

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



9/xii-74

3-862

P15 - 8186

Г.Н.Зорин

4735/2-74

ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
КОРОТКОЖИВУЩИХ ПРОДУКТОВ
ПРЯМЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ,
РАСПАДАЮЩИХСЯ ПУТЕМ ИСПУСКАНИЯ
ХОТЯ БЫ ОДНОГО НУКЛОНА

1974

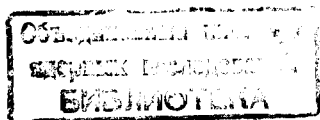
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

P15 - 8186

Г.Н.Зорин

**ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
КОРОТКОЖИВУЩИХ ПРОДУКТОВ
ПРЯМЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ,
РАСПАДАЮЩИХСЯ ПУТЕМ ИСПУСКАНИЯ
ХОТЯ БЫ ОДНОГО НУКЛОНА**

Направлено в ЯФ



Введение

В современной экспериментальной ядерной физике одними из основных задач являются: поиск новых радиоактивных изотопов, далеких от линии ядерной стабильности, определение типа радиоактивного их распада, а также измерение скорости и энергий распада /1/.

Так, радиоактивные изотопы в области легких ядер, образующиеся в результате ядерных реакций при взаимодействии тяжелых ионов с мишенью после вывода их из ускорителя, идентифицируются методом измерения удельной ионизации и полной энергии этих изотопов с помощью соответствующих детекторов /2,3/. Импульсы с детекторов по такой методике подаются на многомерный анализатор. В результате на плоскости анализатора, на которой по оси абсцисс откладываются ионизационные потери (ΔE) продуктов ядерных реакций, а по оси ординат - их полная энергия (E), получаются "гиперболы", соответствующие различным изотопам:

$$\Delta E, E \sim MZ^2, \quad /1/$$

где M - масса изотопа, Z - его заряд.

Такой способ дает надежную идентификацию продуктов ядерных реакций, но не определяет тип радиоактивного распада и его скорость.

Применение комбинации вышеизложенной методики с магнитным анализатором для повышения чувствительности ее за счет отделения магнитом каналов ядерных реакций, с помощью которых образуются "экзотические"

новые изотопы, от упруго рассеянных ионов, сечения которых превышают на несколько порядков сечения этих каналов, также содержит недостаток, заключающийся в ограничении наблюдения новых изотопов, время жизни которых меньше $\sim 10^{-6}$ сек, из-за большой пролетной базы /несколько метров/ между мишенью и телескопом с детекторами измерения удельной ионизации и полной энергии анализируемых изотопов, помещенном в фокальной плоскости магнита.

Согласно одному из способов определения типа радиоактивного распада изотопов, удаленных от линии ядерной стабильности в области легких ядер, предложенном в работе ^{4/}, в которой приведена экспериментальная попытка обнаружения нового типа радиоактивного распада - двухпротонного распада (2p), аргументы в пользу которого приведены в работе ^{5/}, в качестве детектора для регистрации 2p-распада использовалась фотопластинка, которая помещалась внутри ускорителя вместе с мишенью. Суть такого способа заключается в том, чтобы, используя магнитное поле циклотрона, "вогнать" в фотоэмульсию 2p-радиоактивные ядра, образующиеся в результате реакций передачи при облучении мишени внутренним пучком тяжелых ионов, и при просмотре искать следы ионов, оканчивающихся двухлучевой протонной звездой.

Недостатком такого способа является то, что он позволяет регистрировать распад только с временем жизни больше 10^{-8} сек при условии, что энергия протонов - не меньше $0,5$ МэВ, тогда как предсказываемые, например, энергии распада и времена жизни 2p-радиоактивных изотопов в области легких ядер соответственно лежат в области $0,15 - 5$ МэВ и $10^{-6} - 10^{-10}$ сек ^{6/}.

В данной работе предлагаются методы обнаружения короткоживущих изотопов - продуктов ядерных реакций, удаленных от линии ядерной стабильности в области легких ядер, распадающихся путем испускания хотя бы одного нуклона, которые наряду с надежностью идентификации и возможностью регистрации продуктов ядерных реакций с временем жизни меньше 10^{-6} сек позволяют определять типы радиоактивного распада коротко-

живущих изотопов, время жизни которых по отношению к таким распадам меньше 10^{-8} сек, исключая зависимость регистрации от энергии распада.

Возможность решения перечисленных задач с помощью предлагаемых методов мы докажем на примере возможности использования их для обнаружения и измерения скорости предсказуемого двухпротонного распада изотопов.

