

Лабораторная работа № 2

Исследование сцинтилляционных детекторов

Цель работы: Изучение сцинтилляционного детектора. Снятие счетной характеристики сцинтилляционного детектора.

1 Краткая теория

Сцинтилляционный метод регистрации ядерного излучения

В настоящее время наряду со счетчиками Гейгера–Мюллера широкое применение нашли сцинтилляционные детекторы ядерного излучения. При прохождении через среду частицы ядерного излучения теряют энергию на возбуждение и ионизацию атомов и молекул. Возникающее в процессе снятия возбуждения излучение обычно поглощается средой. Однако в определенных средах, называемых сцинтилляторами (или люминисцентные вещества), излучение (фотоны) может выйти из среды в виде световой вспышки - сцинтилляции.

Данное явление лежит в основе работы прибора, называемого сцинтилляционным детектором. Современные детекторы конструктивно разбиваются на три блока:

- 1 блок** — сцинтиллятор: среда, преобразующее падающее на него ядерное излучение (альфа-частицы, бета – электроны, гамма – излучение) в световые вспышки;
- 2 блок** – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) - прибор преобразующее излучение сцинтиллятора в электрический ток;
- 3 блок** – регистрирующая и анализирующая аппаратура (дискриминаторы, пересчетные устройства, анализаторы и т. д.).

Сцинтилляторы, сцинтилляционный процесс

В настоящее время в качестве сцинтилляторов (фосфоров) применяется большое количество как органических, так и неорганических веществ в твердом, жидком, газообразном состояниях. Процесс люминисценции в сцинтилляторах осуществляется двумя путями.

Первый путь: под действием продуктов ядерного излучения электроны молекул или атомов переходят на уровни, переход их которых в основ-

ное состояние разрешен; испускание света в фосфорах такого типа происходит в соответствии со средним временем жизни возбужденных состояний согласно квантовомеханическим законам; подобного рода испускание света называется флуоресценцией.

Второй путь: в данном случае переход в основное состояние запрещен, т.е. образуется метастабильное состояние, в этом случае возбужденные молекулы или атомы должны предварительно перейти на более высокие уровни, переходы из которых в основное состояние разрешены; дополнительная энергия для этого может быть получена за счет теплового движения.

Основными характеристиками сцинтиллятора являются конверсионная эффективность, спектральный состав и длительность сцинтилляций.

Конверсионная эффективность показывает какая часть поглощенной энергии E перешла в энергию фотонного излучения $m E_{\Phi}$, т.е.

$$K = \frac{m E_{\Phi}}{E}, \quad (1)$$

где m – среднее число фотонов с энергией E_{Φ} . Другими словами, конверсионная эффективность характеризует световыход сцинтиллятора. У некоторых сцинтилляторов функция $K = K(E)$ в определенном интервале энергий является линейной функцией, т.е.

$$K(E) = CE + D, \quad (2)$$

где C и D - некоторые константы. Такие сцинтилляторы применяются в ядерной спектроскопии.

Длительность сцинтилляции (время высвечивания) определяется постоянной затухания τ , определенной из соотношения, характеризующего распределение во время числа излучаемых сцинтиллятором фотонов:

$$n(t) = n_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (3)$$

где t - текущее время.

Для регистрации α – частиц эффективным сцинтиллятором является сернистый цинк, активированный серебром $ZnS(Ag)$ или медью $ZnS(Cu)$. Активация производится с целью повышения светового выхода. Для данных сцинтилляторов K достигает 25-30 процентов и $\tau = 10^{-7}$ сек. Для регистрации γ -излучения используется иодистый натрий $NaI(Tl)$ и иодистый цезий $CsI(Tl)$ активированные таллием. Для $NaI(Tl)$, $K \sim 8\%$ и $\tau = 0,25 \times 10^{-6}$ сек.

Основным недостатком неорганических сцинтилляторов является их малое τ . Поэтому при регистрации легких заряженных частиц применяются органические сцинтилляторы для которых $\tau=10^{-8}$ сек. С помощью сцинтилляционного метода можно также регистрировать нейтроны. Регистрацией нейтральных частиц производится по вторичным частицам, в частности по реакциям типа (нейтрон, γ) и реже (нейтрон, α) на активирующем веществе.

Фотоумножители

Как мы отмечали, ФЭУ преобразует световую вспышку сцинтиллятора в импульс электрического тока. Устройство ФЭУ схематически изображено на рисунке (1).

