

## 2. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ НЕЙТРОНОВ

Спектрометр быстрых нейтронов состоит из сцинтилляционного детектора с кристаллом стильбена, линейного усилителя и амплитудного анализатора импульсов. Стильбен содержит в своем составе много ядер водорода. Быстрые нейтроны в упругих столкновениях образуют в стильбене протоны отдачи. Энергия протонов отдачи распределяется равномерно от нуля до полной энергии нейтрона. В свою очередь, протон вызывает в фосфоре вспышку света. Интенсивность этой вспышки однозначно связана с энергией протона. Путем анализа амплитуд импульсов с выхода детектора получают энергетический спектр протонов отдачи.

Вследствие равномерного характера передачи энергии нейтроном протону форма спектральной линии спектрометра нейтронов с кристаллом стильбена представляет непрерывное распределение амплитуд в форме прямоугольника. Если на фосфор падают нейтроны различных энергий, то происходит наложение амплитудных распределений от каждой энергии нейтронов. Результирующее амплитудное распределение, измеренное амплитудным анализатором, представляет ступенчатую кривую. Эту кривую при обработке экспериментальных результатов разлагают на отдельные прямоугольные ступеньки, соответствующие нейтронам определенных энергий. Площадь под каждой прямоугольной ступенькой пропорциональна потоку нейтронов с энергией, соответствующей максимальному значению амплитуды импульса в ступеньке. Как правило, обработку экспериментальных амплитудных распределений в спектрометре с кристаллом стильбена производят на электронно-вычислительных машинах. Программа обработки включает не только разложение экспериментальных распределений, но и введение поправок на эффективность стильбена к нейтронам разных энергий, на зависимость светового выхода в фосфоре от энергии протонов отдачи и т. д.

Светосила нейтронного спектрометра с кристаллом стильбена определяется эффективностью детектора, так как кристалл служит входом спектрометра. Эффективность детектора  $\varepsilon$  для параллельного пучка нейтронов, нормально падающего на кристалл толщиной  $\delta$ , равна

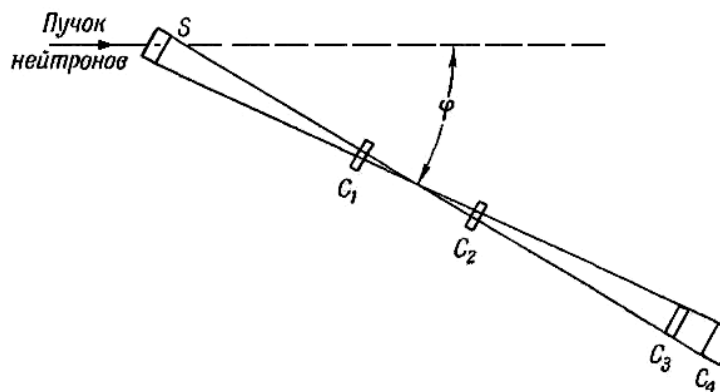
$$\varepsilon = 1 - e^{-\sigma_s N \delta}, \quad (1)$$

где  $N$  - число протонов в  $1 \text{ см}^3$  фосфора;  $\sigma_s$  - сечение рассеяния нейтронов на водороде,  $\text{см}^2$ ;  $\delta$  - толщина фосфора, см.

При регистрации нейтронов кристаллом стильбена всегда возникает проблема разделения импульсов от нейтронов и  $\gamma$ -квантов. Эта же проблема существует и при спектрометрии нейтронов спектрометром с кристаллом стильбена. Амплитуда импульса от  $\gamma$ -кванта с энергией, равной энергии протона отдачи, сравнима с амплитудой импульса от протона отдачи или даже больше ее. Поэтому при большом  $\gamma$ -фоне спектрометрия нейтронов становится невозможной. Влияние  $\gamma$ -фона на экспериментальное распределение амплитуд импульсов можно уменьшить, если использовать особенность механизма высвечивания света стильбеном после поглощения в нем заряженной частицы. Световая вспышка в стильбене состоит из быстрой и медленной компонент. Каждая компонента характеризуется своей постоянной высвечивания. Быстрая компонента спадает с постоянной  $\tau < 2 \cdot 10^{-8}$  сек, а медленная - с постоянной  $\tau = (0,2 \div 0,4) \cdot 10^{-6}$  сек.