Определение типа радиоактивного распада легких изотопов с испусканием хотя бы одного нуклона и измерение его скорости с помощью методики $(\Delta E, E)$ с ионизационной камерой в качестве ΔE - детектора

Если период полураспада, например, 2p - радиоактивных легких ядер, получаемых в результате прямых ядерных реакций, соизмерим с временем пролета их от мишени к телескопу и через ионизационную камеру, то образуется "трек" между "гиперболами", принадлежащими 2p-радиоактивному ядру Y с массой $(M+2)$ и зарядом $(Z+2)$ и его дочернему ядру X (M, Z) соответственно на плоскости $(\Delta E, E)$ /рис. 1а/.

Действительно, так как до распада ядро Y проходит путь в ионизационной камере Δx , а после него дочернее ядро X проходит путь $(\Delta x_0 - \Delta x)$ /рис. 1б/, то эффективная потеря энергии в таком случае

$$\Delta E(\Delta x) = \Delta E(Z+2, \Delta x) + \Delta E(Z, \Delta x_0 - \Delta x). \quad /2/$$

И, следовательно, всегда выполнимо соотношение

$$\Delta E(Z) \leq \Delta E(\Delta x) \leq \Delta E(Z+2). \quad /3/$$

Для простоты рассмотрения положим, что начальная энергия ядра Y $(M+2, Z+2)$ равна $E(Z+2)$, а сигнал на выходе E-детектора суммируется с сигналом от ΔE - детектора. Тогда на основании формулы Бете-Блоха для средних потерь энергии заряженной частицы при про-

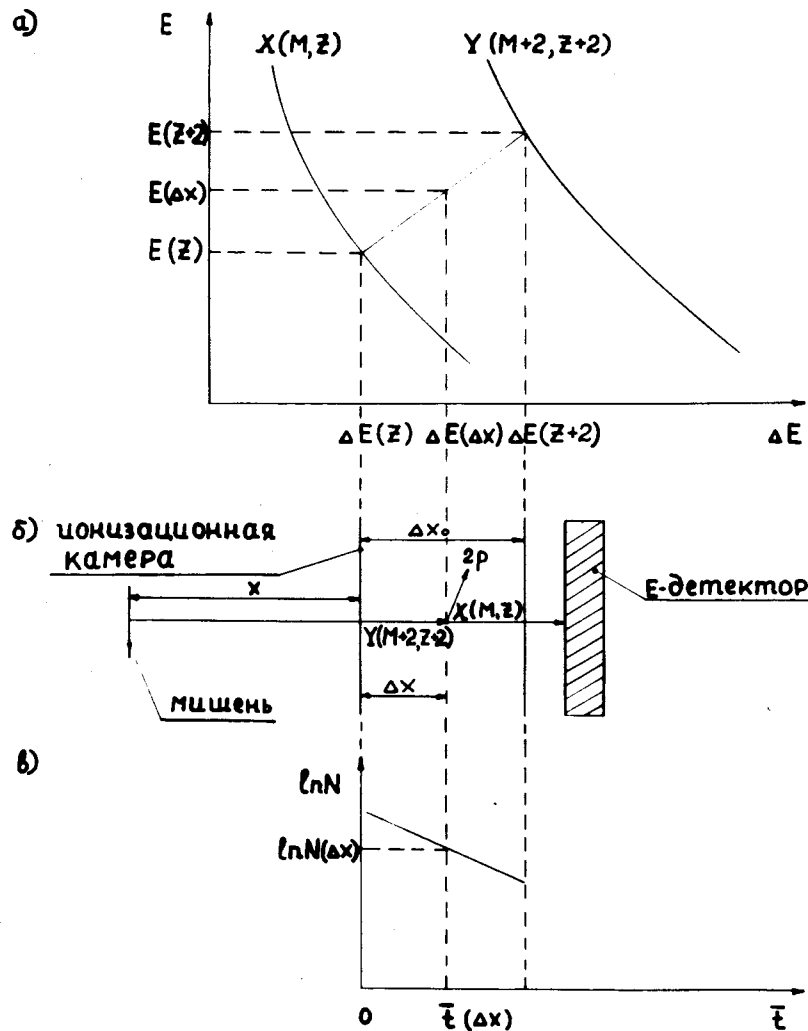


Рис. 1. Возможность обнаружения и измерения времен жизни $2p$ -радиоактивных легких ядер с помощью методики $(\Delta E, E)$ с ионизационной камерой в качестве ΔE -детектора.

