

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-87-150

Ю.М.Гледенов, Н.И.Квиткова, М.П.Митриков,
Р.С.Митрикова, В.Г.Тишин, Фунг Ван Зуан

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ И СПЕКТРОМЕТРИЯ
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ПРИ ПОМОЩИ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ
С ДВУМЯ СЕТКАМИ**

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

1987

В последние годы снова возник интерес к ионизационной камере с двумя сетками (ИКДС) – одному из традиционных видов детекторов для альфа-спектроскопии /1-4/ – в связи с выявлением ее новых возможностей. Так, в работе /5/ была показана возможность ее применения в изучении распределения по массам и углу вылета фрагментов деления ядер, а в сообщении /6/ – для идентификации низкоэнергетических заряженных частиц.

В настоящей работе описана усовершенствованная методика с использованием ИКДС для идентификации и спектрометрии низкоэнергетических заряженных частиц с близкой энергией, но различным значением произведения их массы на заряд, в частности для идентификации протонов на фоне альфа-частиц, что является важным при исследовании реакции (n, p) на медленных нейтронах для радиоактивных ядер-мишеней /6/.

В методике используется тот факт, что пробеги заряженных частиц разного сорта с близкой энергией могут существенно отличаться по величине. Так, при одинаковых условиях в ионизационной камере пробеги протонов с энергией 1–2 МэВ в 2–7 раз больше, чем у фоновых альфа-частиц из реакций ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ ($E_\alpha = 2,05$ МэВ) и ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ ($E_\alpha = 1,47$ и $1,78$ МэВ) /7/. Если мишень (источник заряженных частиц) помещена на поверхности катода плоской ионизационной камеры М (рис.1), то сеткой S_1 можно выделить объем (I) около мишени, в котором поглощается вся энергия альфа-частиц, а большинство протонов теряет только часть своей энергии. Расположение экранирующей сетки S_2 и давление рабочего газа в камере подбираются так, чтобы пробег протонов полностью укладывался в объеме между мишенью и сеткой S_2 . Вылет каждой заряженной частицы с мише-

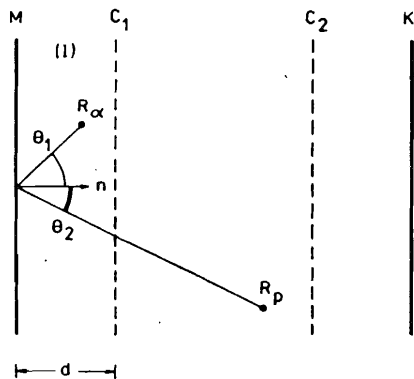


Рис. I. Схема плоской ионизационной камеры с двумя сетками. М — мишень; С₁ — дополнительная сетка; С₂ — экранирующая сетка; К — коллектор; n — нормаль к плоскости мишени; R_p, R_α — пробеги протонов и альфа-частиц; θ — угол вылета.

ни сопровождается появлением соответствующих сигналов с мишени и коллектора ИКДС, причем первый достигает своей амплитуды раньше, чем второй, на некоторое время t_0 , зависящее от рабочего газа, расстояний и электрического поля между электродами. Амплитуда сигнала с коллектора прямо пропорциональна энергии частицы, в то время как для амплитуды наблюдаемого сигнала V , снимаемого с мишени, на основе теоремы Рамо-Шокли (см., например, /8,9/) можно получить следующее выражение:

$$V = a + b \cdot \Delta E \cdot \left(1 - \frac{X \cdot \cos \theta}{d}\right), \quad (I)$$

где a — коэффициент, учитывающий реальный сдвиг нулевого уровня амплитудного спектрометра; b — коэффициент пропорциональности; d — расстояние от мишени (М) до сетки С₁ в ИКДС; θ — угол вылета частицы относительно нормали к плоскости мишени (\vec{n}); ΔE — часть энергии частицы, поглощенная в выделенном газовом объеме (I); X — центр тяжести части ионизационного трека, заключенной в объ-

еме (I). При заданных значениях d и энергии частицы величины ΔE и X зависят от угла вылета θ , удельной ионизационной потери частицы в рабочем газе, а также от глубины слоя мишени, из которого вылетает частица. Из соотношения (I) следует, что для фоновых альфа-частиц амплитудный спектр (АС), полученный с мишени камеры, сосредоточен в узком интервале около максимальной амплитуды $V_{max} = a + b \cdot \Delta E$, в то время как для протонов с близкой энергией этот спектр более растянутый, но в основном группируется в области более низкой энергии, чем для фоновых альфа-частиц. Таким образом, измерив два АС в режиме совпадений (со сдвигом t_0) — один с мишени, а другой с коллектора ИКДС, и затем, обрабатывая АС с коллектора в подходящем амплитудном окне спектра с мишени, можно отделить протоны от фоновых альфа-частиц.

