

## СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ МЕТОДОМ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ

И. Л. ЕГАНЯН, А. Г. МАЛОЯН, К. И. ПЮСКЮЛЯН,  
С. Р. ШАХАЗИЗЯН

Описан спектрометр, предназначенный для исследований угловых распределений аннигиляционных квантов в веществах. Исследовано влияние приборной линии на экспериментальные кривые для дюралюминия. Исследованы некоторые металлы, а также сплавы  $Ni_3(Fe, 0,9 \text{ ат.}\% Mo)$  и  $Ni_3(Fe, 11,5 \text{ ат.}\% Si)$  после закалки и после термической обработки. Оказалось, что полуширины кривых отличаются соответственно на 3,5 и 6,6%.

В последнее время исследование аннигиляции позитронов, как метод изучения особенностей электронной структуры вещества, приобретает большое значение. Нами сконструирован и собран спектрометр для изучения углового распределения аннигиляционных квантов, возникающих в исследуемом образце.

### 1. Спектрометр

Спектрометр выделяет пару аннигиляционных  $\gamma$ -квантов, возникающих при попадании позитронов в исследуемые образцы, и измеряет счет совпадений как функцию малого угла вокруг  $180^\circ$ .

Спектрометр состоит из следующих частей:

- 1) быстродействующей схемы совпадений,
- 2) механической части,
- 3) системы детекторов и источника.

Быстродействующая схема совпадений описана нами в работе [1]. Схематическое расположение детекторов и источника приведено на рис. 1.

#### *а) Механическая часть*

Механическая часть спектрометра смонтирована на столе, на котором крепятся направляющие длиной до 2 м для размещения детекторов. Перед обоими детекторами установлены коллиматоры, вырезающие из потока  $\gamma$ -квантов, испускаемых образцом, небольшую часть телесного угла, обусловленную в горизонтальной плоскости всей шириной детекторов, а в вертикальном направлении регулируемую в пределах  $1 \div 10$  мм в зависимости от характера эксперимента. Глубина обоих коллиматоров—10 см, что обеспечивает надежную защиту детекторов от паразитного  $\gamma$ -излучения. Один из детекторов неподвижен, а другой движется в вертикальной плоскости в пределах  $\pm 40 \cdot 10^{-3}$  рад относительно  $180^\circ$ . Юстировка спектрометра проведена при помощи газового лазера. Исследования показали, что лазерный луч, проходя последовательно через приемную щель подвижного

детектора, центр образца и приемную щель неподвижного детектора, полностью исчезает при изменении положения подвижного детектора на угол  $\pm 1$  мрад. Движение подвижного детектора управляется дистанционно при помощи угломерной линейки со скользящим контактом, связанным со световым табло. Время прохождения движущимся детектором диапазона углов от  $-40$  до  $+40$  мрад составляет около 4 мин, минимально измеряемый угол — 1 мрад. В центре стола расположено приспособление для размещения образцов, над которым находится массивный свинцовый коллиматор для радиоактивного изотопа. Предусмотрена возможность регулировки расстояния от изотопа до образца в пределах  $0,5 \div 10$  см.

### б) Система детекторов и источник

В качестве детекторов  $\gamma$ -излучения в нашем спектрометре применяются сцинтилляционные кристаллы  $NaI(Tl)$  цилиндрической формы с размерами  $40 \times 40$  мм. Разрешающая способность детекторов на  $\gamma$ -линии  $h\nu = 1332,5$  кэв от  $Co^{60}$  равна примерно 8%, а эффективность регистрации ими аннигиляционного излучения  $h\nu = 511$  кэв составила около 75%.

Высокотемпературный источник позитронов  $Na^{22}$  представляет собой диск из пирекса, в поверхностный слой которого методом диффузионного отжига внедрен радиоактивный  $Na^{22}$ . Активность источника — 3 мкюри.

## 2. Исследование характеристик спектрометра

### а) Фон

Прямое измерение фона для подобных приборов довольно затруднительно. Позитроны от  $Na^{22}$  имеют максимальную энергию 547 кэв и проникают в образцы на глубину до 1 мм в зависимости от вещества. Поэтому удаление образца обеспечивает позитронам возможность попадать на части спектрометра, прикрываемые образцом, что существенным образом искажает измеряемый фон. Согласно Грину и Стюарту [2], фон спектрометра, работающего в режиме экранированного эмиттера, незначителен. Особенно он подавлен со стороны положительных вертикальных углов, поскольку в этом положении коллиматор, содержащий источник, защищает подвижный детектор от рассеянных  $\gamma$ -лучей. Действительно, на кривых углового распределения аннигиляционных квантов спады в области положительных углов, больших  $15 \cdot 10^{-3}$  рад, доходят почти до нуля. Спады кривых в области отрицательных углов составляют 5—7% от счета на максимумах. Согласно [2], этот фон обусловлен рассеянными позитронами. Экспериментальный фон определяется путем вычитания из измеренной кривой углового распределения аннигиляционных квантов некоторой малой доли счета совпадений, полученной проведением прямой через значения счета совпадений на дальних спадах экспериментальной кривой.