Количество света, приходящегося на быструю и медленную компоненты, зависит от типа заряженной частицы. Например, при поглощении в стильбене протона и электрона с равными энергиями количество света в медленной компоненте для протона в два раза больше, чем для электрона. Это свойство используют для выделения импульсов от нейтронов из смеси импульсов от нейтронов и  $\gamma$ -квантов. Импульсы, обусловленные нейтронами, выделяют с помощью специальных радиосхем, которые являются частью спектрометра. Светосила нейтронного спектрометра со схемой подавления  $\gamma$ -фона не превышает 10% при эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов около 0,01%.

Для частиц больших энергий (50-300 МэВ) сцинтилляционный выход органических кристаллов почти линейно растет с увеличенной энергии, следовательно, это свойство может быть использовано для регистрации протонов отдачи из водородсодержащего рассеивателя при спектрометрии нейтронов больших энергий. Для изучения частиц больших энергий был сконструирован и отградуирован сцинтилляционный спектрометр, представляющий собой телескоп из кристаллических счетчиков. На **Рис. 1** показано расположение кристаллов, использовавшееся для измерений с быстрыми нейтронами. Весь телескоп может вращаться вокруг точки  $S$ . Протоны отдачи, выходящие из рассеивателя  $S$ , регистрируются по четырехкратным совпадениям сцинтилляций от кристаллов  $C_1 C_2 C_3$  и  $C_4$ . Кристалл  $C_4$  имеет сравнительно большую толщину (1,09 см). На этой установке производились измерения распределения амплитуд импульсов сцинтилляций от  $C_4$  при четырехкратных совпадениях. Мерой энергии, потерянной протоном в кристалле, является средняя амплитуда импульсов  $C_4$ ; она может быть прокалибрована в единицах энергии протонов отдачи, а следовательно, и энергии падающих нейтронов.



**Рис. 1.** Расположение счетчиков телескопа в спектрометре быстрых нейтронов

Оценка энергии быстрых нейтронов (в несколько МэВ) может быть сделана по концу амплитудного распределения импульсов сцинтилляций от протонов отдачи и органическом кристалле или жидком фосфоре. Однако этот метод дает сравнительно плохое разрешение в силу энергетического распределения протонов отдачи. Был разработан нейтронный спектрометр, основанный на

различии времен пролета с использованием схемы совпадений, дающий улучшенное разрешение. Этот прибор предназначен для отбора только таких протонов отдачи, которые появляются в результате почти лобовых соударений, так что их энергия всегда равна энергии  $E_I$  падающих нейтронов. Для регистрации и измерения энергии протонов отдачи использовался стильбеновый счетчик, а рассеянные медленные нейтроны регистрировались счетчиком с кристаллом NaJ(Tl), расположенным под углом  $90^\circ$  к направлению пучка первичных нейтронов и включенным на совпадения со счетчиком протонов. Вместо использования точной геометрии, что привело бы к уменьшению чувствительности, отбор протонов с энергией  $E_I$  производился по времени пролета медленных нейтронов между двумя кристаллами, расположенными друг от друга на расстоянии 6 см. Между регистрируемыми совпадениями от сцинтилляций в двух кристаллах вводится задержка  $3,5 \cdot 10^{-8}$  сек., соответствующая отбору нейтронов с остаточными энергиями 0,005-0,03 МэВ. Медленные нейтроны регистрируются по сцинтилляциям от  $\gamma$ -лучей, возникающих в реакции  $(n, \gamma)$  на  $^{23}\text{Na}$  и  $^{127}\text{J}$ . Поскольку периоды полураспада  $^{24}\text{Na}$  и  $^{128}\text{J}$  сравнительно велики, то значительного повышения чувствительности можно получить, если кристалл NaJ(Tl) заменить фосфором, содержащим литий, и непосредственно использовать реакцию  ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ .