

Описанные в нашей работе подходы к научно-исследовательской работе студентов могут быть с успехом применены в дальнейшем ее совершенствовании.

Литература

1. Использование физического эксперимента и ЭВМ в учебном процессе: Сб. науч. тр./Свердл. пед. ин-т. Свердловск, 1987. 112 с.
2. Методические рекомендации для студентов-физиков пединститута по овладению профессионально-методическими умениями/ Сост. Усова А.В., Вологодская Э.А., Завьялов В.В.; Челяб. пед. ин-т. Челябинск, 1978. 16 с.
3. *Bednorz J. G., Muller K. H. - Z. Phys. B. - Condensed matter. 1986, 64pp. 189-193.*
4. Аузеф П. и др. Автоматизация измерений сопротивления ВТСП// Приборы для научных исследований. 1989. № 3. С. 241-242.
5. Измерение плотности критического тока в массивных высокотемпературных сверхпроводниках в импульсном режиме// Физика низких температур. 1989. № 10. Т. 15. С. 1088-1091.

Е.П.Назеряева, П.П.Зольников
Свердловский инженерно-педагогический институт

Методики проведения экспериментов по радиометрии окружающей среды и расчета активности проб по гамма-излучению

Одной из проблем физических факультетов вузов является практическая подготовка студентов, прежде всего формирование у них экспериментаторских умений и навыков, передача им методических средств проведения экспериментов. Большую роль здесь играют лабораторные и практические занятия. Модернизации лабораторного практикума посвящено большое количество работ [1-4]. Интерес представляет модернизация не только практикума по общей физике, но и по таким смежным дисциплинам, как "Дозиметрия и защита", "Взаимодействие излучения с веществом" и др., имею-

щим в последнее время большое практическое значение в связи с радиозоологической обстановкой многих регионов нашей страны. В данной работе изложены методики проведения экспериментов по изучению радиоактивности проб по гамма-излучению и методика расчетов активности проб по их гамма-спектрограмме.

1. Общие принципы измерения радиоактивности

Все количественные измерения радиоактивности можно разделить на два вида: абсолютные измерения, относительные измерения. При абсолютных измерениях детектором регистрируются все частицы, испускаемые источником в телесном угле 4π , или вносятся поправки, учитывающие долю частиц, нерегистрируемую детектором. Относительные измерения позволяют определить активность измеряемого образца путем сравнения с "эталонным" источником, идентичным измеряемому образцу по толщине слоя, размерам и энергетическому спектру.

Существуют различия в методиках экспрессного анализа определения активности гамма-излучающих нуклидов и стационарного анализа слабоактивных проб.

Физической основой стационарного гамма-спектрометрического метода служит различие в спектральном составе гамма-излучения и периодах полураспада стелельных радиоизотопов, входящих в состав проб. Гамма-излучение, взаимодействуя с веществом кристалла, регистрируется в виде приборного спектра, где на фоне непрерывного комптоновского рассеяния выделяются пики полного поглощения, называемые фотопиками. Положение пиков в спектре, определяемое энергией гамма-излучения, их совокупности и относительная интенсивность, а также периоды полураспада позволяют во многих случаях однозначно определить состав изотопов в исследуемых образцах. Удельная активность образцов, исследуемых при стационарных условиях, имеет обычно порядок 10^{-10} Ки/л (Ки/Кг).

Для экспрессной оценки объемной и удельной активности гамма-излучающих нуклидов применяется радиометр СРП-68-01. Измерение активности в данном случае лежит в пределах $5 \cdot 10^{-8}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ Ки/л (Ки/Кг).

2. Методика изучения слабоактивных проб в стационарных условиях

Измерение низких активностей многокомпонентной смеси гамма-излучателей, с которыми, как правило, сталкиваются при исследовании радиоактивного загрязнения окружающей среды, имеет

ряд характерных особенностей. Это необходимость высокой эффективности регистрации излучения, выбор оптимальной геометрии измерений, большая их продолжительность и низкий уровень фона. Перечисленные особенности заставляют предъявлять жесткие требования к применяемой для анализа аппаратуре. Для исследования слабо-активных образцов применяют обычно однокристалльные сцинтилляционные гамма-спектрометры с большими кристаллами $NaJ(Tl)$, которые позволяют измерять сложные гамма-спектры в широком диапазоне интенсивностей и энергий. Сцинтилляционный спектрометр представляет собой сочетание сцинтилляционного датчика с радиотехнической схемой, предназначенной для счета и анализа импульсов. Блок-схема установки на основе сцинтилляционного однокристалльного гамма-спектрометра приведена на рис. I. Она состоит из сцинтилляционного датчика, помещенного в светонепроницаемый кожух; фотоэлектронного умножителя, блоков питания ФЭУ (в том числе высоковольтный стабилизатор ВС-22) и многоканального анализатора амплитуды импульсов, данные которого обрабатываются ЭВМ.