### б) Разрешающая способность прибора

Согласно [2], приборная форма линии представляет собой симметричную кривую, на краях и в вершине несколько сглаженную относительно треугольного распределения, характерного для идеальной геометрии (точечный источник и щели с нулевой глубиной). Полуширина ее слегка превышает высоту щелей в угловых единицах.

В целях экспериментального определения влияния приборной разрешающей способности на экспериментальные кривые мы провели серию измерений углового распределения аннигиляционных квантов от образца дюралюминия при различной высоте приемных щелей детектора. Были сняты кривые при высоте щелей 1,5; 3; 5; 8 и 10 мм. Как и ожидалось, кривые отличаются возрастанием полуширины в зависимости от увеличения высоты щелей. Результаты этих измерений представлены на рис. 2. Из кривой видно, что она изображает довольно сложную зависимость вклада геометрического разрешения прибора в экспериментальную кривую углового распределения аннигиляционных квантов. Экстраполируя кривую на рис. 2 в область нулевой высоты щелей, получим «физическую» полуширину

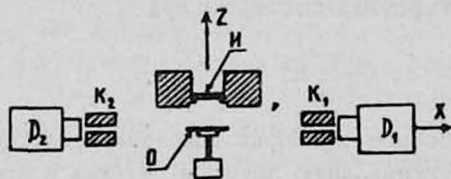


Рис. 1.

Рис. 1. Схематическое расположение детекторов и источника спектрометра:  $D_1$ ,  $D_2$ —сцинтилляционные детекторы,  $K_1$ ,  $K_2$ —свинцовые коллиматоры,  $I$ —источник,  $O$ —образец.

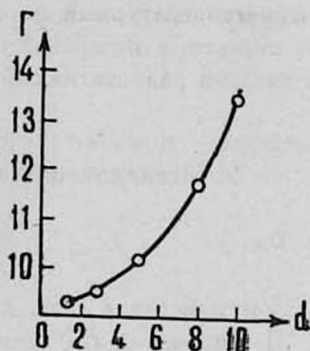


Рис. 2.

Рис. 2. Зависимость полуширины от высоты приемных щелей для дюралюминия:  $d$ —высота приемных щелей коллиматора в мм,  $\Gamma$ —полуширина аннигиляционных кривых в мрад.

ну кривой для дюралюминия, равную 9,1—9,2 мрад. Под «физической» полушириной кривой здесь понимается полуширина кривой распределения свободных электронов по импульсам в образце. Поскольку измерения проводились при расположении детекторов на расстоянии 100 см от образцов, то полуширины измеренных кривых выражены в мрад. Оказалось, что при высоте щелей до 5 мм экспериментальные кривые не испытывают сильного уширения относительно «физической» полуширины линий. Например, при высоте щелей 1,5 мм уширение равно 0,1 мрад, при щелях высотой 3 мм — 0,3 мрад. При увеличении высоты щелей до 10 мм геометрическое уширение кривой уже составляет 47% от физической полуширины.

Эти измерения помогают при подборе оптимальной геометрии для работы прибора в различных режимах. Следует отметить, что зависимость счета совпадений от высоты приемных щелей квадратичная, поэтому излишнее сужение высоты щелей приводит к увеличению экспозиции для каждой точки измерений.

### 3. Угловое распределение аннигиляционных квантов от некоторых образцов

С целью выяснения возможностей прибора были проведены измерения углового распределения аннигиляционных квантов от некоторых металлов и сплавов. Все измерения были проведены в одних и тех же условиях: сохранялось неизменным и расстояние от детекторов до образцов, и высота приемных щелей (3 мм). Угловые распределения для *Be*, *Cu*, *Pb*, *Ni*, *Mo* и *Nb* изображены на рис. 3. Все кривые приведены к одной и той же высоте и, во избежание их слияния, сдвинуты по оси ординат. Средне-

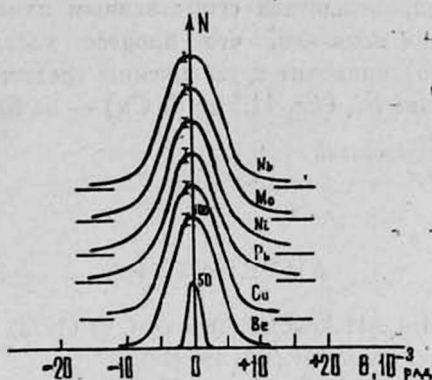


Рис. 3. Кривые угловых корреляций аннигиляционных квантов для различных элементов. По оси ординат — вертикальные углы  $\theta \cdot 10^{-3}$  рад, по оси абсцисс — счет совпадений  $N$  в единицу времени.

