

Утверждаю
Декан ФТФ



В.И. Бойко

« 23 » июня 2008 г.

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

ЧАСТЬ I

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсам «Дизометрия и защита от ионизирующих излучений ядерного
реактора», «Приборы и методы физических измерений»
для студентов IV–V курсов,
обучающихся по направлению 140300 «Ядерная физика и технологии»,
специальностей 140305 «Ядерные реакторы и энергетические установки»,
140309 «Безопасность и нераспространение ядерных материалов»

Составители **М.Е. Силаев, Ю.Б. Чертков**

Издательство
Томского политехнического университета
2008

УДК 53.08(07)
ББК 22.3:30.10я7
П77

П77

Приборы и методы физических измерений: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсам «Дизометрия и защита от ионизирующих излучений ядерного реактора», «Приборы и методы физических измерений» для студентов IV–V курсов, обучающихся по направлению 140300 «Ядерная физика и технологии», специальностей 140305 «Ядерные реакторы и энергетические установки», 140309 «Безопасность и нераспространение ядерных материалов». Часть I / сост. М.Е. Силаев, Ю.Б. Чертков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 37 с.

ISBN 5-98298-225-3

УДК 53.08(07)
ББК 22.3:30.10я7

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
физико-энергетических установок ФТФ
« 21 » _____ января _____ 2008 г.

Зав. кафедрой физико-энергетических установок
доктор физ.-мат. наук,
профессор



В.И. Бойко

Председатель
учебно-методической комиссии



В.Д. Каратаев

Рецензент

Кандидат технических наук,
заведующий лабораторией № 33 ФГНУ НИИ ЯФ при ТПУ
В.А. Варлачев

ISBN 5-98298-225-3

© Силаев М.Б., Чертков Ю.Б., составление, 2008
© Составление. Томский политехнический университет, 2008
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа № 1 ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НЕЙТРОНОВ С ПОМОЩЬЮ КОРОННОГО ГАЗОНАПОЛНЕННОГО СЧЕТЧИКА.....	5
Лабораторная работа № 2 ИЗМЕРЕНИЕ НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕНОСНОГО РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА	9
Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ В ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПРИЗМЕ.....	16
Лабораторная работа № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РЕНГЕНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗАТОРА (НА БАЗЕ РФА АНАЛИЗАТОРА «СПЕКТРОСКАН-МАКС-G»)	24
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	29

ВВЕДЕНИЕ

Физические измерения охватывают обширный круг вопросов, среди которых важное прикладное значение имеют задачи связанные с измерениями характеристик нейтронного потока и количества ядерного материала.

Подобного рода задачи решаются с момента проектирования и ввода реакторной установки в эксплуатацию, которому предшествуют физический пуск и физические исследования нейтронных полей, включающие определение в активной зоне спектральных характеристик нейтронного потока с помощью активационных и делительных образцов. Необходимым элементом системы управления реактором являются датчики внутризонного контроля, которые обеспечивают оперативный персонал необходимой информацией о мощности энерговыделения и распределении нейтронного потока в активной зоне реактора. Контроль уровня нейтронных полей в приреакторных помещениях вблизи механизмов и устройств, непосредственно связанных с реактором, включая оперативный контроль, осуществляемый с помощью переносных устройств, позволяет обеспечивать радиационную безопасность персонала и выполнять косвенную оценку состояния топлива в активной зоне, а также технического состояния оборудования первого контура теплоносителя. Оперативный и качественный контроль содержания делящихся материалов и примесей в реакторном топливе, а также наличие его микросодержаний в теплоносителе является необходимым условием обеспечения работоспособности и ядерной безопасности установки. Такой контроль может выполняться различными методами, включающими рентгено-флуоресцентный анализ.

Данные методические указания рассматриваются автором в качестве одного из элементов необходимого минимума лабораторного практикума, который должен быть сформирован для подготовки специалистов в области атомной энергетики. В методическом указании содержатся лабораторные работы, каждая из которых обозначает направления дальнейшего развития практикума. Предполагается, что выбранные направления практикума будут расширены и дополнены другими работами, связанными с методами разрушающих и неразрушающих анализов, которые проводятся на атомных станциях и предприятиях ядерного топливного цикла.

Лабораторная работа № 1

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НЕЙТРОНОВ С ПОМОЩЬЮ КОРОННОГО ГАЗОНАПОЛНЕННОГО СЧЕТЧИКА

Цель работы: изучение газовых ионизационных приборов, используемых для детектирования нейтронов.

Знакомство с газовыми ионизационными приборами выполняется на примере коронного счетчика медленных нейтронов.

Задачей является построение дискриминационной и счетной характеристик коронного счетчика медленных нейтронов типа СНМ-11, выбор рабочего режима счетного канала и определение разрешающего времени.

Коронными счетчиками медленных нейтронов называются газовые детекторы (предназначенные для регистрации нейтронов), в которых созданы условия для возникновения самоподдерживающегося коронного разряда. Эти условия создаются выбором тонкого анода, напряжения питания детектора и ограничивающего ток сопротивления в цепи питания. В коронном разряде вблизи анода постоянно возникают электронные лавины, создающие флуктуации тока, протекающего через детектор. Эти флуктуации вызывают на сопротивлении нагрузки счетчика нежелательные шумовые сигналы.

При попадании в рабочий объем счетчика сильноионизирующей частицы (например, α -частицы, образующейся при реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha)$) в нем одновременно возникает большое число электронных лавин (около 10 000), вызывающих резкое возрастание тока через счетчик и возникновение импульса напряжения на его нагрузочном сопротивлении.

Конструктивно коронный счетчик не отличается от пропорционального. Он заполнен аргоновой смесью под давлением ниже атмосферного. Радиатор – аморфный бор толщиной 0,0008...0,001 г/см². В некоторых модификациях счетчиков типа СНМ бор обогащен изотопом ^{10}B до 80 %.

Высокие эксплуатационные качества коронных счетчиков медленных нейтронов обусловили их широкое распространение при исследовании нейтронных полей. К числу таких качеств следует отнести:

- высокую чувствительность к медленным нейтронам (около 1 имп/(нейтрон · см⁻²));
- высокое значение коэффициента газового усиления и его слабую зависимость от напряжения питания;
- амплитуду импульса (0,01...0,1) В, что примерно в 10 раз выше амплитуды импульсов в пропорциональном счетчике;

- стабильную работу в гамма-полях до 1000 Р/ч;
- термостойкость в диапазоне температур 220...370 К.

Счетная характеристика коронного счетчика имеет плато, протяженностью около 500 В. В отличие от счетчика Гейгера-Мюллера плато коронного счетчика имеет отрицательный наклон, т. е. с повышением напряжения питания счетчика при неизменном уровне дискриминации, скорость счета нейтронов уменьшается. Это обстоятельство обусловлено особенностями формирования импульсов тока в коронном разряде.

Коронные счетчики медленных нейтронов применяют для изучения поведения нейтронных полей во времени. Разрешающее время около 5 мкс. Их также используют для изучения пространственных распределений плотности нейтронов в ситуациях, когда несущественно возмущение, вносимое ими в нейтронное поле.

