

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**
Метрология ионизирующих излучений

Код модуля
1152887(1)

Модуль
Радиационная безопасность

Екатеринбург

Оценочные материалы составлены автором(ами):

№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Жуковский Михаил Владимирович	доктор технических наук, профессор	Профессор	экспериментальной физики

Согласовано:

Управление образовательных программ

Т.Г. Комарова

Авторы:

- Жуковский Михаил Владимирович, Профессор, экспериментальной физики

1. СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ **Метрология ионизирующих излучений**

1.	Объем дисциплины в зачетных единицах	6	
2.	Виды аудиторных занятий	Лекции Практические/семинарские занятия Лабораторные занятия	
3.	Промежуточная аттестация	Экзамен	
4.	Текущая аттестация	Коллоквиум	1
		Домашняя работа	5
		Отчет по лабораторным работам	1

2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ИНДИКАТОРЫ) ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ **Метрология ионизирующих излучений**

Индикатор – это признак / сигнал/ маркер, который показывает, на каком уровне обучающийся должен освоить результаты обучения и их предъявление должно подтвердить факт освоения предметного содержания данной дисциплины, указанного в табл. 1.3 РПМ-РПД.

Таблица 1

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)	Контрольно-оценочные средства для оценивания достижения результата обучения по дисциплине
1	2	3
ПК-4 -Способность к созданию теоретических и математических моделей в области ядерной физики и технологий	З-1 - Объяснить физическое описание явлений и процессов в области ядерной физики и технологий З-3 - Определять порядок разработки и оформления отчетной документации по результатам выполненных исследований П-2 - Иметь практические навыки анализа и обобщения результатов выполненных научно-технических исследований и разработок У-2 - Использовать математические методы	Домашняя работа № 2 Домашняя работа № 3 Домашняя работа № 4 Домашняя работа № 5 Домашняя работа №1 Коллоквиум Лабораторные занятия Лекции Отчет по лабораторным работам Практические/семинарские занятия Экзамен

	обработки результатов исследований и их обобщения	
ПК-5 -Способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов	З-1 - Сформулировать теоретические основы методов и процессов в своей предметной области, современное состояние развития науки и технологии в своей предметной области П-2 - Иметь навыки использования информационных технологий и пакетов прикладных программ при проектировании и расчете устройств или объектов в своей предметной области У-1 - Разрабатывать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете устройств или объектов в своей предметной области	Домашняя работа № 2 Домашняя работа № 3 Домашняя работа № 4 Домашняя работа № 5 Домашняя работа №1 Коллоквиум Лабораторные занятия Лекции Отчет по лабораторным работам Практические/семинарские занятия Экзамен
ПК-9 -Способность объективно оценить предлагаемое решение или проект по отношению к современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение	З-1 - Определять современный уровень развития науки и технологии, профессиональные проблемы в своей предметной области З-2 - Различать стандарты, методики и инструкции, определяющие порядок разработки и оформления отчетной документации по результатам выполненных исследований П-1 - Иметь навыки экспертной оценки предлагаемых решений или проектов У-1 - Сравнить предполагаемое решение или проект относительно мирового уровня	Домашняя работа № 2 Домашняя работа № 3 Домашняя работа № 4 Домашняя работа № 5 Домашняя работа №1 Коллоквиум Лабораторные занятия Лекции Отчет по лабораторным работам Практические/семинарские занятия Экзамен
ПК-10 -Способен эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических	З-1 - Определять основные физические процессы, лежащие в основе функционирования физических установок З-2 - Определять типовые методики выполнения	Домашняя работа № 2 Домашняя работа № 3 Домашняя работа № 4 Домашняя работа № 5 Домашняя работа №1 Коллоквиум

<p>установок, выполнять технико-экономические расчеты</p>	<p>измерений, расчетов и технологических процессов П-1 - Иметь навыки эксплуатации физических установок, проведения испытаний и устранения типичных неисправностей и сбоев в работе физических установок П-2 - Иметь навыки расчета современных физических установок У-1 - Эксплуатировать стандартные физические установки и приборы, находить типичные неисправности и сбои в работе, проводить испытания и ремонт физических установок У-4 - Обеспечивать работы с источниками ионизирующих излучений</p>	<p>Лабораторные занятия Лекции Отчет по лабораторным работам Практические/семинарские занятия Экзамен</p>
<p>ПК-11 -Способен решать инженерно-физические задачи с помощью пакетов прикладных программ</p>	<p>З-1 - Сформулировать инженерно- физические задачи по направлению деятельности З-3 - Представлять типовые методики выполнения измерений, расчетов и технологических процессов П-1 - Иметь практический опыт решения инженерно-физических задач с помощью современных программных средств в своей профессиональной деятельности У-1 - Оценивать возможность решения инженерно-физических задач в своей профессиональной деятельности</p>	<p>Домашняя работа № 2 Домашняя работа № 3 Домашняя работа № 4 Домашняя работа № 5 Домашняя работа №1 Коллоквиум Лабораторные занятия Лекции Отчет по лабораторным работам Практические/семинарские занятия Экзамен</p>

3. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ В БАЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЕ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА БРС)

3.1. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0.6		
Текущая аттестация на лекциях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<i>домашняя работа</i>	3,16	20
<i>домашняя работа</i>	3,16	20
<i>домашняя работа</i>	3,16	20
<i>домашняя работа</i>	3,16	20
<i>домашняя работа</i>	3,16	20
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0.4		
Промежуточная аттестация по лекциям – экзамен		
Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0.6		
2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0.2		
Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<i>работа на практических занятиях</i>	3,16	100
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – 1		
Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – нет		
Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям – не предусмотрено		
3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – 0.2		
Текущая аттестация на лабораторных занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<i>коллоквиум</i>	3,15	30
<i>отчет по лабораторным работам</i>	3,16	40
<i>выполнение лабораторной работы</i>	3,16	30
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям – 1		
Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям – нет		
Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям – не предусмотрено		
4. Онлайн-занятия: коэффициент значимости совокупных результатов онлайн-занятий – не предусмотрено		
Текущая аттестация на онлайн-занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по онлайн-занятиям – не предусмотрено		
Промежуточная аттестация по онлайн-занятиям – нет		

Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по онлайн-занятиям – не предусмотрено

3.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта

Текущая аттестация выполнения курсовой работы/проекта	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
Весовой коэффициент текущей аттестации выполнения курсовой работы/проекта– не предусмотрено		
Весовой коэффициент промежуточной аттестации выполнения курсовой работы/проекта– защиты – не предусмотрено		

4. КРИТЕРИИ И УРОВНИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

4.1. В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре/институте критерии (признаки) оценивания достижений студентов по дисциплине модуля (табл. 4) в рамках контрольно-оценочных мероприятий на соответствие указанным в табл.1 результатам обучения (индикаторам).

Таблица 4

Критерии оценивания учебных достижений обучающихся

Результаты обучения	Критерии оценивания учебных достижений, обучающихся на соответствие результатам обучения/индикаторам
Знания	Студент демонстрирует знания и понимание в области изучения на уровне указанных индикаторов и необходимые для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Умения	Студент может применять свои знания и понимание в контекстах, представленных в оценочных заданиях, демонстрирует освоение умений на уровне указанных индикаторов и необходимых для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Опыт /владение	Студент демонстрирует опыт в области изучения на уровне указанных индикаторов.
Другие результаты	Студент демонстрирует ответственность в освоении результатов обучения на уровне запланированных индикаторов. Студент способен выносить суждения, делать оценки и формулировать выводы в области изучения. Студент может сообщать преподавателю и коллегам своего уровня собственное понимание и умения в области изучения.

4.2 Для оценивания уровня выполнения критериев (уровня достижений обучающихся при проведении контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля) используется универсальная шкала (табл. 5).

Таблица 5

Шкала оценивания достижения результатов обучения (индикаторов) по уровням

Характеристика уровней достижения результатов обучения (индикаторов)				
№ п/п	Содержание уровня выполнения критерия оценивания результатов обучения (выполненное оценочное задание)	Шкала оценивания		
		Традиционная характеристика уровня		Качественная характеристика уровня
1.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты в полном объеме, замечаний нет	Отлично (80-100 баллов)	Зачтено	Высокий (В)
2.	Результаты обучения (индикаторы) в целом достигнуты, имеются замечания, которые не требуют обязательного устранения	Хорошо (60-79 баллов)		Средний (С)
3.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты не в полной мере, есть замечания	Удовлетворительно (40-59 баллов)		Пороговый (П)
4.	Освоение результатов обучения не соответствует индикаторам, имеются существенные ошибки и замечания, требуется доработка	Неудовлетворительно (менее 40 баллов)	Не зачтено	Недостаточный (Н)
5.	Результат обучения не достигнут, задание не выполнено	Недостаточно свидетельств для оценивания		Нет результата

5. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

5.1. Описание аудиторных контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля

5.1.1. Лекции

Самостоятельное изучение теоретического материала по темам/разделам лекций в соответствии с содержанием дисциплины (п. 1.2. РПД)

5.1.2. Практические/семинарские занятия

Примерный перечень тем

1. Методы абсолютных измерений. Методы относительных измерений
2. Метод абсолютного счёта заряженных частиц и фотонов
3. Методы альфа-гамма– бета-гамма– и гамма-гамма–совпадений
4. Метод ионизационной камеры (УЭА-4)
5. Калориметрический метод измерения высокоактивных источников излучения (УЭА-5)
6. Относительные методы измерения активности радионуклидов в пробе
7. Радиометрический метод определения бета-излучающих радионуклидов в смеси
8. Спектрометрический метод измерения активности нуклидов
9. Спектрометрический метод измерения активности нуклидов
10. Определение выброса в атмосферу ^{131}I

11. Определение эффективности фильтра при измерении альфа- и бета-активных аэрозолей
 12. Определение поправки на распад для короткоживущих изотопов
 13. Измерение параметров полей тепловых нейтронов
 14. Определение спектров и потоков быстрых нейтронов
 15. Определение выхода радиоактивных нейтронных источников
 16. Оценка погрешности при определении активности радионуклидов различными методами
- LMS-платформа – не предусмотрена

5.1.3. Лабораторные занятия

Примерный перечень тем

1. Экспериментальное изучение зависимости отражения бета-излучения от подложки при радиометрических измерениях
2. Экспериментальное коэффициента самопоглощения бета-излучения в материале источника при радиометрических измерениях.
3. Определение активности бета-излучающих радионуклидов методом определенного телесного угла.
4. Определение активности бета-излучающих радионуклидов в смеси относительным методом.
5. Методы статистического анализа при радиометрических измерениях. Проверка статистических гипотез относительно параметров генеральной совокупности.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.2. Описание внеаудиторных контрольно-оценочных мероприятий и средств текущего контроля по дисциплине модуля

Разноуровневое (дифференцированное) обучение.

Базовый

5.2.1. Коллоквиум

Примерный перечень тем

1. Статистическая обработка результатов радиометрических измерений

Примерные задания

Вы производите отбор проб радиоактивных аэрозолей на аналитический фильтр. После отбора пробы она измеряется на радиометрической установке по β -излучению. Для анализа известна следующая информация: Скорость отбора пробы $v=150\pm 10$ л/мин

Длительность отбора пробы 120 ± 5 мин. Количество импульсов фона радиометрической установки, набранные за 20 минут: 915, 1125, 1006, 891, 982.

Количество импульсов, набранное за 100 с от образцового источника: 5256, 5306, 5492, 5317, 5843. Активность источника – 220 Бк, суммарная погрешность определения активности ± 15 Бк ($P=0,99$).

Поправка на проскок аэрозолей и самопоглощение в материале фильтра $0,60\pm 0,01$.

При измерении активности фильтра в течение 10 минут были получены следующие значения набранного количества импульсов: 14652, 13912, 13917, 14123, 14591.

Рассчитать неисключённую систематическую погрешность, случайную погрешность, суммарную погрешность, неопределённости по типу А и В, суммарную неопределённость, бюджет неопределённостей.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.2.2. Домашняя работа №1

Примерный перечень тем

1. Измерение активности препарата методом γ - γ и γ - β совпадений

Примерные задания

Работа выполняется при помощи программного пакета RadLab 1.03

Метод бета-гамма - совпадений применяется для измерения активности нуклидов, бета-излучение которых сопровождается испусканием одного или нескольких гамма-квантов. Хотя возможность применения этого метода ограничивается схемой распада нуклида, он обладает большими преимуществами перед более универсальными методами. Метод не требует определения эффективности регистрации частиц и поправок на самопоглощение в источнике, благодаря чему можно достигать высоких точностей измерения.

Принцип метода состоит в измерении выходящего β и γ -излучения двумя детекторами чувствительными к β и γ -излучению соответственно и в измерении числа совпадений актов регистрации. Скорость регистрации импульсов γ -детектора n_γ , β -детектора n_β и скорость регистрации совпадений $n_{\beta\gamma}$ связаны с активностью A соотношением

$$A = \frac{n_\beta n_\gamma}{n_{\beta\gamma}}$$

(1)

Эта формула справедлива при следующих условиях:

1. Каждый акт распада сопровождается выходом β и γ -излучения;
2. Детекторы чувствительны только к β и γ -излучению соответственно;
3. Разрешающее время совпадений τ_R бесконечно мало.

Указанные условия редко осуществляются на практике, поэтому необходимо вводить поправки, которые учитывают отклонения от идеальных условий.

Поправка на случайные совпадения

Т.к. не все β -частицы и γ -кванты регистрируются, есть вероятность, что импульсы от β -частиц и γ -квантов, испущенных не одновременно, зарегистрируются (случайные совпадения). Скорость счета случайных совпадений пропорциональна разрешающему времени τ_R и скорости счета импульсов β - и γ -каналов не участвующих в совпадениях

Учет случайных совпадений может быть произведен двумя способами - расчетным и экспериментальным. При расчетном способе исходят из формулы, предложенной канадским физиком Кемпионом

$$n_{\beta\gamma} = \frac{n'_c - 2\tau_R n'_\beta n'_\gamma}{1 - \tau_R (n'_\beta + n'_\gamma)}$$

(2)

При экспериментальном способе оценки величины вклада случайных совпадений в один из каналов (например, в бета-канал) вводится линия задержки, со временем задержки, превышающем разрешающее время. Параллельно с регистрацией незадержанных совпадений производится регистрация задержанных совпадений.

Эффективность бета-детектора к гамма-излучению точно замерить затруднительно, однако ее можно оценить, закрывая источник слоем поглотителя толщиной, превышающей длину пробега самых быстрых электронов. Импульсы бета-детектора, вызванные гамма-квантами как правило, не дают вклада в совпадения, т.к. гамма-детектор настраивается так, что он регистрирует только импульсы пика полного поглощения.

I. Особенности метода гамма-гамма - совпадений

Для ряда изотопов, испускающих при своем распаде несколько гамма-квантов, (^{22}Na , ^{24}Na , ^{60}Co) вместо бета- и гамма-каналов регистрации можно использовать два идентичных гамма-канала. При этом, однако, следует иметь в виду, что метод гамма-гамма-совпадений имеет ряд своих особенностей.

Скорости счета в каналах регистрации для радионуклида, испускающего при распаде два гамма-кванта, равны

$$n_1 = A(\varepsilon_{\gamma 1}^1 + \varepsilon_{\gamma 2}^1 - \varepsilon_{\gamma 1}^1 \varepsilon_{\gamma 2}^1) \omega_1$$

$$n_2 = A(\varepsilon_{\gamma 1}^2 + \varepsilon_{\gamma 2}^2 - \varepsilon_{\gamma 1}^2 \varepsilon_{\gamma 2}^2) \omega_2$$

$$n_{\gamma\gamma} = A(\varepsilon_{\gamma 1}^1 \varepsilon_{\gamma 2}^2 + \varepsilon_{\gamma 2}^1 \varepsilon_{\gamma 1}^2) \omega_1 \omega_2$$

где через эpsilon обозначены эффективности регистрации гамма-квантов в первом и во втором каналах регистрации, а omega обозначает геометрический поправочный множитель. В общем виде данная система уравнений решена быть не может, т.к. число неизвестных превышает число имеющихся уравнений. Однако если соблюдаются следующие условия:

- Каналы регистрации строго идентичны;
 - Энергии гамма-квантов равны или имеют близкие значения;
 - Эффективности эpsilon регистрации гамма-квантов малы,
- то активность измеряемого источника можно рассчитать по формуле

$$A = \frac{n_1 n_2}{2 n_{\gamma\gamma}}$$

II. Схема совпадений

Схемой совпадений называют устройство, которое фиксирует стандартным выходным сигналом появление на его входах импульсов с временным сдвигом в заданном диапазоне.

Т.о., если на входах схемы совпадений появляются импульсы, сдвинутые относительно друг друга на некоторый интервал времени в пределах заданного диапазона, то на выходе этого устройства должен появиться стандартный по форме логический импульс, который может быть использован в дальнейшем для логических операций.

Наиболее важным параметром схемы совпадений обычно считают разрешающее время. Разрешающее время - половина диапазона временных сдвигов между входными импульсами в которых эти импульсы регистрируются как совпадающие.

Время перекрытия - минимальное время наложения входных импульсов, необходимое для срабатывания схемы совпадений. Этот параметр определяет как минимальную возможную длительность входных импульсов, так и предельную частоту срабатывания схемы. Время перекрытия влияет на разрешающее время.

Мертвое время схемы совпадений - минимальный интервал времени между двумя последовательными срабатываниями схемы совпадений, измеряемый между соответствующими точками на нарастающей части первого и второго выходных импульсов.

Чувствительность - минимальная амплитуда одинаковых по форме одновременно поступающих импульсов, при которой они регистрируются как совпадающие.

Разрешающая способность - (временное разрешение) половина ширины кривой совпадений на половине ее высоты. Этот параметр характеризует качество и возможности эксперимента на совпадениях. Он определяется параметрами как схемы совпадений, так и других аппаратных компонентов, входящих в эксперимент. Количественно разрешающая способность показывает, в каком промежутке времени в данном эксперименте можно разделить два импульса.

Статистическая характеристика - кривая распределения плотности вероятности истинных совпадений.

Загрузочная характеристика - зависимость величины разрешающего времени от загрузки по входам.

Эффективность - количество зарегистрированных истинных совпадений, отнесенное к общему числу истинных совпадений.

Достоверность - количество зарегистрированных истинных совпадений, отнесенное к общему числу зарегистрированных совпадений.

III. Описание установки

Для изучения методики измерения активности нуклидов методом гамма-гамма-совпадений в данной работе используется регистрация гамма-гамма-совпадений излучения радионуклида ^{22}Na .

Как известно, при радиоактивном распаде радионуклида ^{22}Na испускается аннигиляционное излучение. Поэтому теория метода гамма-гамма-совпадений оказывается применимой к регистрации совпадающих импульсов от двух синхронно испущенных атомом ^{22}Na гамма-квантов.

Блок-схема установки приведена на рис. 1.

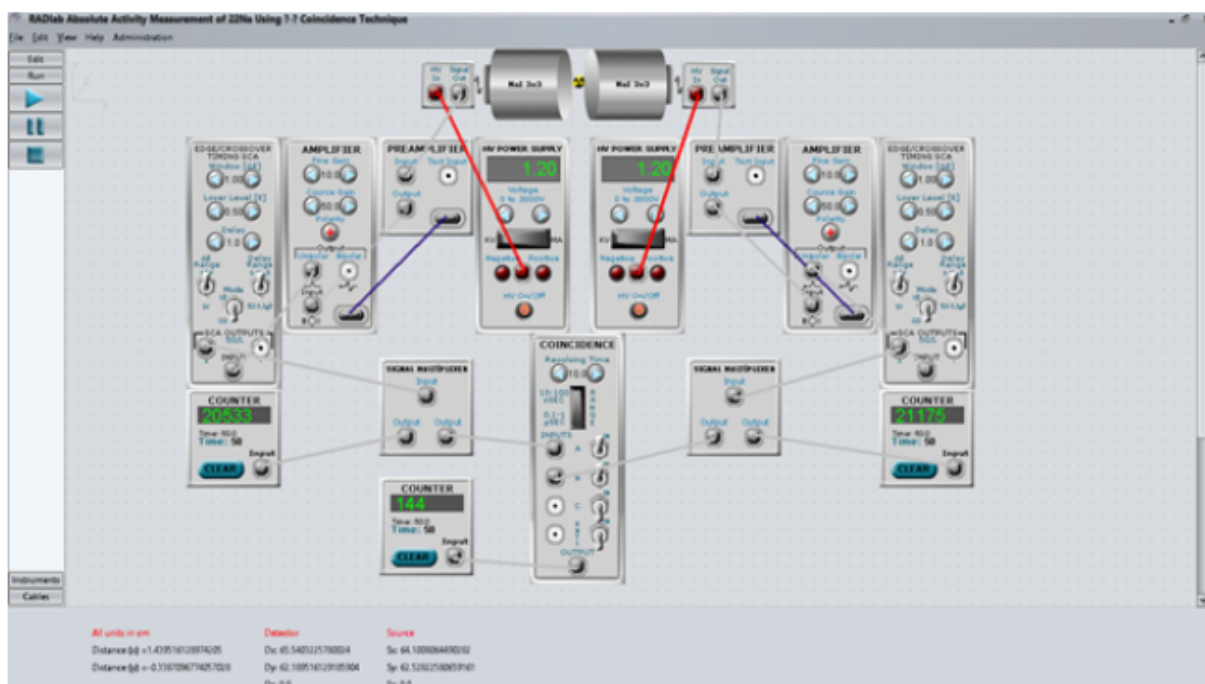


Рис.1. Блок-схема установки для измерения активности нуклидов методом гамма-гамма- совпадений

Рассмотрим ее работу. Радиоактивный источник, содержащий радионуклид ^{22}Na помещается в измерительную камеру. Испускаемые источником γ кванты регистрируются двумя идентичными сцинтилляционными детекторами. С выхода детекторов импульсы тока экспоненциальной формы поступают на вход импульсных усилителей-формирователей. Усилители-формирователи имеют два выхода: временной - т.е. выход, с которого снимаются импульсы тока на устройства временной селекции, и амплитудный - т.е. выход, с которого снимаются импульсы напряжения на устройства амплитудной селекции или пересчетный прибор. После поступления на вход усилителя переднего фронта регистрируемого импульса ($\tau_{\text{фр}}=50$ нс) на выходах усилителей формируются короткие импульсы амплитудной и временной селекции.

С временных выходов обоих усилителей сигналы поступают на схему совпадений. В схеме совпадений предусмотрена возможность задержки импульсов одного канала относительно другого на величину плюс-минус 50 нс.

С амплитудных выходов усилителей-формирователей и с выхода схемы совпадений импульсы поступают на пересчетный прибор.

IV. Порядок выполнения домашней работы

1. Внимательно ознакомиться с порядком выполнения работы.
2. Убедиться, что получаемые импульсы от детекторов правильные. Для наблюдения за формой импульсов с детекторов необходимо подать сигнал, поступающий с выхода усилителя, на вход осциллографа.
3. Если сигналы имеют правильную форму, то добавьте анализатор и определите значения E и ΔE .
4. Добавьте единицу совпадения и установите $\tau = 75$ нс в качестве первоначального предположения.

5. Проверьте выход блока совпадений при изменении значения задержки и определите приблизительное значение задержки, которое необходимо установить для настройки.

6. Подключите выход блока совпадений к счетчику.

7. Построить кривую совпадений для одного из каналов. Для этого:

7.1. Меняя при помощи переключателя время задержки τ_z в диапазоне от 10 нс до 100 нс зарегистрировать скорость счета в канале совпадений.

$$\frac{n_\tau}{n_0}$$

7.2. Построить кривую совпадений в координатах (n_0 ; τ_z), где n_0 - скорость счета при нулевой задержке, n_τ - скорость счета при задержке равной τ_z .

7.3 Определить разрешающее время τ_R и разрешающую способность схемы совпадений.

8. Для отсчета 100 секунд запишите значения скорости счета.

8.1. Рассчитать активность радиоактивного препарата по формуле

$$A = \frac{(n_{\gamma 1} - n_{\phi 1})(n_{\gamma 2} - n_{\phi 2})\varepsilon_{cc}}{2 \left(\frac{n_c' - 2\tau_R n_{\gamma 1} n_{\gamma 2}}{1 - \tau_R(n_{\gamma 1} + n_{\gamma 2})} \right) (1 - n_c' \tau_M)}$$

где A - активность препарата;

$n_{\gamma 1}$ и $n_{\gamma 2}$ - скорость счета в соответствующих каналах регистрации γ -квантов;

$n_{\phi 1}$ и $n_{\phi 2}$ - скорость счета фона в каналах регистрации γ -квантов;

$(1 - n_c' \tau_M)$ - поправка на мертвое время;

$\tau_M = 10^{-4}$ с - мертвое время канала регистрации γ -квантов;

9. Оформить отчет о проделанной работе. Отчет должен содержать:

- Общие теоретические положения метода γ - γ -совпадений;
- Блок-схему установки;
- Результаты всех измерений в виде таблиц и графиков;
- Выводы.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.2.3. Домашняя работа № 2

Примерный перечень тем

1. Измерение спектра бета-излучения и максимальной энергии бета-спектра

Примерные задания

Работа выполняется при помощи программного пакета RadLab 1.03

Бета-распад происходит, когда ядро имеет избыточное количество нейтронов по сравнению с его более стабильной изобарой. Например, ^{204}Tl распадается до ^{204}Pb и испускает бета-частицу, как показано на рис. 1. Теоретически, эта бета-частица может иметь любую энергию вплоть до максимальной (β_{max}), но вероятность того, что это событие будет сопровождать это количество энергии, очень низко.