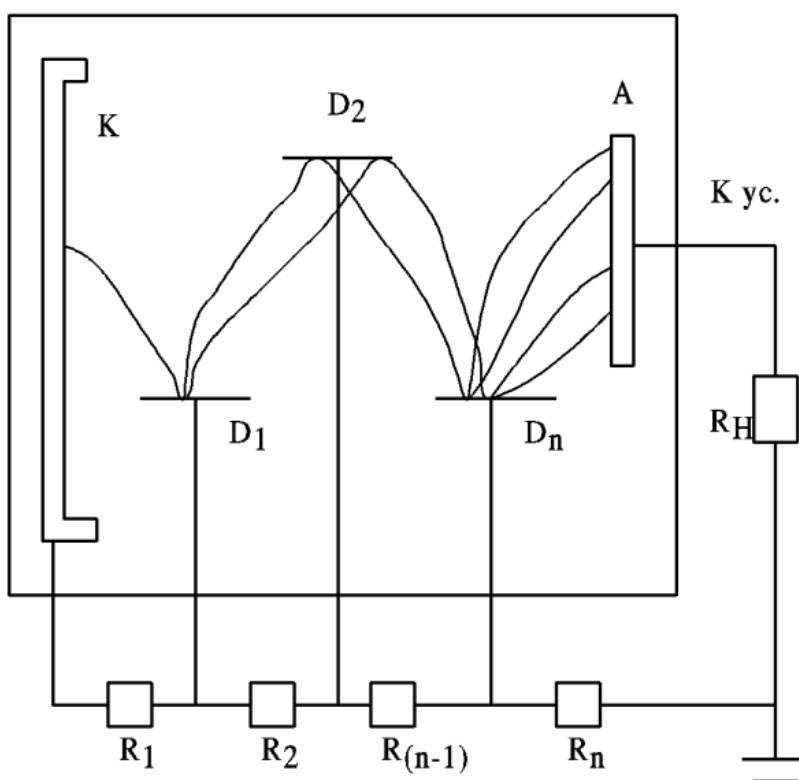


Рисунок 1– Схема ФЭУ

Основные элементы ФЭУ: фотокатод (К), система ускоряющих электродов (диноды: $D_1, D_2 \dots D$) и анод (А). С внутренней стороны прозрачной стенки колбы ФЭУ нанесен полупрозрачный слой вещества с малой работой выхода, служащий фотокатодом (К). Диноды $D_1, D_2 \dots D$ также выполнены из материала с малой работой выхода.

Фотоны сцинтилляции, попадая на фотокатод, выбивают из него фо-

тоэлектроны, которые фокусируются электрическим полем и направляются на первый диод. Для характеристики размножения электронов вводится коэффициент вторичной эмиссии σ , равный отношению числа испущенных диодом электронов к числу попавших на него (обычно σ равняется 3-6).

С первого диода поток электронов поступает на второй и т. д. Таким образом система диодов позволяет усиливать поток электронов, а усиление L , создаваемое системой из n диодов с одинаковым σ равно $L = \sigma^n$ и достигает $10^6 - 10^9$ для $n = 10$.

С последнего диода электроны поступают на анод, создавая электрический импульс на сопротивлении нагрузки. Существенной особенностью ФЭУ является линейность усиления, что позволяет по амплитуде импульса напряжения на выходе ФЭУ восстанавливать энергию, потерянную в сцинтилляторе.

Счетная характеристика сцинтилляционного детектора

Счетная характеристика сцинтилляционного детектора определяется так же, как и для счетчика Гейгера-Мюллера (см. лаб. работу № 1), т.е. зависимость скорости счета от напряжения и называется счетной характеристикой. Она сильно зависит от вида и формы применяемого сцинтиллятора и от энергии падающего излучения.

Как правило, поведение счетной характеристики следующее: при достаточно низких напряжениях усиление ФЭУ настолько мало, что только интенсивные вспышки света приводят к появлению импульсов тока на выходе ФЭУ, которые регистрируются усилителем и передаются на пересчетное устройство. С увеличением напряжения регистрируется все большее число импульсов и области плато скорость счета почти не зависит от напряжения. Параметры радиоактивного источника (вид излучения, энергия излучаемых частиц, интенсивность), сцинтиллятор, ФЭУ и усилитель определяют счетную характеристику сцинтилляционного детектора.