Описание установки для измерений нейтронов

Для выполнения лабораторной работы используется счетно-пусковая установка СПУ-1-1М, состоящая из:

- детектора НГД-2;
- предусилителя ПУ-2-1;
- блока интегрального дискриминатора БД-16-1;
- блока пересчетного БП-21-1;
- блока сигнального БК-20-1;
- блока низковольтного питания БН-86-1;
- блока высоковольтного стабилизатора БВ-9-1.

Сигнальный и пересчетный блоки БК-20-1 и БП-21-1 не используются в работе. Вместо пересчетного блока БК-20-1 используется универсальный частотомер АСН-1300. Детектор НГД-2 укомплектован коронным счетчиком СНМ-11.

Технические характеристики используемого в работе коронного счетчика медленных нейтронов типа СНМ-11 следующие:

радиатор	^{10}B ;
напряжение зажигания короны, В	700;
рабочий интервал напряжений (плато)	
при фоне γ -излучения до 50 Р/ч, В	700...3000;
при фоне γ -излучения до 1000 Р/ч, В	1500...3000;
рабочее напряжение (рекомендуемое), В	1600;
наклон плато счетной характеристики, %/100 В	1,5;
наполнение	аргоно-неоновая смесь;
рабочий диапазон температур, °С	-50...+150.

Порядок выполнения работы¹

Задача работы – построение дискриминационной² и счетной характеристик коронного счетчика медленных нейтронов типа СМ-11, выбор рабочего режима счетного канала и определение разрешающего времени.

1. Построение дискриминационной и счетной характеристики коронного счетчика.

1.1. Включить аппаратуру и прогреть в течение не менее 15 мин.

1.2. Поместить счетчик нейтронов в защитный экран из кадмия, поглощающий тепловые нейтроны.

1.3. Снять и построить на графике в полулогарифмическом масштабе дискриминационные характеристики счетного тракта при регистрации шума. В отсутствие внешних нейтронов источником сигнала являются электронные шумы в усилителе. Уровень дискриминации указывается преподавателем. Измерения проводятся при напряжениях на электродах счетчика 1400 В, 1600 В, 1800 В и 2000 В.

1.4. Экстраполировать линейно полученные зависимости в область малых скоростей регистрации счета. Для каждого напряжения оценить уровни дискриминации, соответствующие скорости счета шума 1 имп. за 10 с.

1.5. Вынуть счетчик из защитного кадмиевого экрана и установить его в полиэтиленовую призму с изотопным источником нейтронов в фиксированном положении.

1.6. Снять и построить на графике счетную характеристику коронного счетчика при изменении напряжения на счетчике в интервале 1400...1800 В при максимальном значении уровня дискриминации, полученном в п. 1.4.

1.7. Определить протяженность плато и его наклон.

Наклон плато счетной характеристики определяется по формуле:

$$D = \frac{N(U_2) - N(U_1)}{N(U_1) * (U_2 - U_1)} 10^4, \% / 100 \text{ В}, \quad (1.1)$$

где $N(U)$ – скорость регистрации излучения при напряжении питания счетчика U , В.

1.8. Повторить действия, указанные в пп. 1.6, 1.7 при уровне дискриминации на 50 % больше выбранного в п. 1.4.

2. Определение методом двух источников (с помощью формулы 1.2) разрешающего времени счетного канала и оценка скорости регистрации нейтронов, при которой просчеты не будут превышать 1 %.

¹ Работа выполняется только под непосредственным руководством преподавателя.

² По аналогии со счетной характеристикой, дискриминационная характеристика – зависимость скорости регистрации излучения от уровня дискриминации при прочих неизменных условиях.

$$T_p = \frac{N_1 + N_2 + N_{12}}{2 * N_1 * N_2} T_0, \quad (1.2)$$

где N_1, N_2 – число зарегистрированных импульсов от первого и второго источника соответственно;

N_{12} – число зарегистрированных импульсов от обоих источников одновременно;

T_0 – время измерения числа импульсов.

3. Составить отчет о выполненной работе.

Контрольные вопросы к работе № 1

1. Как выглядит вольт-амперная характеристика газоразрядных датчиков?
2. Назовите принципы работы газонаполненных датчиков нейтронов.
3. Какими преимуществами обладают коронные датчики по сравнению со счетчиками Гейгера-Мюллера?
4. Для какой цели в счетных нейтронных системах используются устройства дискриминации?
5. Что называют мертвым временем, разрешающим временем и временем восстановления?

Лабораторная работа № 2

ИЗМЕРЕНИЕ НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕНОСНОГО РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

Цель работы: изучение возможности и получения навыков измерения поля быстрых нейтронов с помощью переносного радиометра-дозиметра МКС-01Р.

Сведения о приборе

Радиометр-дозиметр МКС-01Р предназначен для проведения радиометрического и дозиметрического контроля обстановки на промышленных предприятиях, АЭС и научно-исследовательских лабораториях.

В области измерения нейтронов прибор предназначен:

- для определения плотности потока и флюенса тепловых, промежуточных и быстрых нейтронов;
- для определения эквивалентной дозы и мощности эквивалентной дозы нейтронного излучения.

Эквивалентная доза нейтронного излучения определяется как максимальная в тканеэквивалентном полубесконечном фантоме, облучаемом моноэнергетическим пучком нейтронов, падающим перпендикулярно к его поверхности.

Радиометр-дозиметр сохраняет свою работоспособность:

- при температуре окружающего воздуха от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- при температуре $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях относительной влажности воздуха до 98 %;
- при атмосферном давлении от 86 кПа до 106 кПа;
- после перемещения всеми видами транспорта;
- при наличии фонового нейтронного, γ - и β -излучений;
- при загрязнении рабочих помещений радиоактивными веществами;
- в помещениях с плохой освещенностью и в темноте;
- после пребывания в пыленесущей и брызгонесущей среде.

Технические данные и характеристики прибора

Радиометр-дозиметр позволяет измерять:

- плотность потока и флюенс тепловых нейтронов при использовании блока детектирования БДКН-03Р;
- плотность потока и флюенс промежуточных и быстрых нейтронов при использовании блока детектирования БДКН-03Р, вставленного в «защиту»;

- эквивалентную дозу и её мощность (МЭД) нейтронного излучения при использовании блока детектирования БДКН-03Р, вставленного в «защиту» и «замедлитель».

Диапазон измерений, энергетический диапазон и предельные значения основной погрешности радиометра-дозиметра для каждого вида ионизирующего излучения и измеряемой величины указаны в табл. 1. Предельные значения основной погрешности даны при доверительной вероятности 0,95 для любой точки, начиная с половины самой низшей декады рабочего диапазона.