Сцинтилляционный датчик является основным элементом спектрометра. Он имеет цилиндрическую форму и размеры $d = 80$ мм, $h = 70$ мм. Разрешение по фотолиниям $Cs^{137} \text{ в } E_{\gamma} = 662$ кэВ не хуже 11%. Кристаллы $NaJ(Tl)$ имеют большую фотоэффективность. Для работы с ними используется ФЭУ с сурьмяноцезиевыми фотокатодами.

Большая продолжительность измерения гамма-спектров (30-60 мин и более) при анализе слабоактивных образцов заставляют предъявлять высокие требования к стабильности применяемой аппаратуры, и особенно к стабильности коэффициентов усиления ФЭУ, которые в данном случае не должны зависеть ни от загрузки, ни от продолжительности работы ФЭУ. Для питания умножителя используют высоковольтные блоки типа ВС-22, стабильность выпрямленного напряжения которых при восьмичасовой непрерывной работе оценивается не хуже чем 0,01 - 0,02 %.

Существенной частью методики проведения анализов слабоактивных проб является конструкция емкостей для проб и калибровочных препаратов. Эти специальные емкости для сыпучих и жидких проб изготавливаются из материалов с низкой активностью (органические материалы, электролитическая медь, углеродистая сталь СТ-3, бескалийное стекло).

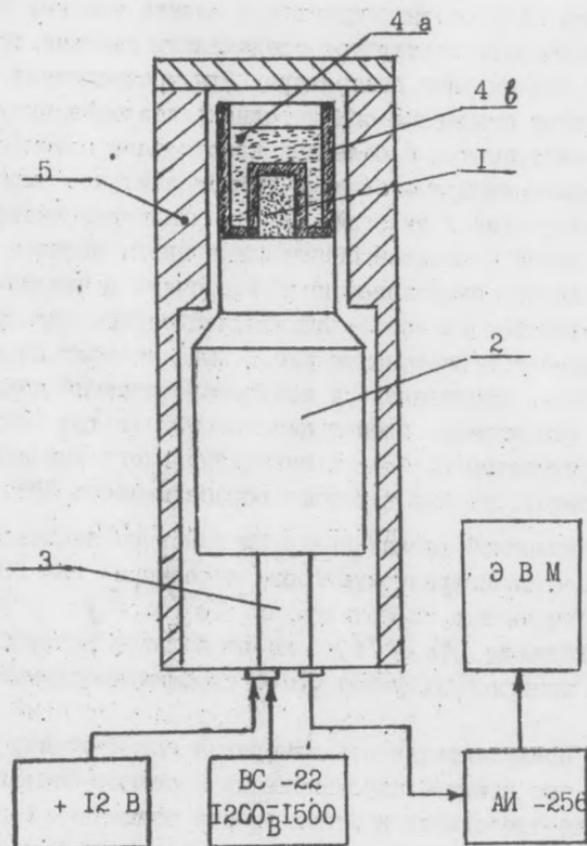


Рис. 1. Блок-схема установки на основе сцинтилляционного
однокристалльного гамма-спектрометра :

- 1 - кристалл $NaI(Tl)$; 2 - спектрометр ; 3 - ФЭУ ;
4 а - активный препарат ; 4 б - форма кюветы ;
5 - свинцовая защита спектрометра

Конструкция специальной кюветы для проб хорошо видна на рис. I. Она имеет форму, идеально повторяющую форму кристалла для обеспечения геометрии 4П

Работа сцинтилляционного спектрометра основана на свойстве датчика преобразовывать энергию ядерных частиц в электрические импульсы с амплитудой, пропорциональной поглощенной в кристалле энергии. По энергии гамма-излучения можно идентифицировать радиоизотопы, присутствующие в образце.