2 Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из

- СД-сцинтилляционного детектора
- блока питания (**внимание высокое напряжение!!!**)
- пересчетного устройства (блок для подсчета импульсов, возникающих

в СД)

3 Порядок выполнения работы

1. Снимите счетную характеристику СД. Для этого, начиная с напряжения, при котором установка способна регистрировать импульсы, с шагом, задаваемым преподавателем, снимите зависимость скорости счета $n = N/t$ (N – число зарегистрированных импульсов, t – время регистрации) от напряжения U .
При каждом значении U также измеряют фон прибора.
2. При каждом значении U проводить не менее 5 измерений за время не менее 100 сек.

4 Обработка результатов измерения

1. Для каждого U рассчитайте среднее значение скорости счета n , и ее абсолютную ошибку Δn
2. Постройте график $n_{\text{ср.}} = n_{\text{ср.}}(U)$. На графике обязательно отмечайте Δn (коридор ошибок (доверительный интервал)).
3. По графику $n_{\text{ср.}} = n_{\text{ср.}}(U)$ найдем участок, где n практически не зависит от напряжения U . Этот участок называют плато СД.
4. Определите начало и конец плато, а также его длину.

5 Вопросы для контроля

1. Сцинтилляционный детектор: физические принципы работы, его устройство.
2. Сцинтиллятор и его характеристики.
3. Как работает фотоэлектронный умножитель?

Примечание!!!

Для подготовки ответов необходимо использовать рекомендуемую литературу, а не только данную методическую разработку.

6 Рекомендуемая литература

Учебники

- Широков, Ю.М. Ядерная физика / Ю.М. Широков, Н.П. Юдин. - М.: Наука, 1980.
- Сивухин, Д.В. Атомная и ядерная физика: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. Ядерная физика / Д.В. Сивухин. - М.: Наука, 1989.
- Нерсесов, Э. А. Основные законы атомной и ядерной физики,: Учеб. пособие для Вузов / Э. А. Нерсесов. - М.: Высш. шк., 1988.
- Блан, Д. Ядра, частицы, ядерные реакторы / Д. Блан. - М.: Мир, 1989.
- Мухин, К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 2 т./ К.Н.Мухин. - М.; Атомиз-дат, 1988.
- Бопп, Ф. Введение в физику ядра, адронов и элементарных частиц / Ф. Бопп. - М.: Мир, 1999.
- Ишханов, Б.С. Нуклеосинтез во Вселенной / Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, И.А. Тутынь. - М.: Моск. Универс., 1999.
- Любимов, А. Введение в экспериментальную физику частиц / А. Любимов, Д. Киш. - М.: Физматлит, 2001.
- Ишханов, Б.С. Частицы и атомные ядра/ Б.С. Ишханов , И.М. Капитонов , Н.П. Юдин , М, 2007.
- Михайлов В.М., Крафт О.Е. Ядерная физика. Уч. пособие. Изд. Ленингр. ун-та. 1988
- Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. -М.: Наука, 1988.
- Валантэн Л. Субатомная физика ядра и частицы. 1,2 т. -М.: Мир. 1986
- Наумов А.И. Физика атомного ядра и элементарных частиц. -М.: Просвещение. 1984
- Физика микромира (маленькая энциклопедия) / Гл. ред. Д.В.Ширков - М.: Советская энциклопедия, 1980.-528 с.

Практикумы по ядерной физике

- Практикум по ядерной физике / Н.Г. Ивайлов и др. - М.: МГУ, 1988. -199 с.
- Практикум по ядерной физике / Под ред. В.Г. Барышевского - Минск: БГУ, 1983. -141 с.
- Практикум по ядерной физике / Под ред. В.О. Сергеева. - М.: Наука, 1975.-120 с
- Кабардин О.Ф. Практикум по ядерной физике - М.: Мир, 1975.
- Практикум по ядерной физике / Под ред. Ю.Г. Жуковского - М.: Наука, 1975.
- Герфорт Л. , Кох Г. Практикум по радиохимии - М.: Ин. лит-ра, 1963.
- Практикум по ядерной физике / И.А. Антонова и др. - М.: МГУ, 1988.
- Практикум по ядерной физике / Н.Г. Ивойлов и др.- М: Казанский университет, 1985.
- Специальный ядерный практикум - М.: МГУ, 1970.
- Руководство к практическим занятиям по радиохимии / Под ред. проф. А.Н. Несмеянова. - М.: , 1971.