Для реализации методики была изготовлена двухсекционная плоская ионизационная камера, состоящая из двух идентичных ИКДС с общим электродом М, на поверхности которого с одной стороны помещена мишень для исследуемой реакции, а с другой стороны — калибровочная мишень. Сетки ИКДС были намотаны из вольфрамовой нити диаметром 100 мкм и шагом 2 мм. Расстояния мишень-сетка С₁, сетка С₁-сетка С₂, сетка С₂-коллектор составляли 2, 4 и 2 см соответственно. Рабочим газом служит смесь Ar + 3,5% CO₂. Калибровка сигналов с коллектора (К) и мишени (М) ИКДС по энергии проводилась с помощью убоирающегося уранового альфа-источника и реакции на калибровочной мишени (например, ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$). Подбором потенциалов на электродах М, С₁ и С₂ было получено энергетическое разрешение 100 кэВ для альфа-частиц с энергией 4,8 МэВ от уранового альфа-источника (АС с коллектора ИКДС). Работа аппаратуры в первом варианте ее реализации была продемонстрирована в /6/. На рис.2а показана блок-схема используемой аппаратуры после ее усовершенствования. Для значительного снижения фона случайных совпадений, что особенно важно при работе с радиоактивными мишенями и на нейтронном пучке,

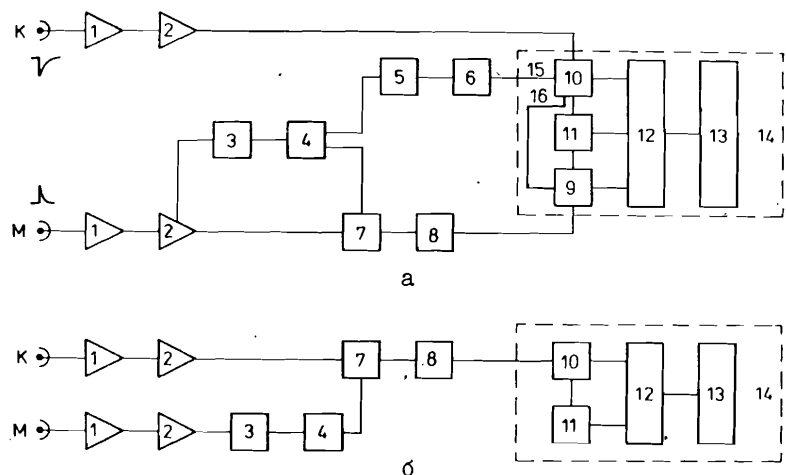


Рис.2. Блок-схема измерительной аппаратуры (а) и ее упрощенный вариант (б). 1 - предусилитель; 2 - линейный усилитель; 3 - быстрый дискриминатор; 4 - быстрый формирователь сигнала; 5 - преобразователь сигнала *NiM* в TTL; 6 - блок логической задержки и расширения сигнала; 7 - линейные ворота; 8 - эмиттерный повторитель; 9, 10 - амплитудные кодировщики; 11 - временной кодировщик; 12 - ЭЗМ СМ-3; 13 - магнитофон; 14 - измерительный модуль; 15 и 16 - связи управления.

введена связь управления (16) между двумя амплитудными кодировщиками (АК) 9 и 10. За счет этой связи разрешается регистрация сигнала с мишени в АК (9) только при наличии сигнала с коллектора с амплитудой выше выбранного порога. Для этой цели в АК (9) /10/ сигнал с мишени удлиняется по схеме стретчера, имеющегося в АК (9) перед схемой линейного пропускания, дополнительно на некоторое время $\tau \approx t_0 + t_1$, где t_1 - длительность импульса управления (16), и стробируется импульсным управлением (16). Благодаря этому удается уменьшить фоновую загрузку для АК (9) в десятки раз в зависи-

мости от величины выбираемого порога работы АК (10), тем самым увеличивается и полезное время работы анализатора в целом. Управление (16) играет ведущую роль по сравнению с управлением (15) (см. рис.2а), так как при больших фоновых нагрузках детектора управление (15) плохо функционирует и его можно убрать. Управление процессом накопления информации на магнитной ленте осуществляется программным путем. Для обработки накопленной информации была выполнена совокупность программ, позволяющих получить на ЭЗМ РДР-II/70 следующие спектры для событий, совпадающих по времени:

- 1) временной спектр (ВС) в заданном амплитудном окне;
- 2) АС во временном окне;
- 3) АС во временном окне и одновременно в окне другого АС;
- 4) ВС в окне АС с коллектора и одновременно в окне АС с мишени.