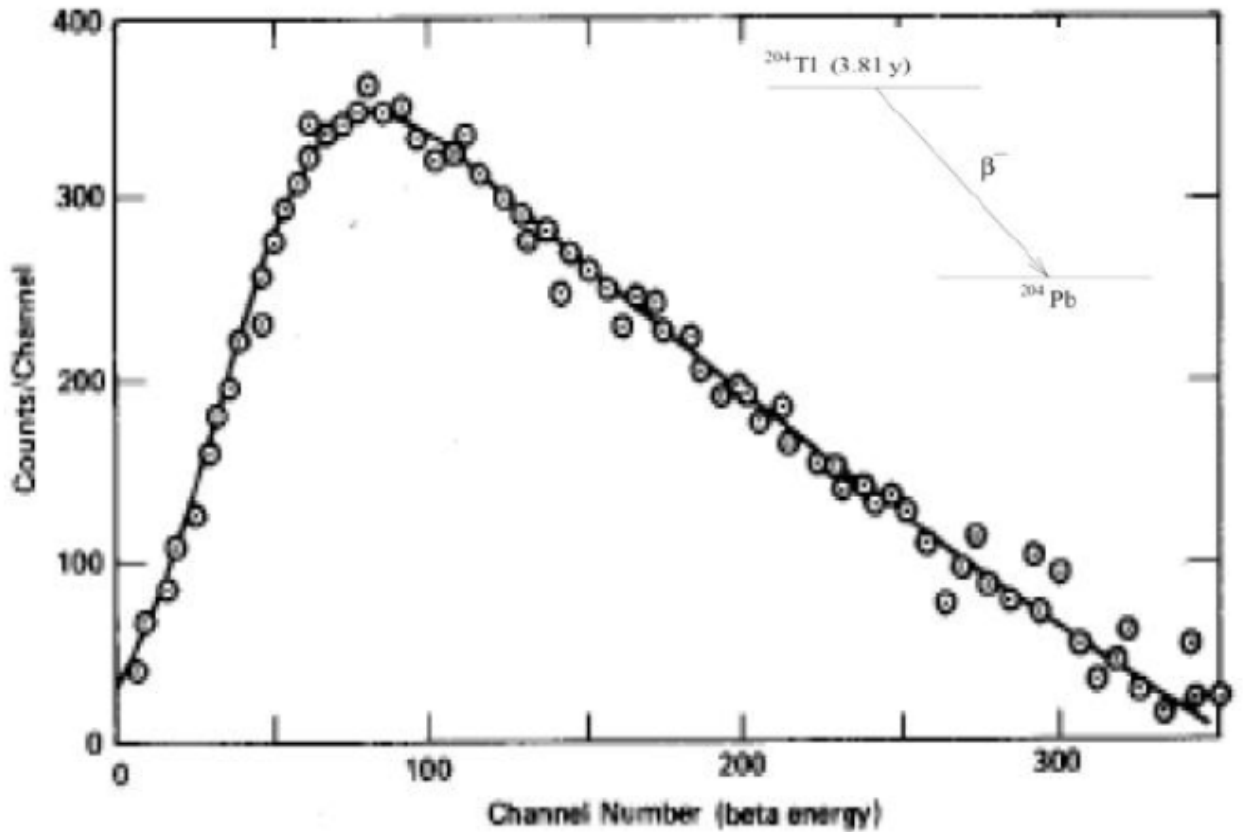


Fig 1. Decay scheme and beta spectrum for ^{204}Tl .

Типичный бета-спектр, показанный на рис. 1, показывает распределение относительных вероятностей для участков энергий бета-излучения, которые сопровождают количество событий, измеренных для ^{204}Tl . Энергия, которая представлена при экстраполированном пересечении базовой линии кривой (вокруг канала 350 на фиг.1), равна β_{max} . Эта конечная энергия для ^{204}Tl составляет 0,766 МэВ. Самый точный метод определения максимальной бета-энергии требует построения графика Кюри. Этот метод является производным от теории бета-распада. Описание бета-кривой дается:

$$\left[\frac{N(W)}{F(Z,W)PW} \right]^{1/2} = K(W_0 - W) \quad (1)$$

где $N(W)$ = отсчеты в каждом рассматриваемом канале, $F(Z, W)$ = функция Ферми, P = импульс бета-частицы, W = полная энергия бета-частицы, W_0 = максимальная энергия бета-спектра, K = постоянная, которая не зависит от энергии.

Если левая часть уравнения 1 построена по отношению к W , разрешенный спектр даст прямую линию, которая может быть экстраполирована на энергетическую ось для получения W_0 . Спектры запрещенных β -переходов будут показывать кривизну пика в области низких энергий.

Несколько более простое вычисление может быть сделано с использованием модифицированной функции Ферми $G(Z, W)$, которая может быть вычислена из точного

значения Ферми. Таблицы этих функций также доступны. При подстановке этой функции в уравнение 1 имеем:

$$\frac{1}{W} \left[\frac{N(E)}{G(Z, W)} \right]^{1/2} = K(W_0 - W) \quad (2)$$

В этих выражениях измеренная кинетическая энергия E определяется как (W-1) в единицах полной энергии. Кинетическая энергия E выражается в единицах (= 0,511 МэВ). Замена W уравнения (2) на E дает

$$\frac{1}{W} \left[\frac{N(E)}{G(Z, W)} \right]^{1/2} = K(E_0 - E) \quad (3)$$

где N (E) = фактическое количество отсчетов при определенной энергии в спектре; например, одной из точек для ^{204}Tl (фиг.1) может быть канал 200, где N (E) = 190, W = E + 1, где E - кинетическая энергия в МэВ, деленная на (0,511 МэВ), G (Z, W) = модифицированная функция Ферми; они перечислены для дочерних продуктов распада как функция импульса, P, бета, где модифицированные функции Ферми G (Z, W) для распада ^{204}Tl до ^{204}Pb перечислены в таблице 1 ниже:

P	G	P	G
0.0	28.26	2.2	19.10
0.1	28.19	2.4	18.54
0.2	27.99	2.6	18.03
0.3	27.67	2.8	17.55
0.4	27.25	3.0	17.12
0.5	26.76	3.5	16.18
0.6	26.23	4.0	15.39
0.7	25.66	4.5	14.71
0.8	25.09	5.0	14.13
0.9	24.53	6.0	13.17
1.0	23.98	7.0	12.40
1.2	22.95	8.0	11.77
1.4	22.01	9.0	11.24
1.6	21.17	13.0	9.718
1.8	20.41	15.0	9.182
2.0	19.72		

Table 1. Modified Fermi Functions for the decay of ^{204}Tl

Бета-спектроскопическая система может быть откалибрована с помощью известных энергий конверсионных электронов, поскольку в процессе внутреннего преобразования ядро может передавать свою энергию возбуждения непосредственно одному из находящихся рядом орбитальных электронов, и электрон затем покидает атом с дискретной энергией. На рис. 2 приведены конверсионные электроны для ^{137}Cs . Рис 2.