Таблица 1

Рабочие характеристики МКС-01Р

Тип блока детектирования	Вид излучения	Измеряемая величина	Диапазон измерения	Энергетический диапазон измеряемого излучения или нуклид	Основная погрешность, %
БДКН-03Р	Тепловые нейтроны	Плотность потока, см ⁻² с ⁻¹	1...3·10 ⁴	0,025 эВ	± 20
		Флюенс, см ⁻²	10 ² ...10 ⁵		± 20
БДКН-03Р + «защита»	Промежуточные и быстрые нейтроны	Плотность потока, см ⁻² с ⁻¹	1...3·10 ⁴	10 ⁻³ ...14 МэВ	± 20
		Флюенс, см ⁻²	10 ² ...10 ⁵		± 20
БДКН-03Р + «защита» + «замедлитель»	Промежуточные и быстрые нейтроны	МЭД, мкЗв/ч	1...10	10 ⁻³ ...14 МэВ	± 20
		Эквивалентная доза, мкЗв	1...10 ⁵		± 20

Чувствительность радиометра-дозиметра составляет:

- не менее 0,7 имп. см² при измерении плотности потока тепловых нейтронов;
- не менее 0,42 имп. см² при измерении плотности потока промежуточных и быстрых нейтронов.

Типовая энергетическая зависимость чувствительности радиометра-дозиметра при работе с блоком БДКН-03Р показана на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Зависимость чувствительности радиометра-дозиметра с блоком детектирования БДКН-03Р + «защита» + «замедлитель» от энергии нейтронов

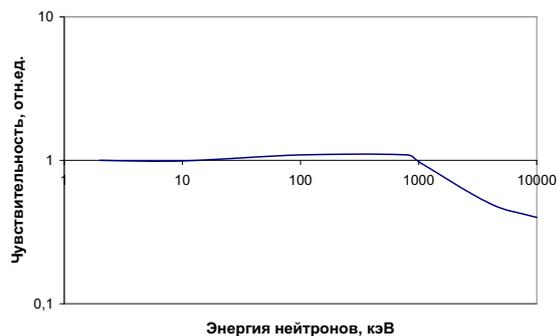


Рис. 2. Зависимость чувствительности радиометра-дозиметра с блоком детектирования БДКН-03Р + «защита» от энергии нейтронов

Значения анизотропии радиометра-дозиметра при различных углах между продольной осью блока детектирования и осью излучения находятся с точностью $\pm 5\%$ в пределах, указанных в табл. 2

Таблица 2

Значения анизотропии показаний радиометра-дозиметра

Блок детектирования	Средняя энергия излучения, кэВ	Относительное изменение показаний прибора в зависимости от угла между продольной осью детектора и осью потока излучения, %						
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
БДКН-03Р + «защита»	4000	0	± 5	± 5	± 5	± 5	-10	-35
БДКН-03Р + «защита» + «замедлитель»	4000	0	± 5	-10				
БДКН-03Р	$2,5 \cdot 10^{-5}$	0	± 5	-40	-70	-50	-50	-

Уровень собственного фона радиометра-дозиметра не превышает значений, указанных в табл. 3.

Таблица 3

Уровень собственного фона радиометра-дозиметра

Блок детектирования	Уровень собственного фона в единицах измеряемой величины
БДКН-03Р	
Нейтроны промежуточные и быстрые	$0,1 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$
Нейтроны тепловые	$0,1 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$

Время установки рабочего режима радиометра-дозиметра не превышает 15 мин.

Нестабильность показаний радиометра-дозиметра за 6 ч непрерывной работы не превышает $\pm 10\%$ от среднего значения показаний за этот промежуток времени.

Питание радиометра дозиметра осуществляется либо от блока аккумуляторов, либо от сети с напряжением 220 В.

Детектор блока БДКН-03Р выполнен на основе свето-состава СФЛ5-6 (смесь ZnS(Ag) и фтористого лития), диспергированного в диске из оргстекла и притертого с помощью вазелина к фотокатоду фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). В центральной части диска на его наружной поверхности нанесен слой ZnS(Ag), предназначенный для проверки работоспособности по контрольному α -источнику.

Режим работы радиометра-дозиметра определяется положением переключателей ИЗМЕРЯЕМАЯ ВЕЛИЧИНА, ВИД ИЗМЕРЕНИЯ, ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ, показанными в табл. 4.

Таблица 4

Режимы работы радиометра-дозиметра

Режим работы радиометра-дозиметра	Блок детектирования	Положение переключателей		
		ИЗМЕРЯЕМАЯ ВЕЛИЧИНА	ВИД ИЗМЕРЕНИЯ	ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ
Измерение плотности потока	БДКН-03Р	$n_{\text{пр+б}}$	БЛ.ДЕТ.	2 с, 10 с, 100 с
Измерение флюенса				ДОЗА(+) СТОП
Измерение плотности потока	БДКН-03Р	n_{T}	БЛ.ДЕТ.	2 с, 10 с, 100 с
Измерение флюенса				ДОЗА(+) СТОП
Измерение МЭД нейтронного излучения	БДКН-03Р + «защита» + «замедлитель»	$n_{\text{б}}$	БЛ.ДЕТ.	2 с, 10 с, 100 с
Измерение эквивалентной дозы нейтронного излучения				ДОЗА(+) СТОП

Порядок выполнения работы

Задача работы – изучение возможностей использования переносного дозиметра-радиометра МКС-01Р для измерения характеристик внешнего нейтронного поля.

Работа выполняется только под руководством и при непосредственном участии преподавателя.

Внешнее поле быстрых нейтронов создается с помощью изотопного источника нейтронов.

Преподавателем устанавливается геометрия измерений, а также обеспечиваются условия безопасности. В целях безопасности изотопный источник размещается внутри полиэтиленовой призмы. Измерения проводятся в вертикальном канале призмы, на дно которого устанавливается источник. Поток тепловых нейтронов создается в канале при размещении в последнем слое полиэтилена между источником и детектором. Объем и порядок измерений устанавливаются преподавателем.

Подготовка радиометра-дозиметра к работе

Проверить питание прибора. Для этого необходимо установить переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЯ в положение НАПР.БАТ., при произвольном положении остальных переключателей. Стрелка вольтметра, расположенного на лицевой панели пульта должна находиться в пределах красного сектора. Если стрелка вольтметра устанавливается левее красного сектора, то необходимо заменить аккумуляторы, либо перейти на режим обеспечения питания от сети 220 В через переходное устройство.

Подсоединить блок детектирования БДКН-03Р к пульта регистрации с помощью кабеля ЖШ4.855.174. Выдержать радиометр-дозиметр во включенном состоянии в течение 5 мин. Установить переключатель ИЗМЕРЯЕМАЯ ВЕЛИЧИНА в положение, соответствующее требуемому режиму измерения нейтронов (см. табл. 4). Установить на приемное окно блока детектирования контрольный источник 1П9-634 и проверить работоспособность прибора.