Число зарегистрированных импульсов данной амплитуды связано с количеством изотопа в пробе. Распределение числа импульсов за некоторое время по каналам спектрометра дает гамма-спектрограмму пробы.

Монохроматическое излучение, падающее на кристалл, преобразуется на выходе в сложный спектр амплитуд импульсов: рядом с пиком полного поглощения (фотопиком) образуется сплошной спектр импульсов с меньшими амплитудами (комptonовское распределение). В кристалле достаточно больших размеров большая часть импульсов будет зарегистрирована в пиках полного поглощения. При этом интенсивность комptonовского фона уменьшается. Гамма-спектр одной из проб приведен на рис. 2.

При энергии гамма-квантов более 2 Мэв на спектрограмме появляется аннигиляционный пик с энергией 0,511 Мэв. Этот же пик сопровождается позитронным распад. При аннигиляции позитрона образуется два гамма-кванта с одинаковой энергией. Оба (или один) аннигиляционных кванта могут вылететь из кристалла, не оставив в нем энергии. При этом в спектре появляются три линии, соответствующие поглощению обоих аннигиляционных квантов (пик полного поглощения), одного из них (пик одиночного вылета) и случая, когда оба кванта покинули кристалл (пик двойного вылета). В области низких энергий на спектрах могут присутствовать пики от характеристического рентгеновского излучения, сопровождающего К-захват или конверсию гамма-квантов.

При сложных схемах распада, когда наблюдаются каскадные излучения двух и более гамма-квантов, возможно появление пиков суммирования. Кроме того, на спектрограммах могут наблюдаться пик обратного рассеяния и пик, образующийся в результате утечки с поверхности кристалла фотоэлектронов, который расположен в районе энергии 0,030 Мэв. Кроме того, при использовании свинцовой

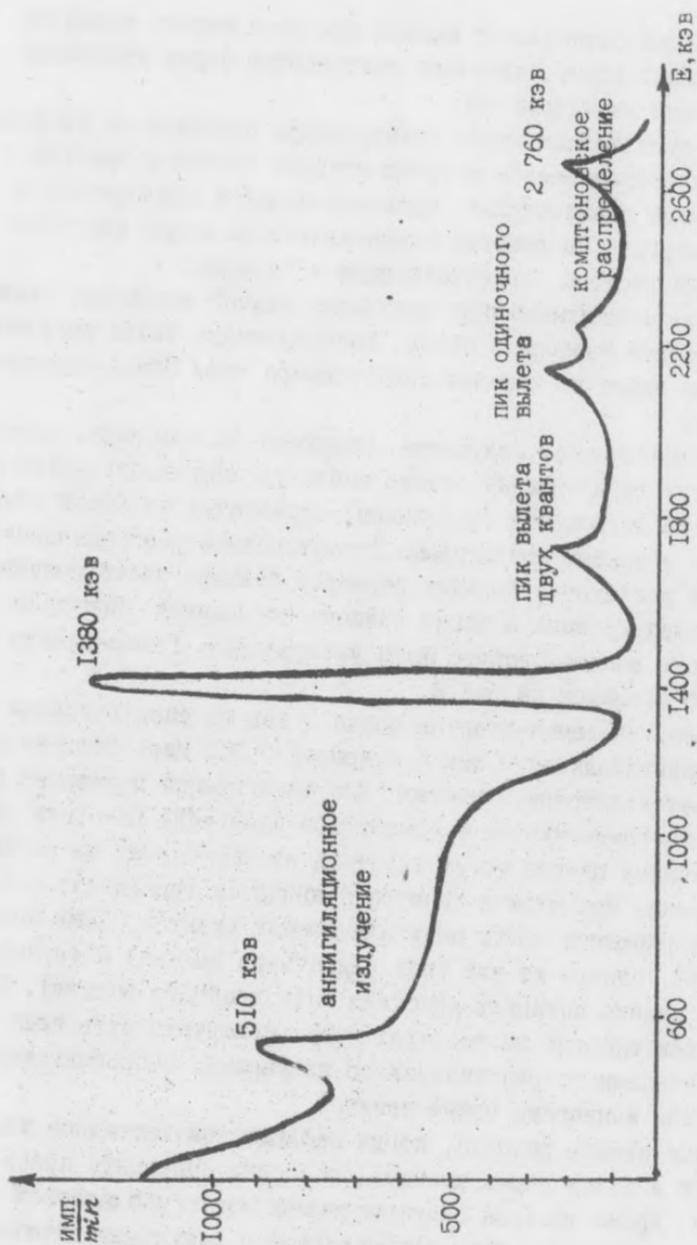


Рис.2. Гамма-спектр одной из проб

защиты, как в нашем случае, появляется пик характеристического излучения свинца с энергией 0,08 Мэв.

