

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



B-656

27/II-78

P15 - 11101

А.И.Войтов, С.С.Паржицкий, Ю.П.Попов, В.А.Поярков,
И.В.Сизов, В.И.Стрижак

975/2-78

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ
В ТОРМОЗНОМ СПЕКТРЕ γ -КВАНТОВ
ИЗ РЕАКЦИИ $^{12}\text{C}(\text{p}, \gamma\text{p}')^{12}\text{C}$

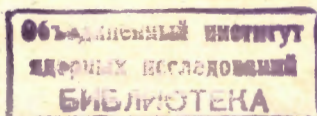
1977

P15 - 11101

А.И.Войтов,* С.С.Паржицкий, Ю.П.Попов, В.А.Поярков,*
И.В.Сизов, В.И.Стрижак*

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ
В ТОРМОЗНОМ СПЕКТРЕ γ -КВАНТОВ
ИЗ РЕАКЦИИ $^{12}\text{C}(\text{p}, \gamma\text{p}')^{12}\text{C}$

Направлено в "Nuclear Physics"



* Киевский государственный университет

Войтов А.И. и др.

P15 - 11101

Интерференционные явления в тормозном спектре гамма-квантов из реакции $^{12}\text{C}(p, \gamma p')^{12}\text{C}$

Исследовалась зависимость формы спектра тормозного излучения в реакции $^{12}\text{C}(p, \gamma p')^{12}\text{C}$ от энергии падающих протонов. Измерения проводились при энергиях протонов, удаленных от ближайших резонансов ядра ^{13}N на ~ 400 кэВ (что составляет ~ 10 полных шириин резонансов).

Обнаружено изменение формы тормозного спектра при энергиях протонов ~ 1240 кэВ, происходящее на интервале порядка ширины ближайшего возбужденного состояния ядра ^{13}N с $E_0 = 2366$ кэВ. В то же время для каналов упругого рассеяния и захвата протонов с этой же энергией на ядре ^{12}C какие-либо особенности отсутствуют. Обсуждается интерференционная природа наблюдаемых особенностей и ее возможная связь с временем протекания реакции.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Voitov A.I. et al.

P15 - 11101

Interference Effects in the Gamma-Quanta Bremsstrahlung Spectrum from the $^{12}\text{C}(p, \gamma p')^{12}\text{C}$ Reaction

The dependence of the shape of the bremsstrahlung spectrum from the $^{12}\text{C}(p, \gamma p')^{12}\text{C}$ reaction via the energy of incident protons was investigated. The protons with energies different from the excitation energy of the nearest resonances of an intermediate nucleus ^{13}N by 400 keV were used, i.e. by about 10 total resonance widths.

The shape of the spectrum at a proton energy of 1240 keV is observed to change in the energy range about the width of the nearest excited state ($E = 2366$ keV) of the ^{13}N nucleus. The interference origin of the effect observed is discussed, as well as its possible dependence on the time the reaction takes.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

В 1960 г. Айсбергом и др.^{1/5} было высказано предположение о возможности изучения временных характеристик ядерных реакций путем исследования сопутствующего тормозного излучения. Предполагалось, что результирующий спектр ядерного тормозного излучения обязан двум процессам: ускоренному движению частицы при "влете" в ядро и при ее "вылете". В случае, если задержка частицы в составном ядре сравнима с $\tau = \hbar/E_\gamma$ / E_γ - энергия гамма-кванта/, то возможна интерференция между амплитудами этих двух процессов, определяющих тормозное излучение. Однако исследования такого рода придется проводить при весьма малых энергиях γ -квантов, когда $E_\gamma \approx \Gamma$, т.е. ширине особенности в функции возбуждения, что существенно осложняет эксперимент. В то же время при квантовомеханическом рассмотрении испускания низкоэнергетичных γ -квантов в ядерных реакциях, сделанном Фешбахом и Энни^{2/}, необходимое из классического рассмотрения условие интерференции $\omega\tau \approx 1$ формально отсутствует, что является, по всей вероятности, следствием использования стационарной теории. Поэтому возникает вопрос - присутствует ли интерференция в тормозном спектре, если условие $\omega\tau \approx 1$ /т.е. $E_\gamma \sim \Gamma$ / нарушено?