Методику можно применять и в более упрощенном варианте (блок-схема на рис.2б), где сигнал с мишени служит только для управления, а на вход блока линейных ворот (7) подается сигнал с выхода линейного усилителя (2) тракта коллектора. В этом варианте можно получить АС с коллектора только в одном, заранее установленном порогами дискриминатора (3), окне АС с мишени, но зато можно использовать вместо измерительного модуля (14) любой простой амплитудный анализатор, что делает методику доступной для более широкого практического применения.

Методика с использованием ИКДС позволяет уменьшить фон в АС и ВС в 5-6 раз, улучшить соотношение эффекта к фону в 3-4 раза, осуществлять измерения в $2\mathcal{L}$ -геометрии на мишени большей площади (до 500 см^2 в нашей ИКДС), что является особенно важным для исследования реакций с малым выходом заряженных частиц и/или при наличии большого фона. С помощью методики можно идентифицировать низкоэнергетические заряженные частицы с близкой энергией, но различным значением произведения массы на заряд, а также осуществлять

угловой отбор заряженных частиц, вылетающих с мишени. Благодаря такому отбору удается правильно зафиксировать положения пиков в АС даже в условиях плохого энергетического разрешения.

Для иллюстрации на рис.3 приведены АС с коллектора, полученные в различных окнах АС с мишени при исследовании реакции $^{36}\text{Cl} (n, p) ^{36}\text{S}$ на тепловых нейтронах (использовалась толстая радиоактивная мишень ^{36}Cl I мг/см²):

- а) в "полном" окне спектра с мишени (то есть без отбора);
- б) в "протонном" окне, в котором сосредоточено большинство отсчетов от протонов из исследуемой реакции;
- в) в окнах альфа-частиц из фоновой реакции $^{10}\text{B} (n, \alpha) ^7\text{Li}$ на микропримеси изотопа ^{10}B в веществе мишени ^{36}Cl : светлые кружки - достаточно широкое окно, включающее отсчеты от альфа-частиц, независимо от угла их вылета из мишени; черные кружки - узкое окно около максимальной энергии альфа-частиц I,47 МэВ, которое

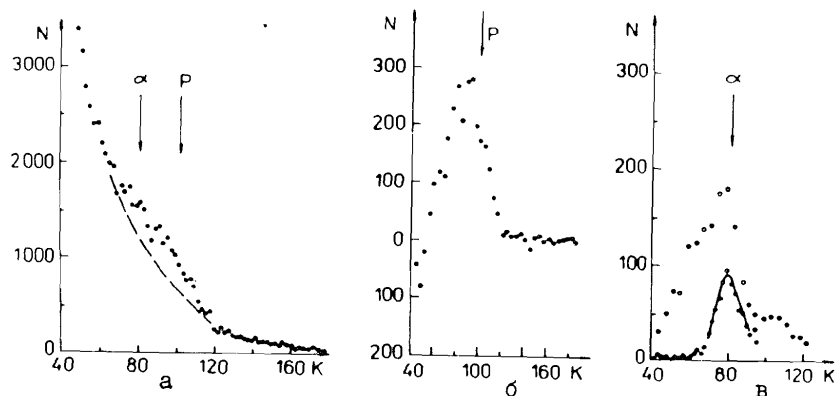


Рис.3. Амплитудные спектры с коллектора ИКДС в реакции $^{36}\text{Cl} (n, p) ^{36}\text{S}$ на тепловых нейтронах, полученные в разных окнах (а, б, в) АС с мишени. К - номер канала, N - число отсчетов. Стрелки α и P показывают положения пиков от альфа-частиц ($E_\alpha = 1,47$ МэВ) и протонов ($E_p = 1,87$ МэВ) соответственно.