хождении через детектор в нерелятивистском случае /7,8/ при условии

$$\Delta E < 0,3 E^{/9/}, \quad /4/$$

пренебрегая энергией $2p$ -распада, получим, что

$$\Delta E(\Delta x) \cong \Delta E(Z) + \frac{4(Z+1)}{Z^2} \Delta E(Z) \frac{\Delta x}{\Delta x_0} \quad /5/$$

и

$$E(\Delta x) \cong E(Z) + \frac{4(Z+1)}{Z^2} \Delta E(Z) \frac{\Delta x}{\Delta x_0}. \quad /6/$$

Таким образом, на плоскости $(\Delta E, E)$ через максимумы распределений ΔE из-за линейности функций /5/ и /6/ относительно Δx можно провести прямую, соединяющую "гиперболы" $X(M, Z)$ и $Y(M+2, Z+2)$. И, следовательно, число ядер Y , распавшихся в ионизационной камере в конце пути Δx , будет равно числу отсчетов $[N(\Delta x)]$ в распределении $\Delta E(\Delta x)$, лежащем на плоскости $E(\Delta x)$.

Так же легко определить среднее время пролета пути Δx в ионизационной камере ядра $Y(M+2, Z+2)$ до распада:

$$\bar{t}(\Delta x) \cong \Delta x \sqrt{\frac{M+2}{2E(Z+2)}} \left[1 + \frac{\Delta E(Z+2), \Delta x}{4E(Z+2)} \right]. \quad /7/$$

Зная $\bar{t}(\Delta x)$ и соответствующее число распавшихся ядер Y , равное числу отсчетов $N(\Delta x)$ в распределении $\Delta E(\Delta x)$ на плоскости $E(\Delta x)$, можно определить период полураспада /рис. 1в/.

Чтобы обеспечить соизмеримость времени пролета короткоживущих изотопов через ионизационную камеру с их периодом полураспада для увеличения надежности в определении типа радиоактивного распада изотопов и точности измерения его скорости, ионизационная камера в телескопе выполнена таким образом, что ее выходное окно с жестко закрепленным с ним полупроводниковым

детектором подвижно относительно входного окна вдоль движения в ионизационной камере продуктов ядерных реакций. Одна из возможных в этом случае конструкций телескопа приведена на рис. 2, в котором изменение расстояния между окнами камеры производится с помощью стержня, выведенного из контейнера телескопа через вакуумное уплотнение. В противном случае использование, например, конструкции телескопа, предложенной в работе /10/, с фиксированным расстоянием между окнами камеры, приведет к неопределенности в установлении типа распада и к ухудшению измерения его скорости из-за возможного укорачивания "трека" со стороны одной из гипербол" в зависимости от соотношения между фиксированным пробегом в рабочем чувствительном объеме камеры и скоростью распада анализируемого изотопа.

Определение типа радиоактивного распада легких изотопов с испусканием хотя бы одного нуклона и измерение его скорости с помощью методики (ΔE,E) с тонким полупроводниковым ΔE - детектором

Если вместо ионизационной камеры взять тонкий полупроводниковый ΔE -детектор, пробег частицы в котором для одной и той же потери энергии ΔE в среднем на три порядка меньше, чем в ионизационной камере, то в зависимости от x /расстояние от телескопа (ΔE,E) до мишени/, число отсчетов в распределениях ΔE(Z) и ΔE(Z+2) на соответствующих плоскостях E(Z) и E(Z+2) будет меняться при условии, что время пролета ядра Y(M+2, Z+2) от мишени до телескопа соизмеримо с его T_{1/2} 2p -распада. Тогда число распавшихся ядер Y(M+2, Z+2) → X(M,Z) за время