Измерение нейтронного излучения блоком БДКН-03Р

Измерение плотности потока промежуточных и быстрых нейтронов производится следующим образом:

- установить на детектор «защиту» из кадмия и подсоединить блок детектирования к блоку регистрации;
- проверить работоспособность прибора в соответствии с ранее описанным алгоритмом;
- установить переключатель ИЗМЕРЯЕМАЯ ВЕЛИЧИНА в положение « $n_{пр+б}$ », переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ – в положение

«2с», переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЯ – в положение БЛ.ДЕТ. Расположить блок детектирования в поле измеряемого излучения. На цифровом табло появится величина плотности потока промежуточных и быстрых нейтронов, $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$. Если плотность потока промежуточных и быстрых нейтронов меньше $100 \text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$, то установить переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ в положение «10с». Если плотность потока промежуточных и быстрых нейтронов меньше $10 \text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$, то установить переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ в положение «100с»;

При измерении флюенса промежуточных и быстрых нейтронов, поместить блок детектирования в «защите» в поле измеряемого излучения и только после этого установить переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ в положение ДОЗА (+). На цифровом табло появится величина флюенса промежуточных и быстрых нейтронов в см^{-2} . По истечение необходимого времени набора, контролируемого по внешнему измерителю времени, установить переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ в положение СТОП. Показания цифрового табло будут соответствовать флюенсу промежуточных и быстрых нейтронов за время измерения.

Измерение плотности потока тепловых нейтронов производится следующим образом:

- радиометр-дозиметр привести в рабочее состояние (с подсоединенным детектором БДКН-03Р);
- переключатель ИЗМЕРЯЕМАЯ ВЕЛИЧИНА установить в положение «n_T»;
- переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ установить в положение «2с»;
- переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЯ установить в положение БЛ.ДЕТ.;
- блок детектирования расположить в поле измеряемого излучения. На цифровом табло появится величина плотности потока тепловых нейтронов в $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$.

Если плотность потока тепловых нейтронов меньше $100 \text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$, то установить переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ в положение «10с». Если плотность потока тепловых нейтронов меньше $10 \text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$, то установить переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ в положение «100с».

При измерении флюенса тепловых нейтронов поместить блок детектирования в поле измеряемого излучения, и только после этого установить переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ в положение ДОЗА (+). На цифровом табло появится величина флюенса тепловых нейтронов в см^{-2} . По истечении необходимого времени набора, контролируемого по внешнему измерителю времени, установить переключатель ВРЕМЯ

ИЗМЕРЕНИЯ в положение СТОП. Показания цифрового табло будут соответствовать флюенсу тепловых нейтронов.

Измерение МЭД нейтронного излучения производится следующим образом:

- радиометр-дозиметр привести в рабочее состояние (с подсоединенным детектором БДКН-03Р);
- вставить блок детектирования в «защиту» и «замедлитель»;
- установить переключатель ИЗМЕРЯЕМАЯ ВЕЛИЧИНА в положение «n_T»;
- переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ установить в положение «2с»;
- переключатель ВИД ИЗМЕРЕНИЯ установить в положение БЛ.ДЕТ.;
- поместить блок детектирования в поле измеряемого излучения. На цифровом табло появится величина МЭД нейтронного излучения, мкЗв/ч. Если МЭД нейтронного излучения меньше 100 мкЗв/ч, то установить переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ в положение «10с», а если меньше 10 мкЗв/ч – в положение «100с».

При измерении эквивалентной дозы нейтронного излучения поместить блок детектирования в поле измеряемого излучения, и только после этого установить переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ в положение ДОЗА (+). На цифровом табло появится величина эквивалентной дозы нейтронного излучения, мкЗв. По истечении необходимого времени набора, контролируемого по внешнему измерителю времени, установить переключатель ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ в положение СТОП. Показания цифрового табло будут соответствовать эквивалентной дозе нейтронного излучения за время набора.

По результатам выполненных измерений подготовить отчет.

Контрольные вопросы к работе № 2

1. С помощью каких методов можно измерить характеристики нейтронного излучения?
2. К какому типу датчиков нейтронов относится детектор БДКН-03Р? Объясните принцип его работы.
3. Какова конструкция и для какой цели используется «защита» детектора БДКН-03Р?
4. Какова конструкция и для какой цели используется «замедлитель» детектора БДКН-03Р?
5. Перечислите взвешивающие коэффициенты для нейтронов всех групп энергий согласно НРБ-99.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ В ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПРИЗМЕ

Цель работы: изучение активационных методов определения характеристик полей нейтронов.

Теоретические основы методов

Детекторы нейтронов по разным причинам не всегда могут использоваться для определения характеристик нейтронного поля, однако, существует возможность применять для этого радиоактивные индикаторы (образцы).

Проведение физических измерений, связанных с определением характеристик полей нейтронов (потока, распределения, спектра и т.д.) выполняется с помощью стандартных наборов активационных и делительных образцов.

Для измерения спектров нейтронов используются наборы активационных образцов и делительных детекторов двух типов:

- делительные детекторы из ^{235}U и ^{238}U , число актов деления для которых определяется по выходу радиоактивных продуктов деления (ДД);
- твердотельные трековые делительные детекторы (ТТДД) из ^{239}Pu и ^{237}Np .

Детекторы облучаются в открытом виде, в кадмиевых экранах (1 мм Cd) и в составных экранах из кадмия и бора (1 мм Cd + 1 г/см² ^{10}B). Перечень используемых в экспериментах детекторов и их основные ядерно-физические характеристики приведены в табл. 5, 6 и 7.

Таблица 5

Основные ядерно-физические характеристики активационных детекторов тепловых и резонансных нейтронов

n/n	Реакция	$\sigma_{\text{тепл.}}$, барн	$T_{1/2}$	E_{γ} кэВ(k_{γ} %)
1	$^{176}\text{Lu}(n,\gamma)^{177}\text{Lu}$	2100	6,71сут	113 (6,60), 208 (11,0)
2	$^{151}\text{Eu}(n,\gamma)^{152}\text{Eu}$	3211	9,3ч	842 (14,6)
3	$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$	98,7	2,696 сут	412 (95,5)
4	$^{152}\text{Sm}(n,\gamma)^{153}\text{Sm}$	206	47,1 ч	103 (28,2)
5	$^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$	37,8	23,9 ч	686 (29,7)
6	$^{139}\text{La}(n,\gamma)^{140}\text{La}$	8,95	40,26 ч	1596 (95,3)
7	$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{59}\text{Co}$	37,2	5,272 лет	1133 (100), 1173 (100)
8	$^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$	4,51	12,7 ч	511 (36,8)
9	$^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$	0,527	14,96 ч	1368 (100), 2754 (99)
10	$^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$	15,9	27,7 сут	320 (9,83)
11	$^{45}\text{Sc}(n,\gamma)^{46}\text{Sc}$	27,3	84,0 сут	889 (100), 1121 (100)