В качестве объекта для экспериментальных исследований была выбрана реакция $^{12}\text{C}(p, \gamma p')^{12}\text{C}$ при захвате протонов с энергией $\approx 1,2$ МэВ на резонансное состояние 2366 кэВ ядра ^{13}N . В данном случае возможны только упругое рассеяние и захват протонов, при этом энергия падающих протонов удалена от ближайших резонансов на интервал порядка десяти шириин резонанса,

т.е. взаимодействие падающих протонов с ядром носит, в основном, потенциальный характер с временем взаимодействия $\tau_{in} \approx 10^{-22} \text{с}$. В то же время конечное состояние - одночастичный подпороговый резонанс шириной $\approx 36 \text{кэВ}^{73/}$, т.е. с временем жизни 2.10^{-20}с . Схема реакции показана на рис. 1.

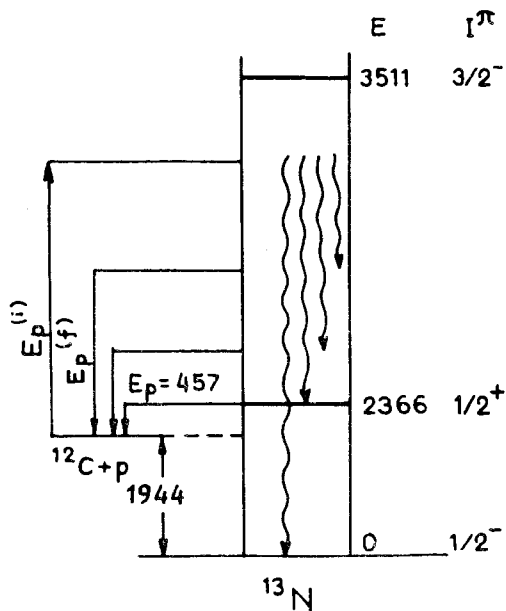


Рис. 1. Схема уровней ядра ^{13}N .

Спектр гамма-излучения /рис. 2/ состоит из двух компонент - плавной и резонансной с максимумом вблизи энергии

$$E_{\gamma_0} = E_p / \text{см} / - 422 \text{кэВ}, \quad /1/$$

соответствующей захвату протона в область энергий вблизи уровня 2366 кэВ промежуточного ядра ^{13}N . Надежно идентифицировать интерференцию в непрерывном спектре очень сложно ^{74/}, поэтому велись поиски интерференционных явлений при энергиях γ -квантов, соответствующих захвату в область состояния резонанса

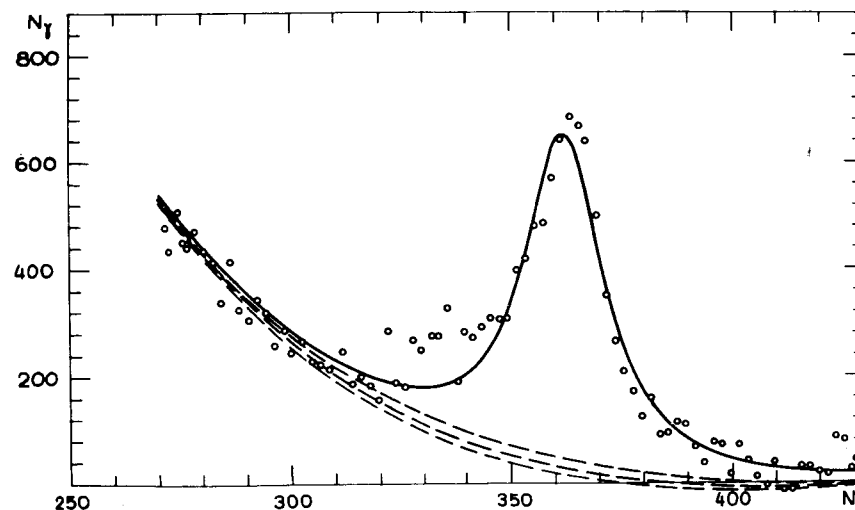


Рис. 2. Спектр γ -квантов из захвата протонов на резонанс 2366 кэВ в ^{13}N . N - номер канала, N_γ - число отсчетов на канал. Точки - экспериментальные результаты. Сплошная линия - результат подгонки резонансной части спектра. Пунктирные кривые - подгонка плавной компоненты γ -излучения для нескольких наборов параметров.

2366 кэВ, где спектр имеет резонансную форму с максимумом при $E_\gamma \approx 700 \text{кэВ}$ для энергий протонов $\approx 1200 \text{кэВ}$.

С классической точки зрения тормозное излучение в реакции $^{12}\text{C}(p, \gamma p)^{12}\text{C}$ обусловлено ускоренным движением протона при влете в ядро и через время $\tau = 2.10^{-20} \text{с}$ - при вылете. В исследуемой области энергии γ -квантов $\approx 700 \text{кэВ}$ классическое условие интерференции $E_\gamma \sim h/\tau$ не выполняется, т.к. $E_\gamma \gg \Gamma$.