квадратичные ошибки точек показаны в области максимумов кривых. В нижней части рис. 3 приведена кривая, изображающая приборное разрешение. Известно, что кривые углового распределения аннигиляционных квантов от различных металлов [3, 4] имеют достаточно хорошо выраженные центральные части и так называемые «хвосты». Центральные части для щелочных металлов описываются зависимостью параболического характера и отображают импульсное распределение электронов проводимости. Такой же характер имеют кривые и для *Be* и *Pb*. В случае *Pb* довольно велики «хвосты», что, обычно, объясняют эффектом исключенного «объема» [5], согласно которому позитрон не может проникнуть внутрь ионного остова и аннигилирует только с электронами в междуузлье. Таким образом, для позитронов исключается некоторый объем, в который он может попасть. Доля этого объема растет с увеличением атомного номера элемента, т. е. она велика в случае *Pb*. Для переходных металлов, к которым относятся *Cu* и *Ni*, как известно из литературы, анализ при помощи парабол



неприменим, ибо кривые для них имеют колоколообразный вид. Кривые для  $Mo$  и  $Nb$  имеют также колоколообразную форму, характерную для благородных и переходных металлов, и несколько большую полуширину, чем остальные.

Были проведены также измерения угловых распределений аннигиляционных квантов на образцах металлических тройных твердых растворов  $Ni_3(Fe, 0,9 \text{ ат.}\% Mo)$  и  $Ni_3(Fe, 11,5 \text{ ат.}\% Cu)$  в двух состояниях: после закалки и после медленного отжига ( $T=430^\circ C$ , выдержка 10 час, закалка в воде).

В рассматриваемых сплавах при определенных условиях термообработки реализуется фазовый переход типа порядок—беспорядок. В частности, в сплавах системы  $Ni_3(Fe, Mo)$  упорядочивающая термообработка приводит к установлению положительного ближнего порядка, а в сплавах системы  $Ni_3(Fe, Cu)$  наряду с этим наблюдается образование областей с отрицательным ближним порядком.

Согласно [6], процесс упорядочения в сплавах на основе переходных металлов должен сопровождаться существенным изменением электронной структуры. Измерения показали, что процесс упорядочения в сплаве  $Ni_3(Fe, 0,9 \text{ ат.}\% Mo)$  приводит к увеличению среднего импульса электронов на 3,5%, а в сплаве  $Ni_3(Fe, 11,5 \text{ ат.}\% Cu)$  — на 6,6%.

Институт физических исследований  
АН АрмССР

Поступила 20.II.1975

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. М. Вирабян и др. Изв. АН АрмССР, Физика, 1, 93 (1972).
2. R. Green, A. Stewart. Phys. Rev., 28, 486 (1955).
3. G. Lang, S. De Benedetti, R. Smoluchowski. Phys. Rev., 99, 596 (1955).
4. A. T. Stewart. Positron annihilation, Academic Press, New York—London, 1967, p. 17.
5. G. Lang, S. De Benedetti. Phys. Rev., 108, 914 (1957).
6. М. А. Криволаз, А. А. Смирнов. Теория упорядочивающихся сплавов, Физматгиз, 1958.

#### ՊԻՆԻ ՄԱՐԲԻՆՆԵՐՈՒՄ ՊՈՋԻՏՐՈՆՆԵՐԻ ԱՆԻՀԻԼԱՑԻԱՑԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ԻՄՊՈՒԼՍԱՑԻՆ ԲԱՇԽՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՍՊԵԿՏՐՈՄԵՏՐ

Ի. Լ. ԵԳՆՅԱՆ, Ա. Գ. ՄԱՂՈՑԱՆ, Կ. Ի. ՓՅՈՒՍԿՈՒԼՅԱՆ, Ս. Ռ. ՇԱԽԱԶԻԶՅԱՆ

Նկարագրված է սպեկտրոմետր, որը նախատեսված է նյութերում էլեկտրոնների իմպուլսային բաշխումը ուսումնասիրելու համար պոզիտրոնների երկֆոտոնային անհիլյացիայի քվանտների անկյունային բաշխումների չափման միջոցով: Ուսումնասիրված է դյուրալյումինիումի էքսպերիմենտալ կորերի վրա գործիքային զծի ազդեցությունը: Ուսումնասիրված են որոշ մետաղներ, ինչպես նաև  $Ni(Fe, 0,9 \text{ ատ}\% Mo)$  և  $Ni(Fe, 11,5 \text{ ատ}\% Cu)$  համաձուլվածքները կոֆումից հետո: Պարզվում է, որ կորերի կիսալայնությունները տարբերվում են համապատասխանաբար 3,5 և 6,6%:

## A SPECTROMETER FOR THE INVESTIGATION OF ELECTRON PULSE DISTRIBUTION IN SOLID STATES BY MEANS OF POSITRON ANNIHILATION METHOD

I. L. EGANYAN, A. G. MALOYAN, K. I. PUSKULYAN,  
S. R. SHAKHAZIZYAN

A spectrometer intended for the investigation of the angular distribution of annihilation photons in substances is described. The influence of the spectrometer resolution on experimental curves for duraluminum is investigated. Some metals, as well as *Ni(Fe, 0,9 at. % Mo)* and *Ni(Fe, 11,5 at. % Ga)* alloys were investigated after the tempering and the heat treatment. The halfwidth of the curves is shown to vary by 3,5 and 6,6% respectively.