Таблица 6

Основные ядерно-физические характеристики активационных и делительных урановых детекторов быстрых нейтронов

n/n	Реакция	E _{порог} МэВ	σ _{порог} , мбарн	T _{1/2}	E _γ , кэВ (к _γ %)
1	²³⁵ U(n,f)	формируются экранами из Cd и ¹⁰ B		определяются ядерно-физическими характеристиками продуктов деления	
2	²³⁸ U(n,f)	1,5	588	определяются ядерно-физическими характеристиками продуктов деления	
3	⁴⁷ Ti(n,p) ⁴⁷ Sc	2,2	50	3,40 сут	159 (70)
4	⁵⁸ Ni(n,p) ^{58+58m} Co	2,5	366	70,78 сут	811 (99,45)
5	⁶⁴ Zn(n,p) ⁶⁴ Cu	2,6	158	12,7 ч	511 (45,9)
6	³² S(n,p) ³² P	3,0	305	14,29 сут	E _{βmax} = 1,71 МэВ
7	⁵⁴ Fe(n,p) ⁵⁴ Mn	3,0	383	312,2 сут	835 (100)
8	²⁴ Mg(n,p) ²⁴ Na	7,0	119	14,96 ч	1369 (100), 2754 (99)
9	²⁷ Al(n,α) ²⁴ Na	7,2	66,4	14,96 ч	1369 (100), 2754 (99)
10	²⁰³ Tl(n,2n) ²⁰² Tl	9,5	1930	12,2 сут	439 (92,0)
11	⁹³ Nb(n,2n) ⁹² Nb	10,5	470	10,13 сут	934 (99,1)
12	⁹⁰ Zr(n,2n) ⁸⁹ Zr	13,0	700	3,268сут	910 (99,0)

Таблица 7

Основные характеристики делительных детекторов ТТДД

	Реакция	Сечение деления, барн		Тип экрана БЭ-3-1.0	
		E _n , 0,0253 эВ	E _n , 14,7 МэВ	E _{пор} , МэВ	σ _{эфф} , барн
1	²³⁷ Np(n,f)	0,019 ± 0,003	2,350 ± 0,0059	0,58	1,60
2	²³⁹ Pu(n,f)	744 ± 2,5	2,54 ± 0,08	1·10 ⁻³	1,80

Теоретические основы метода треков деления

В методе треков деления в качестве регистратора осколков деления используется слюда (например, мусковит), стекла и некоторые органические полимерные материалы (лавсан, майлар и др.). Продукты деления при движении в твердых телах оставляют за собой узкую непрерывную область радиационного разрушения (трек), которую можно сделать видимой путем избирательного химического травления. В качестве травящих агентов в зависимости от исследуемого объекта используют неорганические кислоты (HF, HNO₃, HCl и др.), щелочи (NaOH и KOH) и некоторые другие реагенты. Длительность травления находится в пределах от нескольких секунд до нескольких часов. В процессе травления реагент проникает в разрушающую область, растворяет вещество в ней и, таким образом, увеличивает размеры начального трека до такой степени, что он становится видимым в оптический микроскоп.

До травления треки можно наблюдать только с помощью электронного микроскопа, так как их размеры равны 10 нм. Треки деления после протравливания имеют ряд характерных признаков, которые позволяют отличить их от дефектов и дислокаций в твердом теле. Прежде всего, они имеют специфическую форму, которая зависит от исследуемого материала, химического реагента и времени травления. Как дополнительные факторы при идентификации могут выступать данные по глубине треков, не превышающие 20 мкм, закономерности распределения подозрительных образований и высокотемпературному отжигу. После травления подсчитывают число треков, приходящихся на единицу поверхности детектора.

Для облучения тепловыми нейтронами связь между концентрацией способных к делению ядер и плотностью треков может быть определена в простейшем случае с помощью выражения:

$$\rho_{mp} = N_{дел} \Phi_{инт} \sigma_{дел} \varepsilon_{mp} R_{эфф}, \quad (3.1)$$

где ρ_{mp} – плотность треков, трек/см²;

$N_{дел}$ – концентрация делящихся ядер, атом/см²;

$\Phi_{инт}$ – интегральный поток нейтронов, нейтрон/см²;

$\sigma_{дел}$ – сечение деления, см²;

ε_{mp} – эффективность регистрации треков;

$R_{эфф}$ – эффективный пробег продуктов деления, см⁻¹.

Величины $R_{эфф}$ и ε_{mp} для данного типа детектора определяются в отдельных опытах. С учетом постоянных величин концентрацию определяемых ядер рассчитывают из уравнения:

$$N_{дел} = k \frac{\rho_{mp}}{\Phi_{инт}}, \quad (3.2)$$

где k – величина постоянная.

Теоретические основы метода активации образцов.

На практике в качестве активационных образцов наиболее часто используют фольги с площадью поверхности 0,1...10 см². Для очень тонких фольг справедливо выражение $[\Sigma_a(E) + \Sigma_s(E)]d \ll 1$,

где Σ_a – макроскопическое сечение поглощения нейтронов материалом;

Σ_s – макроскопическое сечение рассеяния нейтронов материалом;

d – толщина фольги; эффектами самоэкранирования и депрессии нейтронов можно пренебречь.

Для относительных измерений распределения нейтронных полей нередко вместо фольг используются полоски или тонкие проволоки из индикаторных материалов.

Скорость протекания реакции активации материала q зависит от спектра нейтронов $\Phi(E)$ и сечения активации $\sigma(E)$. Отнесенная к одному ядру изотопа мишени она равна:

$$q = \int_0^{\infty} \Phi(E)\sigma(E)dE. \quad (3.3)$$

Задача активационных измерений состоит в определении величины q , детекторов с различными зависимостями $\sigma(E)$ и последующем получении информации о поле нейтронов. Активационный интеграл (3.3) всегда связан с числом делений или активностью образовавшегося изотопа (изомера) в детекторе, которая определяется экспериментальным путем.

Значение активности с учетом «выгорания» изотопа продукта реакции к моменту окончания облучения $Q(T, t_B = 0)$ определяется при решении уравнения вида

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\lambda Q(t) + \lambda n_0 \int_0^{\infty} \sigma(E)\Phi(E, t)dEdt - Q(t) \int_0^{\infty} \sigma^*(E)\Phi(E, t)dE, \quad (3.4)$$

где n_0 – число ядер изотопа мишени в детекторе;

λ – постоянная распада изотопа – продукта реакции;

$\sigma^*(E)$ – сечение реакций, идущих на ядрах радионуклида и приводящих к его выгоранию.

Решение уравнения (3.4) имеет вид

$$Q(T, t_B = 0) = \exp\left[-\int_0^T \lambda_{\text{эфф}} dt\right] * \left(\int_0^T \lambda n_0 \int_0^{\infty} \sigma(E)\Phi(E, t) \exp\left[\int_0^t \lambda_{\text{эфф}} dt\right] dEdt\right), \quad (3.5)$$

где $\lambda_{\text{эфф}} = \lambda + \int_0^{\infty} \sigma^*(E)\Phi(E, t)dE$.