$$t(x_2) - t(x_1) = (x_2 - x_1) \sqrt{\frac{M+2}{2E(Z+2)}} \quad /8/$$

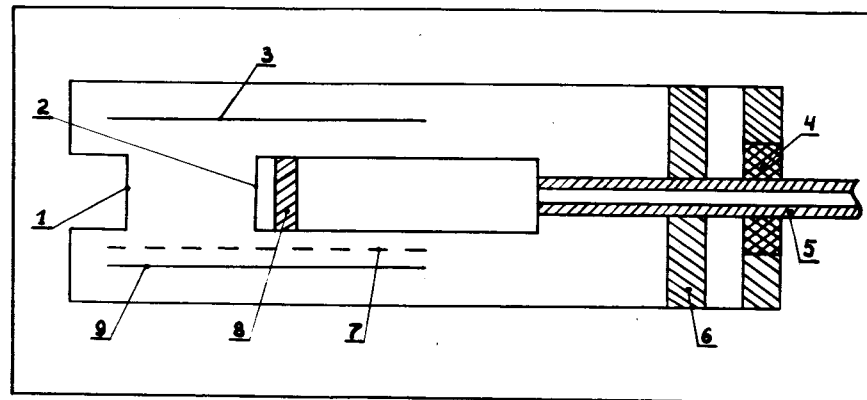


Рис. 2. Ионизационная камера для обнаружения короткоживущих изотопов. 1 - входное окно, 2 - выходное окно, 3 - высоковольтный электрод, 4 - вакуумное уплотнение, 5 - стержень, 6 - держатель стержня, 7 - сетка, 8 - E - детектор, 9 - собирающий электрод.

будет равно

$$N(x_2 - x_1) = N[\Delta E(Z+2), x_1] - N[\Delta E(Z+2), x_2] = \\ = N[\Delta E(Z), x_2] - N[\Delta E(Z), x_1]. \quad /9/$$

Определив $t(x)$ и $N(x)$, легко получить T_{1/2} 2p -радиоактивного ядра.

Следует отметить, что в некоторых случаях на основании энергетических спектров радиоактивных изотопов можно оценить из кинематики энергию их распада с помощью описанных выше методов.

Обсуждение возможностей предлагаемых методов

В качестве примера оценим область времен жизни радиоактивных ядер, которую можно измерить вышеописанными способами в конкретном случае. В основу оценок положим скорость ионов, ускоряемых в У-300 ОИЯИ, которая в среднем равна $\sim 4 \cdot 10^9$ см/сек. Так как расстояние от мишени до телескопа с полупроводниковым Е-детектором практически может изменяться от 1 до 100 см с соответствующим изменением эффективности регистрации в несколько раз из-за конечного диаметра рабочих площадей ΔE - и Е-детекторов, то область измеряемых времен жизни будет лежать от 10^{-7} до 10^{-1} сек. Для телескопа с ионизационной камерой в качестве ΔE -детектора расстояние между ее окнами может быть взято от 1 до 10 см, и тогда область измеряемых времен жизни будет лежать в пределах от 10^{-8} до 10^{-10} сек.

Под эту область измеряемых периодов полураспада попадает, например, время жизни возможного $2p$ -распада изотопа ^{12}O , которое по теоретическим оценкам, по отношению к этому распаду лежит в районе 10^{-6} сек^{1/6}. Экстраполяция экспериментальных данных по реакциям передачи дает сечение для реакции (^{16}O , ^{12}O) в области 10^{-29} см² /11/. А чувствительность методики ($\Delta E, E$) лежит в районе 10^{-30} см² /12/. Следовательно, имеется возможность для обнаружения ядра ^{12}O и измерения его времени жизни по отношению к $2p$ -распаду вышеописанными способами.

В заключение автор благодарит Г.Н.Флерова за интерес к работе, а также выражает благодарность В.В.Волкову и В.А.Карнаухову за ее обсуждение.

Литература

1. Г.Н.Флеров. Препринт ОИЯИ, Е7-6153, Дубна, 1972.
2. Fred S.Goulding et al. IEEE Trans. on Nucl. Scien., vol. NS-II, No. 3, June, 1964.
3. А.Г.Артюх и др. Препринт ОИЯИ, Е7-4857, Дубна, 1969.

4. В.А.Карнаухов, Лу Си-мин. ЖЭТФ, т. 47, вып. 4/10/. 1270 /1964/.
5. В.И.Гольданский. ЖЭТФ, 39, 497 /1960/; Nucl. Phys., 19, 482 (1960); V.I.Goldansky. Nucl.Phys., 27, 648 (1961).
6. J.Janecke. Nucl.Phys., 61, 326 (1965).
7. H.A.Bethe. Ann.der Phys., 7, 5, 325 (1930).
8. F.Bloch. Zs. f. Phys., 81, 363 (1933).
9. Г.Н.Зорин, М.Е.Глушковский. Препринт ОИЯИ, P15-8185, Дубна, 1974.
10. Carl E.Anderson et al. Nucl. Instr. and Meth., 13, 238 (1961).
11. L.Pomorski et al. Proc. of the Third Conf. on Reactions between Complex Nuclei (University of California Press), 135 (1963).
12. В.В.Волков и др. Препринт ОИЯИ, Е7-4071, Дубна, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 августа 1974 года.