Для перехода от приборного гамма-спектра к содержанию в пробе радиоизотопов необходимо идентифицировать фотопики, т.е. путем определения их энергии и периодов полураспада установить, за счет каких изотопов формируется каждый из фотопиков. Для этого проводят калибровку энергетической шкалы спектрометра и определяют его разрешающую способность.

3. Методы расчета активности проб

Обработка гамма-спектра включает в себя выделение рассматриваемого фотопика на фоне комптоновского излучения, идентификации этого пика с гамма-излучением какого-либо изотопа и определение интенсивности излучения с поправкой на фотоэффективность спектрометра. Фотопик имеет форму нормального распределения. Из свойств нормального распределения следует, что величина площади фотопика пропорциональна высоте фотопика. Если вершина фотопика описывается несколькими каналами, то точность определения высоты мало отличается от метода измерения площади фотопика. В сложных спектрах, когда имеет место наложение фотопиков, метод определения высоты пика дает результат с меньшей ошибкой. Основной и трудоемкой частью при обработке спектров является правильное определение площади или высоты фотопика. При переходе от площади фотопика к активности источника надо разделить число импульсов в фотопике на эффективность регистрации спектрометром гамма-квантов данной энергии и на квантовый выход.

3.1. Графический метод определения активности проб

Как говорилось выше, по площади или амплитуде хорошо сформированного фотопика можно провести идентификацию состава проб. Именно на этом и основан графический метод расчета активности. Для автономно зарегистрированных фотопиков при одинаковой геометрии измерений проб и градуировочных препаратов (эталонов) соблюдается следующее равенство:

$$A_i^{пр} = \frac{S^{пр} \cdot \rho^{эт}}{S^{эт} \cdot \rho^{пр}} \cdot A_i^{эт}, \quad (I)$$

где $A_i^{пр}$ и $A_i^{эт}$ - удельная активность i -го изотопа в пробе и в градуировочном препарате, K_i ;

$S_i^{пр}$ и $S_i^{эт}$ - площади фотопика i -го изотопа, имп/мин;

$\rho^{пр}$ и $\rho^{эт}$ - вес пробы и градуировочного препарата, г.

Способ выделения площади фотопика и определения высоты фотопика показан на рис.3.

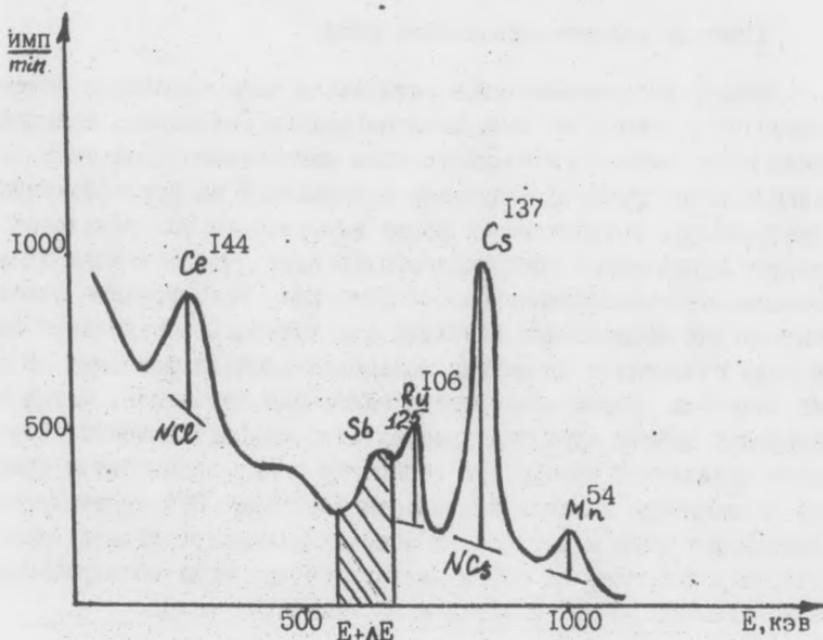


Рис.3. Определение площади и высоты фотопика

Если определена скорость счета в фотопике и установлено, что он принадлежит данному изотопу, то абсолютная активность определяется по формуле:

$$A = \frac{Ni}{\eta_i \cdot K_i}, \quad (2)$$

где N_i - скорость счета в фотопике, имп/мин;

η_i - фотоэффективность спектрометра;

K_i - квантовый выход для гамма-квантов с энергией определяемого изотопа.