Образовавшийся изотоп распадается по экспоненциальному закону, и через время t_B после окончания облучения значение активности изотопа продукта будет составлять

$$Q(T, t_B) = Q(T, t_B = 0) \exp(-\lambda t_B). \quad (3.6)$$

В стационарном поле нейтронов при времени экспозиции T , через время t_B после окончания облучения значение активности изотопа продукта составляет

$$Q(T, t_B) = (1 - \exp(-\lambda_{\text{эфф}} T)) \exp(-\lambda t_B) q. \quad (3.7)$$

При образовании, наряду с основным, изомерного уровня, распадающегося с вероятностью p_m на основной уровень, активность изотопа (без учета выгорания) может быть определена с помощью следующего соотношения:

$$Q_g(T, t_B) = n_0 [1 - \exp(-\lambda_g T)] \exp(-\lambda_g t_B) q_{g+m} - p_m \frac{\lambda_g}{\lambda_m - \lambda_g} n_0 [1 - \exp(-\lambda_m T)] \exp(-\lambda_m t_B) q_m, \quad (3.8)$$

где $q_{g+m} = \int_0^\infty \left[\sigma_g(E) + p_m \sigma_m(E) \frac{\lambda_m}{\lambda_m - \lambda_g} \right] \Phi(E) dE$, индексы g и m соответствуют основному и изомерному состоянию.

Для определения степени активации материалов на практике спектр нейтронов представляют в виде трех компонент – тепловой $\Phi_T(E)$, промежуточной (надтепловой) $\Phi_{epi}(E)$ и быстрой:

$$\Phi_\sigma(E) : \Phi(E) = \Phi_T(E) + \Phi_{epi}(E) + \Phi_\sigma(E). \quad (3.9)$$

В данном приближении отдельно определяется поток тепловых и резонансных нейтронов и отдельно быстрых. Для реакции, сечение которой следует закону $1/v$ (для стационарного потока тепловых нейтронов), активационный интеграл (3.3) может быть заменен выражением

$$q = \Phi_T \sigma_{2200}, \quad (3.10)$$

где $\Phi_T = n_T \sigma_{2200}$;

n_T – общая плотность тепловых нейтронов.

Это означает, что по числу происходящих взаимодействий, поток нейтронов с распределением Максвелла равноценен моноэнергетическому потоку нейтронов с энергией 0,025 эВ, но с той же общей плотностью. Для тех немногих ядер, у которых сечение активации не подчиняется закону $1/v$, интеграл (3.3) заменяется произведением $\Phi_T \sigma_{2200} g$ (3.11), где g – коэффициент, учитывающий степень этого отклонения.

Для учета вклада надтепловых нейтронов в реакцию радиационного захвата при расчете наведенной активности используют эффективное сечение активации:

$$\sigma_{эфф} = \sigma_{2200} + \frac{\Phi_p}{\Phi_T} I_p, \quad (3.12)$$

где I_p – резонансный интеграл, определяемый как $I_p = \int_{0,4эв}^\infty \frac{\sigma(E) dE}{E}$.

Для определения Φ_p/Φ_T достаточно измерить кадмиевое отношение для какого-либо элемента (детектора) с известным σ_{2200} и I_p . Кадмиевое отношение рассчитывают по активации небольшого количества элемента при облучении в кадмиевый фильтр (толщиной 0,5...1 мм) и

без него. В отсутствие кадмия активация элемента происходит при участии тепловых и резонансных нейтронов, а с фильтром – только при участии последних, так как кадмиевый фильтр почти полностью поглощает все нейтроны с энергией менее 0,4 эВ.

После облучения материала детектора и последующего измерения активности кадмиевое отношение определяется как

$$L_{Cd} = \frac{Q_T + Q_p}{Q_p} = \frac{\Phi_T \sigma_T + \Phi_p \sigma_p}{\Phi_p I_p}, \quad (3.13)$$

где Q_T и Q_p – активность радиоизотопа, обусловленная действием тепловых и резонансных нейтронов соответственно.

Из уравнения (3.13) следует, что кадмиевое отношение зависит от чувствительности детектора к тепловым σ_{2200} и резонансным I_p нейтронам, поэтому у разных детекторов оказывается неодинаковым.

Если кадмиевое отношение определено экспериментально, то при известных σ_{2200} и I_p , отношение плотностей потоков тепловых и резонансных нейтронов рассчитывается по уравнению:

$$\frac{\Phi_T}{\Phi_p} = \frac{I_p}{\sigma_{2200}} (L_{Cd} - 1). \quad (3.14)$$

Для определения плотности потока (флюенса) и энергетического спектра быстрых нейтронов применяют пороговые реакции захвата нейтронов с испусканием заряженных частиц и двух нейтронов (n, α), (n, p), (n, 2n), неупругого рассеяния (n, n') и деления (n, f) нейтронов. Энергетическая зависимость сечения пороговых реакций, используемых для определения характеристики поля быстрых нейтронов, подбирается по экспериментальным данным с учетом точности метода измерения.

Порядок выполнения работы

Задача работы – определение кадмиевого отношения и отношения количества потока тепловых нейтронов к резонансным для изотопного источника нейтронов, расположенного в полиэтиленовой призме.

Для определения кадмиевого отношения используются фольги из индия. Микроскопическое сечение активации изотопа ^{115}In (доля которого в естественной смеси изотопов – 95,72 %) тепловыми нейтронами составляет 115 барн, резонансный интеграл – 2640 барн.

В соответствии с указаниями преподавателя, индиевые фольги попарно (экранированные и неэкранированные кадмием) располагаются для облучения на различных расстояниях от изотопного источника нейтронов, заранее установленного в полиэтиленовую призму.

Полиэтиленовая призма представляет собой сборку из полиэтиленовых блоков размером 1200×1200×1200 мм с вертикальным измерительным каналом.

Дистанционирование фольг друг от друга выполняется с помощью вставок из полиэтилена, последовательно устанавливаемых в канал над изотопным источником.

Длительность облучения составляет ~ 10 ч, что практически соответствует условиям насыщения активации изотопа ^{115}In , имеющего период полураспада 54 мин.

Степень активации фольг устанавливается опосредованно с помощью регистрации β и γ -излучения, возникающего в результате β -распада продуктов активации.

Измерение излучения облученных фольг выполняются в свинцовом защитном домике. Для измерений используется радиометрический измерительный тракт на основе галогенового самогасящегося счетчика СБТ-13. В состав измерительного тракта помимо галогенового счетчика, входит блок высокого напряжения БВ-2-2 и пересчетное устройство ПСО2-4.

Для проведения измерений на счетчик от источника высокого напряжения подается рабочее напряжение 380 В.

Пересчетное устройство подключается к сети переменного напряжения 220 В.

Измерения начинаются не ранее чем через 10 мин после подачи рабочего напряжения на приборы.

Перед измерением необходимо убедиться в работоспособности измерительного тракта. Для этого:

- проверить работоспособность пересчетного устройства с помощью режима «Проверка»;
- разместить в защитном домике источник излучения ^{137}Co и проверить наличие регистрации излучения измерительным трактом в режиме «Счет».

Провести 3–4 измерения фона счетной установки. По результатам измерений определяется среднее значение, которое затем вычитается из показаний измерений облученных образцов.

Произвести измерения облученных образцов. Длительность измерения определяется статистической погрешностью измерений, которая не должна превышать 1 %. Каждое измерение с вычислением среднего значения проводится не менее трех раз.