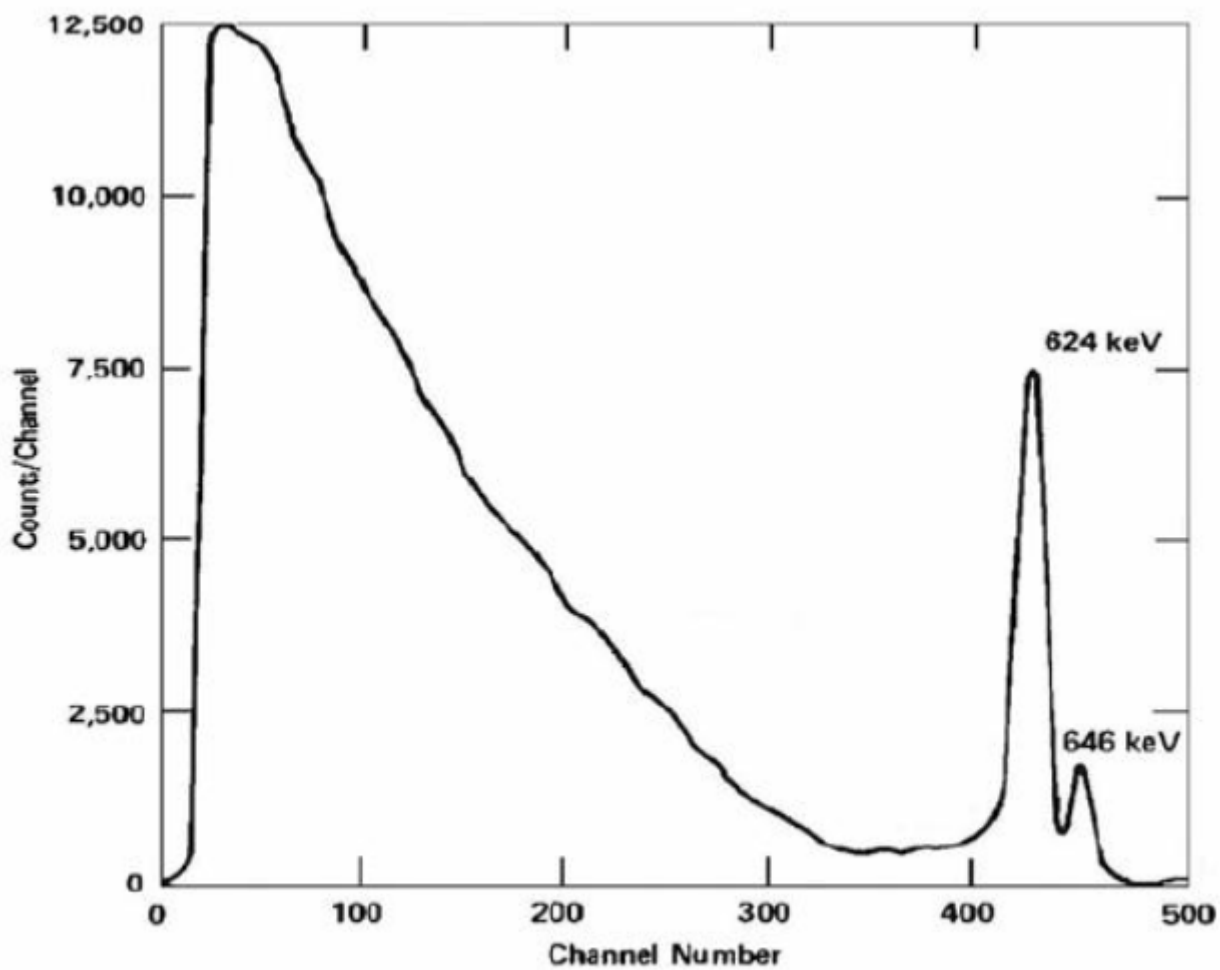
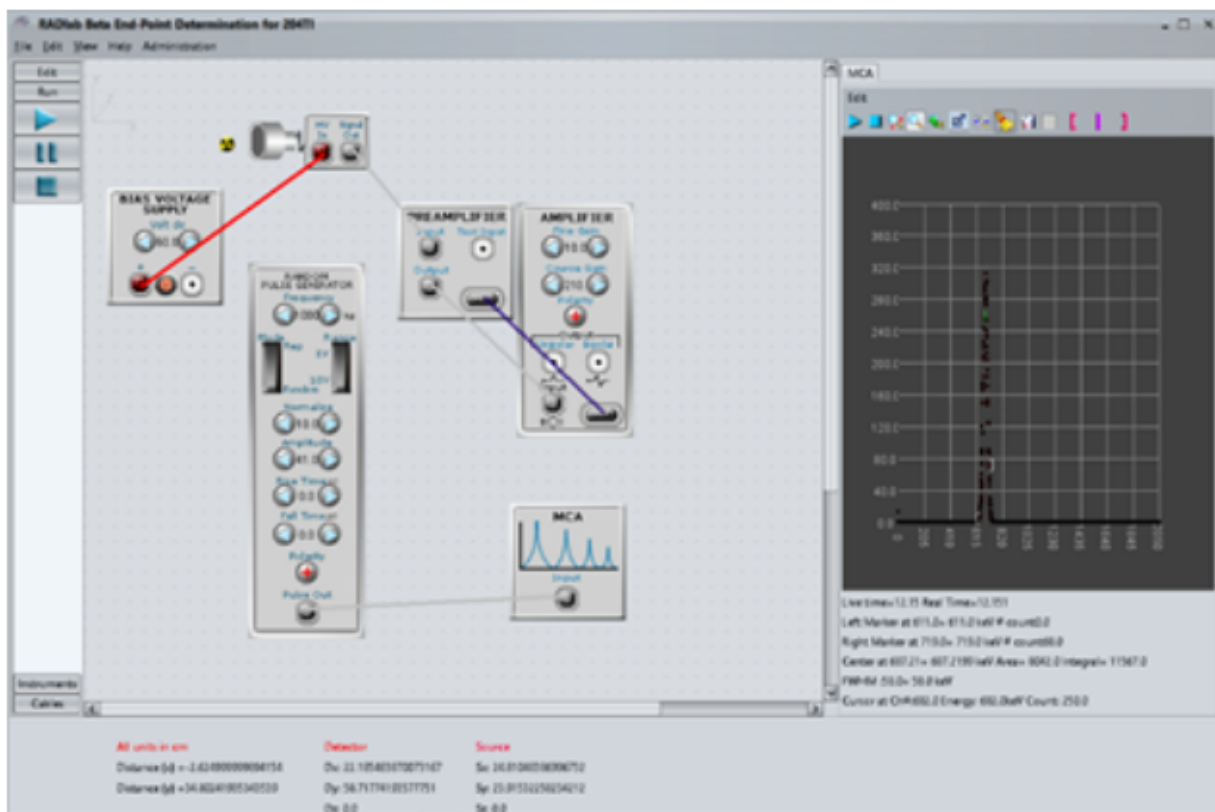


Fig 2. ^{137}Cs beta and conversion electron spectrum.

