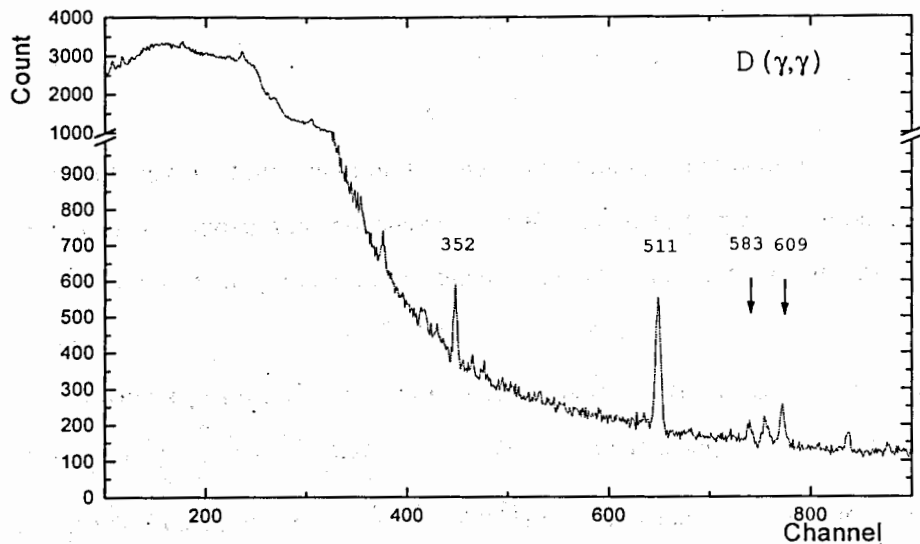


Рис. 2. Спектр гамма - квантов, рассеянных образцом CD_2 . Время измерения 50 часов

Из формул (1-3) можно получить

$$\Gamma_\gamma = \frac{N \cdot \Delta E \cdot n_e \frac{d\sigma_c}{d\Omega} \varepsilon(E_c)}{N_c f \varepsilon(E_\gamma)} \quad (4)$$

Полученный с образцом CD_2 спектр показан на рис. 2. Фон, измеренный без образца, совпадает в пределах статистической точности с приведенным спектром при энергиях выше 220 кэВ (максимальная энергия комптоновски рассеянных на мишени γ -квантов в условиях геометрии эксперимента) и несколько ниже при более низких энергиях. Хорошо видны пики, соответствующие известным фоновым линиям ^{214}Pb (295, 352, 609 кэВ), ^{208}Tl (583 кэВ), а

также 511 кэВ [6]. Все обнаруженные в этом спектре пики присутствуют и в фоновом спектре без образца, и не обнаружено ни одного пика, присутствующего только в спектре, полученном с образцом.

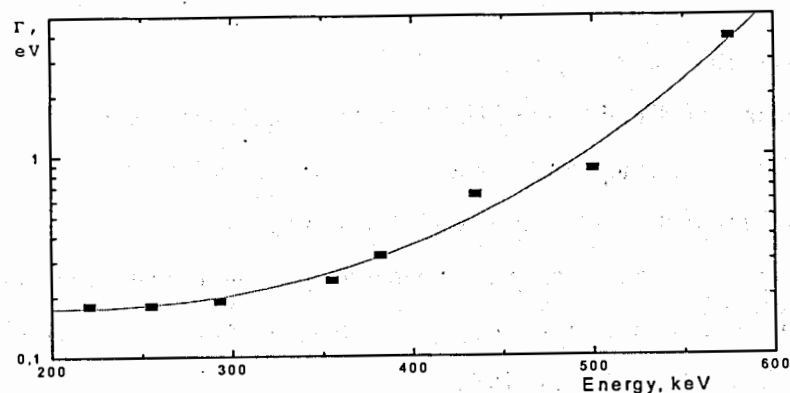


Рис. 3. Верхняя оценка ширины уровня (на уровне достоверности 90%) в зависимости от его энергии

Верхняя оценка площади возможного пика определялась как статистическая ошибка суммы отсчетов детектора в интервале равном 5 ширинам функции разрешения детектора. Согласно формуле (4) была получена верхняя граница ширины уровня в интервале энергий падающих квантов 200 - 600 кэВ, которая показана на рис. 3.

Для проверки метода были проведены измерения с образцом Li_2CO_3 толщиной 4.10^{22} см⁻² ядер лития. Как известно, 7Li имеет уровень 478 кэВ с шириной 0,01 эВ [7]. В спектре рассеянных квантов был обнаружен слабый пик при этой энергии. Полученное значение

ширины резонанса приблизительно совпадает с известным из литературы.

Список литературы.

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Квантовая механика, М., изд. "Наука", 1989.
2. S.T. Ma, Rev. Mod. Physics, 25, 853, 1953.
3. С.Б. Борзаков, Сообщение ОИЯИ Р15-89-430, Дубна, 1989.
4. С.Б. Борзаков, Ядерная физика, т. 57, вып. 3, с. 517, 1994.
5. Zhang Ying-ji et al., Phys. Rev. C45, No. 2, p.528, 1992.
6. Ц. Вылов и др., Спектры излучений радиоактивных нуклидов, измеренные с помощью полупроводниковых детекторов, Zfk-399, ЦИФИ, Россендорф, ГДР, 1980.
7. Table of Isotopes, Ed. C.M. Lederer and V.S. Shirley, A Wiley Interscience Publication, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 марта 1999 года.