Рассчитать удельную (массовую) интенсивность облученных образцов.

Кадмиевое отношение определяется как отношение значений удельной интенсивности индиевой фольги, облученной на заданном расстоянии от источника без кадмиевого фильтра, к значению удельной интенсивности фольги, обернутой в фильтр из кадмия.

Определить отношение потоков тепловых и резонансных нейтронов на заданном расстоянии от изотопного источника нейтронов с помощью соотношения 3.14.

По результатам измерений подготовить отчет.

Контрольные вопросы к работе № 3

1. Почему и когда возникает необходимость в использовании активационных и делительных образцов для изучения характеристик полей нейтронного излучения?
2. Расскажите о методе треков деления и приведите примеры материалов, используемых для реализации данного метода на практике.
3. В чем заключается сущность метода активационных образцов?
4. Запишите активационный интеграл и его решение в простейшем приближении. Какие допущения были сделаны для получения простейшего приближения уравнения активации?
5. Для чего используется коэффициент, учитывающий степень этого отклонения от закона $1/v$?
6. Объясните смысл термина – эффективное сечение активации материала?
7. В чем заключается метод кадмиевой разницы? Как и почему его можно использовать для определения спектральных характеристик потока нейтронов?

Лабораторная работа 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РЕНГЕНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗАТОРА (НА БАЗЕ РФА АНАЛИЗАТОРА «СПЕКТРОСКАН-МАКС-G»)

Цель работы: изучение возможностей рентген-флуоресцентного анализа в области выполнения неразрушающего анализа делящихся материалов.

Принцип работы прибора

Исследуемый образец, установленный в пробозагрузочное устройство, в рабочем положении облучается рентгеновской трубкой. В результате взаимодействия рентгеновского излучения с веществом в образце возникает вторичное флуоресцентное излучение, в спектре которого присутствуют характеристические линии элементов, входящих в его состав. Интенсивность этих линий позволяет судить о концентрации элементов.

Принцип действия спектрометра основан на выделении характеристических линий флуоресцентного излучения исследуемого образца, регистрации их интенсивности и пересчета в концентрации соответствующих элементов.

Кристалл-дифракционный и энергодисперсионный каналы, входящие в состав спектрометра осуществляют выделение характеристических линий на основе волновых и квантовых свойств рентгеновского излучения.

Кристалл-дифракционный сканирующий канал построен по оригинальной рентгенооптической схеме, обладающей высокой светосилой (см. рис. 3). Спектрометрическое устройство обеспечивает взаимное расположение входной щели, кристалл-анализатора и детектора, необходимое для получения спектра по методу Иогансона.



Рис. 3. Функциональная схема спектрометра

Первичное излучение рентгеновской трубки 2 возбуждает в исследуемом образце 1 флуоресцентное излучение, которое через входную щель 3 попадает на фокусирующий кристалл-анализатор 4, выделяющий из спектра образца характеристическую линию, соответствующую условиям отражения по закону Вульфа-Брэгга:

$$n\lambda = 2d \sin \Theta, \quad (4.1)$$

где n – порядок отражения ($n = 1, 2, \dots$);

λ – длина волны падающего излучения, А;

d – межплоскостное расстояние кристалл-анализатора, А;

Θ – угол падения излучения на кристалл, град.

Угол падения первичного излучения на образец $\varphi = 90^\circ$, угол отбора вторичного излучения $\Psi = 30^\circ$.

Выделенное излучение кристалл-анализатора 4 фокусирует в приемную щель 5 блока детектирования 6, сигнал с которого поступает на вход усилителя-дискриминатора, затем на вход счетного устройства. Зарегистрированное за установленное время экспозиции число импульсов пропорционально содержанию соответствующего химического элемента в образце, и, в зависимости от конкретной аналитической задачи, может быть рассчитано по различным методикам в процент концентрации или массовую долю элемента.

Устройство спектрометра СПЕКТРОСКАН-МАКС-G

Блок спектрометра включает в себя следующие устройства:

- излучатель;
- устройство спектрометрическое;
- устройство детекторное;
- блок электроники.

Излучатель является источником первичного возбуждения излучения, в котором конструктивно объединены генераторное устройство и рентгеновская трубка типа БХ-7 (с Ag анодом) мощностью до 4 Вт с номинальным режимом работы $U = 40$ кВ, $I = 100$ мкА.

Устройство спектрометрическое обеспечивает выделение и регистрацию аналитических линий и включает в свой состав блок детектирования и механизм сканирования, или гониометр. Кинематическая схема гониометра обеспечивает плавное и синхронное перемещение кристалл-анализатора и детектора таким образом, что при повороте кристалла на угол Θ , детектор поворачивается на угол 2Θ . При этом каждому фиксированному положению гониометра соответствует, по формуле (4.1), определенная длина волны λ . Значение угла Θ (или соответствующей длины волны) отсчитывается от начального положения гониометра, опре-

деляемого датчиком, по числу шагов шагового двигателя механизма сканирования.

Блок детектирования представляет собой отпаянный пропорциональный детектор с Хе-наполнением и выходной щелью, установленной перед окном детектора.

Устройство детекторное, которое состоит из цепи питания детектора и предварительного усилителя, обеспечивает усиление сигналов, поступающих с детектора.

Блок электроники предназначен для управления спектрометром с помощью компьютера через последовательный интерфейс. Он обеспечивает формирование сигналов на электропривод механизма сканирования, обработку, формирование сигналов управления ВИП-40 рентгеновской трубки и высоковольтным источником питания детектора, осуществляет преобразование и обработку сигналов детектора после их предварительного усиления.

Конструктивно блок электроники представляет собой кросс-плату, на которой установлены следующие устройства:

- контроллер. Плата контроллера обеспечивает прием внешних команд и выдачу управляющих сигналов на другие платы. Связь контроллера с внешней ЭВМ обеспечивается устройством сопряжения;
- формирователь импульсов. После предварительного усилителя импульсы подвергаются дополнительной формировке на плате формирователя. Там же производится измерение интегральной загрузки измерительного тракта и вырабатывается сигнал корректировки напряжения детектора для снижения зависимости амплитуды импульсов от интенсивности при больших нагрузках;
- усилитель-дискриминатор. Он осуществляет калибровку по амплитуде поступивших с формирователя импульсов, с помощью управляемого усилителя и последующее выделение импульсов, амплитуды которых попадают в окно между порогами дискриминации. На плате усилителя-дискриминатора размещены два равноценных канала дискриминации, пороги которых обычно настраиваются таким образом, чтобы первый канал выделял импульсы, соответствующие первому порядку отражения, а второй – второму. Выделенные импульсы через кросс-плату поступают в соответствующие счетные каналы, размещенные на плате контроллера;
- преобразователь АЦП-ЦАП. Плата блока преобразователя содержит 4-канальный ЦАП, АЦП с входным коммутатором на 7 каналов, однонаправленный порт связи в ВИП-40. Блок выдает постоянные напряжения, управляющие величиной напряжения и тока

рентгеновской трубки. С помощью АЦП измеряются фактические напряжение и ток накала рентгеновской трубки. Через порт связи ВИП-40 поступает информация о его состоянии.