Поскольку точной теории о том, как должна влиять интерференция на форму спектра гамма-квантов, нет, то в поисках интерференции можно исследовать изменения формы спектра при небольших изменениях энергии падающих протонов, не задаваясь каким-либо аналитическим видом формы максимума в спектре. Одним из критериев изменения формы максимума может быть

смещение положения центра тяжести резонансной кривой относительно положения максимума, определяемого формулой /1/. В дальнейшей обработке спектра для выделения резонансной части кривой использовалась процедура интерполяции непрерывной части спектра, как это описано в работе /5/.

Положение центра тяжести резонансной части кривой E_{cc} и ширина Γ этого резонанса находились методом взвешивания, достоинством которого является отсутствие каких-либо предположений относительно формы спектра.

На рис. 3 приведены, в зависимости от энергии падающих протонов, разности между найденными значениями центра тяжести резонанса E_{cc} и энергией γ -перехода на уровень 2366 кэВ - E_{γ_0} , вычисленной по формуле /1/. Наблюдаемая на рис. 3 зависимость $E_{\gamma_0} - E_{cc}$ от E_p связана с изменением формы резонансной компоненты тормозного спектра, что подтверждается и аналогичной формой зависимости величин χ^2 от E_p при

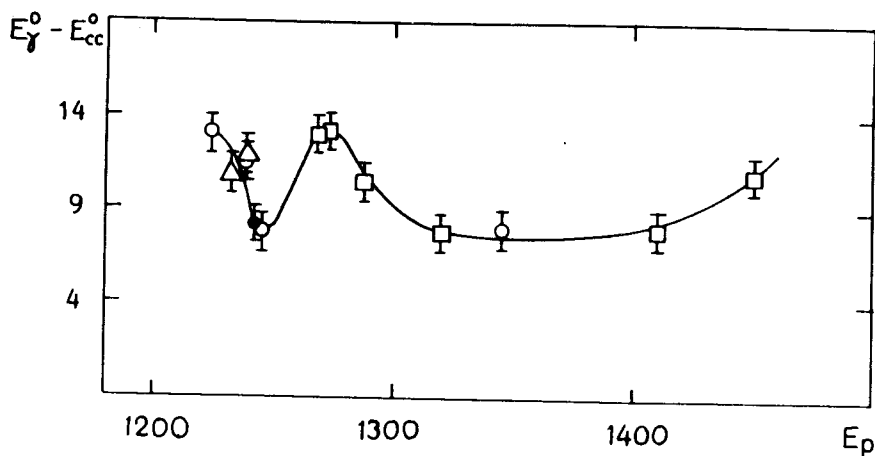


Рис. 3. Зависимость разности между положением центра тяжести резонанса и энергией γ -перехода на уровень 2366 кэВ в ^{13}N . E_{γ_0} - энергия γ -перехода /кэВ/; E_{cc} - энергия, соответствующая положению центра тяжести /кэВ/; E_p - энергия протонов /кэВ/. Разные обозначения точек соответствуют различным сериям измерений.

аппроксимации резонансной компоненты спектра с помощью кривой Лоренца /5/. Все это может рассматриваться как указание на проявление интерференции в спектре тормозного излучения.

На наш взгляд, это весьма удивительный результат, поскольку, согласно общепринятой точке зрения, с момента попадания протона в ядро до распада промежуточного состояния с шириной $\Gamma \approx 36$ кэВ проходит время, значительно большее времени пролета протоном расстояния порядка размеров ядра. В качестве гипотезы для объяснения полученных нами результатов можно предполагать, что для прямых процессов характерны радиусы взаимодействия, существенно большие реальных размеров ядра /в нашем случае - на порядок/.

Авторы благодарны И.М.Франку, А.И.Базю, В.И.Манько и В.И.Фурману за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eisberg R.M., Yennie D.R., Wilkinson D.H. Nucl. Phys., 1960, 18, p.338.
2. Feshbach H., Yennie D. Nucl. Phys., 1962, 38, p.150.
3. Паржицкий С.С. и др. ОИЯИ, P15-9649, Дубна, 1976.
4. Maroni C., Massa J., Vennini G. Phys.Lett., 1976, 60B, p.344.
5. Войтов А.И. и др. ОИЯИ, P15-11087, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 ноября 1977 года.