3.2. Аналитический метод расчета активности проб

В ряде случаев на спектрограмме слабоактивных проб фотопики имеют расплывчатую форму, а иногда слабо выделяются на фоне рассеянного излучения более жестких гамма-лучей. В этих случаях активность изотопов может быть определена только аналитическим путем.

Число импульсов, зарегистрированных в единицу времени в любом энергетическом интервале приборного гамма-спектра $N_i^{np}(E_i \pm \Delta E_i)$ будет равно сумме импульсов от каждого изотопа, входящего в состав пробы и дающего первичное или рассеянное излучение в данном интервале энергий:

$$N_i^{np}(E_i \pm \Delta E_i) = \sum_{i=1}^n K_i A_i, \quad (3)$$

где K_i — градуировочные коэффициенты, т.е. скорость счета от изотопа единичной активности в выбранном интервале энергий, имп/мин;

n — число изотопов, присутствующих в пробе;

A_i — искомая активность, Кц.

Аналогично соотношению (3) можно написать ряд линейных уравнений, составленных для n энергетических интервалов гамма-спектра. Данная система уравнений может быть решена аналитически или матричным способом.

4. Методика экспрессного определения объемной и удельной активности гамма-излучающих нуклидов с помощью радиометра СРП-68-01

Измерение активности с помощью радиометра СРП-68-01 осуществляется чувствительным к гамма-излучению детектором, который погружается в контролируемую пробу или сосуд Маринелли (чаша с колодцем). Перед непосредственным измерением пробы проводятся фоновые измерения. При этом на дно колодца устанавливается пустая чашка для пробы, в которую и помещается чувствительный объем детектора [5,6]. Фоновые измерения записываются в оперативный журнал. Как фоновые измерения, так и измерения активности проводятся в свинцовой защите толщиной не менее 5 см. Для измерения активности пробы на дно колодца устанавливают тегу, используемую при фоновых измерениях, в которую наклады-

вается измеряемая проба. Затем производится погружение детектора прибора в пробу и снимается результат, заносимый в оперативный журнал. Объемную или удельную активность пробы рассчитывают по формуле

$$q = K (N_{\text{ф}+\text{эф}} - N_{\text{ф}}), \quad (4)$$

где K - коэффициент пересчета (берется из таблиц);

$N_{\text{ф}}$ - фоновые показания прибора;

$N_{\text{ф}+\text{эф}}$ - измерения активности проб.

После проведения основного измерения необходимо провести дезактивацию той части щупа, которая была погружена в пробу. Дезактивацию необходимо проводить также после повышения фона.

Описанные выше методики применены для модернизации лабораторного практикума по некоторым разделам физики и смежным предметам в ядерной лаборатории кафедры общей физики СИПИ.

Литература

1. Использование физического эксперимента и ЭВМ в учебном процессе: Сб. науч. тр./Свердл. инж.-пед. ин-т. Свердловск, 1987. 112 с.
2. Содержание подготовки инженеров-педагогов: Сб. науч. тр./Свердл. инж.-пед. ин-т. Свердловск, 1987. 133 с.
3. Гершензон Е.М., Мансуров А.Н., Сперантов В.В. Лабораторный практикум по физике в педвузе//Вестн. высш. шк. 1977. № 9, С.33-37.
4. Царев А.С. Вопросы организации и проведения лабораторного практикума по курсу общей физики//Совершенствование преподавания физики и общетехнических дисциплин в педвузе/Ростов н/Д, 1979, С.62-65.
5. Добрынин Ю.Л., Кузьмич В.В. Метод полевой грамма-спектроскопии для радиэкологических исследований / Ин-т атом. энергетики. М., 1985:
6. Дементьев В.А. Измерение малых активностей радиоактивных препаратов. М.: Атомиздат, 1967.