- ВИП-2 кВ (с диапазоном от 500 В до 2000 В с дискретностью 2В) обеспечивает подачу напряжения на детектор;
- устройство управления шаговым двигателем (ШД) осуществляет управление ШД механизма гониометра.

Положение гониометра контролируется с помощью фотодатчиков и концевого выключателя.

Разъемы кросс-платы эквивалентны по распайке, что позволяет при необходимости (например, при ремонте) переставлять платы в удобном порядке.

Блок электроники включает также стабилизированный источник питания всех устройств спектрометра, расположенный вне кросс-платы в отдельном корпусе.

В состав спектрометра также входит персональный компьютер, который обеспечивает управление спектрометром и обработку результатов измерений в соответствии с программным обеспечением, позволяющим производить качественную и количественную оценку полученных данных.

Порядок выполнения работы

Все работы на спектрометре должны выполняться только под контролем и руководством преподавателя или квалифицированного обслуживающего персонала (инструктора). Самостоятельная работа студентов с прибором запрещена!

Подготовка спектрометра к работе

Включите компьютер.

Убедитесь, что все кнопки спектрометра отжаты.

Включите спектрометр в сеть 220 В, 50 Гц и нажмите кнопку «POWER», затем кнопку «RESET» на лицевой панели блока спектрометрического.

Нажмите кнопку «X-RAY» на лицевой панели блока спектрометрического. Должен засветиться красный индикатор «X-RAY», свидетельствующий о подаче высокого напряжения на рентгеновскую трубку. Схема задержки выведет в течение 5 мин анодные ток и напряжение в номинальный режим $U_a = 40 \text{ kV}$, $I_a + 100 \text{ mA}$. При этом над кнопкой «X-RAY» при этом загорится светодиод «Ready», сигнализирующий о выходе в режим. После выхода прибора в режим можно провести поиск реперной линии и работать в программе качественного анализа. Для работы в режиме количественного анализа требуется еще около 40...50 мин прогрева прибора. За это время теплообмен между составными частями аппарата приходит в динамическое равновесие.

Поиск реперной линии – этап, необходимый для подготовки спектрометра к ежедневной работе. Эта процедура необходима для того, чтобы обрабатываемая программа обладала данными о соотношении между длиной волны и положением гониометра. В программе PC Spectr для поиска реперной линии выберите в Основном Меню пункт «Инструментарий» и команду «Установка гониометра». При этом программа напомнит о необходимости установки соответствующего образца (обычно образец железа, который поставляется вместе с прибором). После установки образца необходимо нажать клавишу ОК. Спектрометр автоматически выполняет поиск реперной линии, отражая результаты поиска на экране. После «захвата» реперной линии на экране появляется извещение «Измерение закончено». При неизменных параметрах реперной линии шкала прибора будет настроена автоматически.

Для выполнения качественного и количественного анализа запускается одна из управляющих программ. Вся дальнейшая работа со спектрометром осуществляется с помощью данной программы. Объем и содержание работы определяется преподавателем.

В работе используются заранее подготовленные образцы, содержащие уран в различных концентрациях. Необходимо выполнить качественный анализ наличия урана, а также определить его количество в указанной преподавателем пробе. Определение урана выполняется как для первого (длина волны 910 А), так и для второго (длина волны 1820 А) отражения.

По результатам работы готовится отчет.

Контрольные вопросы к работе № 3

1. Какой принцип генерации рентгеновского излучения используется в «СПЕКТРОСКАН-МАКС-G»?
2. Почему спектрометр называется кристалл-дифракционным и сканирующим?
3. Почему вместо оптического зеркала для дифракции рентгеновского излучения используется кристалл?
4. Запишите формулу Вульфа-Брэгга и объясните, что подразумевают под первым, вторым и последующими отражениями?
5. Запишите активационный интеграл и его решение в простейшем приближении? Какие допущения были сделаны для получения простейшего приближения уравнения активации?
6. Какое значение для анализов имеет материал анода?
7. Какие устройства входят в состав «СПЕКТРОСКАН-МАКС-G» и каково их предназначение?
8. С какой целью проводится ежедневный поиск реперной линии спектрометра?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CRC Handbook of Radioanalytical Chemistry /editors Juraj Tolgyessy, Erno Bujdosó. Library of Congress – Vol. 1. – USA. – 543 p.
2. Greer G.R., Walker J. Radiation Measurements in Nuclear Power. – New York, 1966. – 270 p.
3. Taylor D. Neutron irradiation and activation analysis. – London, 1964. – 204 p.
4. Алиев А.И., Дрынкин В.И. Ядернофизические константы для нейтронного активационного анализа: Справочник. – М: Атомиздат, 1969. – 328 с.
5. Берзина И.Г. Использование следов от осколков деления тяжелых элементов в веществах для решения практических задач // Тр. ВНИИЯГГ, Вып. 5. – 298 с.
6. Берурц К., Виртц К. Нейтронная физика. – М.: Атомиздат, 1968. – 295 с.
7. Васильев Р.Д. Основы метрологии нейтронного излучения. – М.: Атомиздат, 1972. – 312 с.
8. Внутриреакторная аппаратура для измерений плотности потока нейтронов в энергетических реакторах // Стандарт МЭК. Публикация 568. – 1978. – 52с.
9. Внутриреакторная дозиметрия / Б.А Брискман, В.В. Генералов, Е.А. Крамер-Агеев, В.С. Трошин – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 200 с.
10. Галлиев Н.Б., Григорьев Е.И., Севастьянов В.Д. и др. Методы и аппаратура для точных измерений параметров ионизирующих излучений. – М.: ЦНИИАтоминформ, 1978. – С 59.
11. Ломакин С.С., Петров В.И., Самойлов П.С. Радиометрия нейтронов активационным методом. – М.: Атомиздат, 1975. – 207 с.
12. Сидоренко В.В., Кузнецов Ю.А., Оводенко А.А. Детекторы ионизирующих излучений: Справочник. – Л.: Судостроение, 1984. – 240 с.

Учебное издание

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсам «Дизометрия и защита от ионизирующих излучений ядерного реактора», «Приборы и методы физических измерений» для студентов IV–V курсов, обучающихся по направлению 140300 «Ядерная физика и технологии», специальностей 140305 «Ядерные реакторы и энергетические установки», 140309 «Безопасность и нераспространение ядерных материалов»

Составители

СИЛАЕВ Максим Евгеньевич
ЧЕРТКОВ Юрий Борисович

Научный редактор
доктор физико-математических наук,
профессор

И.В. Шаманин

Редактор

А.В. Высоцкая

Верстка

Д.В. Сотникова

Дизайн обложки

О.Ю. Аршинова

О.А. Дмитриев

Подписано к печати 18.11.2008. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать Хергох. Усл. печ. л. 1,74. Уч.-изд. л. 1,58.

Заказ 780. Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.