включает только отсчеты от альфа-частиц, вылетающих из поверхностного слоя мишени почти под скользящим углом ($\theta \approx 90^\circ$). Видно, что отбор с помощью узкого окна АС с мишени позволяет установить положение пика даже при наличии в камере радиоактивной мишени ^{36}Cl , ухудшающей энергетическое разрешение почти в 3 раза, с той же точностью, что и без нее. При использовании толстой мишени указанный отбор дает возможность получить энергетическое разрешение детектора, как и для случая тонкой мишени. Площадь полного α -пика (рис.3в, светлые кружки) почти в полтора раза меньше, чем площадь P-пика (рис.3б), и их сумма хорошо согласуется с площадью, полученной из АС с коллектора без отбора (рис.3а) после вычета фона (пунктирная линия). Это показывает перспективность методики с использованием ИКДС для идентификации и спектрометрии низкоэнергетичных заряженных частиц.

С помощью описанной методики было выполнено исследование (n, p)-реакции в области энергии нейтронов $E_n < 1$ кэВ для радиоактивных мишеней ^{88}Y , ^{36}Cl и ^7Be /II/ с активностью до $3,5 \cdot 10^8$ Бк. Возможности применения этой методики для изучения распределения заряженных частиц по углу вылета из мишени в условиях плохого энергетического разрешения и близости энергии исследуемых и фоновых частиц сейчас исследуются.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Ю.П.Попова за постоянную поддержку и внимание к работе, В.И.Салацкого, А.Д.Антонова, Т.М.Островную и А.М.Сухового за оказанную помощь.

Литература

1. Альфа-, бета- и гамма-спектроскопии, вып. I /Под ред. К.Зигбана/, М.: Атомиздат, 1969, с.316.
2. Бочагов Б.А., Воробьев А.А., Комар А.П.-Изв. АН СССР. Сер.Физ., 1956, т.20, № 12, с.1455.

3. Королев Г.А., Кочаров Г.Е.-Изв. АН СССР. Сер.Физ., 1960, т.24, № 3, с.357.
4. Ogawa I., Doke T.-J.Phys.Soc.Japan, 1961, v.16, No.5, p.1025.
5. Cherpigin V.I. et al.-Nucl.Instr.and Meth., 1984, v.220, No.2,3, p.419.
6. Антонов А.Д. и др. ОИЯИ, РЗ-86-344, Дубна, 1986.
7. Немец О.Ф., Гофман Ю.В. Справочник по ядерной физике. Киев: Наукова думка, 1975.
8. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоиздат, 1985, с.121.
9. Векслер В., Грошев Л., Исаев Б. Ионизационные методы исследования излучений. М.-Л.: Гос.издат. технико-теоретической литературы, 1949, с.150.
10. Барабаш И.П. и др. ОИЯИ, П-85-22, Дубна, 1985.
11. Гледенов Ю.М. и др. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ., № П7-86, Дубна, 1986, с.36.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 марта 1987 года.

Гледенов Ю.М. и др. 13-87-150
Идентификация и спектрометрия низкоэнергетических
заряженных частиц при помощи ионизационной камеры
с двумя сетками

Описана методика с использованием ионизационной камеры с двумя сетками для идентификации и спектрометрии низкоэнергетических заряженных частиц с близкой энергией, но различным значением произведения их массы на заряд. Методика позволяет проводить многомерные измерения совпадающих импульсов с катода и анода ионизационной камеры. Схема отбора обеспечивает надежную идентификацию заряженных частиц разного сорта с близкой энергией и существенное улучшение соотношения эффекта к фону в условиях плохого энергетического разрешения из-за отсутствия в камере радиоактивной мишени. Методика была применена в исследовании реакций (n,p) на медленных нейтронах для радиоактивных мишеней ${}^7\text{Be}$, ${}^{36}\text{Cl}$, ${}^{88}\text{Y}$.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Gledenov Yu.M. et al. 13-87-150
Identification and Spectrometry Analysis of Low Energy Charged
Particles by Using the Ionization Chamber with Two Grids

The method is described which employs the ionization chamber with two grids for the identification and spectrometry analysis of low energy charged particles at near energies by products of mass by charge. The method allows one to perform multidimensional measurements of coinciding pulses from the cathode and anode of the ionization chamber. The selection scheme ensures reliable identification of different particles having near energies and improves essentially the effect-background relation under low energy resolution due to the presence of the radioactive target in the chamber. The method was used in the study of the (n,p) reaction on low neutrons for radioactive targets ${}^7\text{Be}$, ${}^{36}\text{Cl}$, ${}^{88}\text{Y}$.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987