Ход работы:

1. Настройте эксперимент, как показано ниже:



2. Установите высокое напряжение для детектора на 60 В и оставьте генератор в положении ВЫКЛ.

3. Установите размер входа МСА на 1024 канала.

4. Поместите источник ^{137}Cs в вакуумную камеру.

5. Проведите набор спектра в течение 150 с живого времени.

6. Запишите номер канала для пика 624 кэВ и назовите этот канал C0.

7. Включите генератор импульсов и используйте переключатель высоты импульса, чтобы установить пик импульса в канале C0.

8. На шаге 7 вы нашли значение амплитуды импульса (назовите это значение V1), которое соответствует значению бета-энергии 624 кэВ. Используя это значение, найдите линейную зависимость между высотой импульса и бета-энергией в форме: амплитуда импульса = $a \times E\beta + b$.

9. Используйте это соотношение, чтобы найти значение высоты импульса, соответствующее энергии бета-излучения 800 кэВ, и назовите это значение V2. Теперь у вас есть два значения энергии (V1 и V2) для калибровки МСА.

10. Наберите спектр для V1 (что означает 624 кэВ) в течение 10 с. Не очищая спектр, снова наберите спектр для V2 (что означает 800 кэВ) в течение 10 с. Используйте эти два пика для калибровки МСА.

11. Выключите генератор и поместите ^{204}Tl в вакуумную камеру.

12. Наберите спектр в течение 350 с живого времени.

13. Обратите внимание, что в спектре ^{204}Tl имеется линейная часть, которая соответствует диапазону от 100 до 300 в единицах каналов на рисунке 1. Заполните данные для приведенной ниже таблицы для выбранных 10 точек, которые распределены в этом диапазоне

Channel #	N(E)	W	P	G(Z,W)	$\frac{1}{W} \left[\frac{N(E)}{G(Z,W)} \right]^{1/2}$	Energy (keV)
100						
150						
200						
300						
350						
400						
450						
500						
600						
700						

14. Постройте график зависимости

$$\frac{1}{W} \cdot \left(\frac{N(E)}{G(Z,W)} \right)^{1/2}$$

от энергии. Найдите максимальную энергию бета-излучения.

15. Постройте график зависимости $\sqrt{N(E)}$ от энергии и найдите максимальную энергию бета-излучения.

16. Сравните полученные результаты максимальных энергий бета-излучения с теоретическими данными.

Оформите отчет по проделанной работе.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.2.4. Домашняя работа № 3

Примерный перечень тем

1. Определение плотности потока тепловых нейтронов с помощью BF₃ детектора

Примерные задания

Работа выполняется при помощи программного пакета RadLab 1.03

Цель домашней работы. Целью настоящей домашней работы является определение плотности потока тепловых нейтронов от AmBe источника за защитой из воды с помощью BF₃ детектора; рассчитать интенсивность источника.

В данной работе внимание акцентируется на применении ионизационной камеры, заполненной BF₃ смесью, предназначенной для детектирования тепловых нейтронов.

Ход выполнения домашней работы.

1. Провести сборку схемы, как показано на рисунке 1.

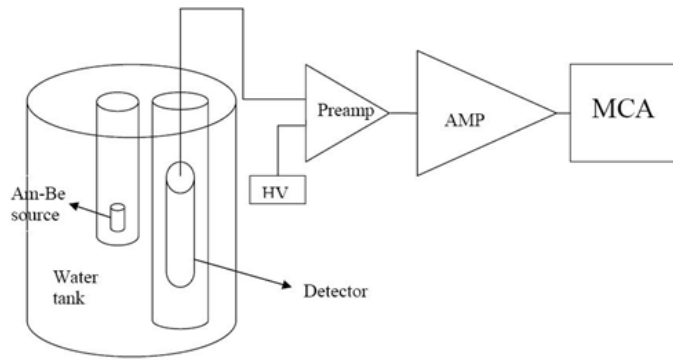
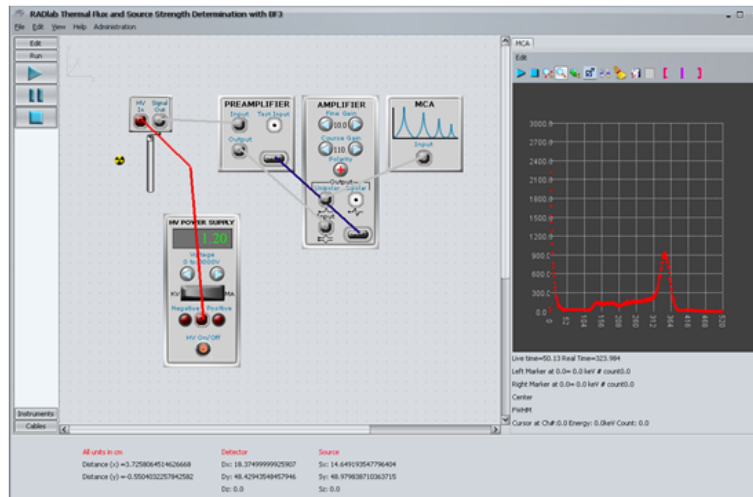


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки



2. Записать скорости счета, полученные в течение не менее 60 с, на различном расстоянии детектора от источника.

3. Изобразите график плотности потока тепловых нейтронов.

4. Рассчитайте интенсивность источника.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.2.5. Домашняя работа № 4

Примерный перечень тем

1. Альфа спектрометрия

Примерные задания

Работа выполняется при помощи программного пакета RadLab 1.03

Цель домашней работы - ознакомить студента с использованием кремниевых детекторов заряженных частиц и изучить некоторые свойства альфа-излучающих изотопов. Эксперименты, предназначенные для достижения этой цели, касаются:

1. определить постоянную распада для ^{230}Th ,

2. определить неизвестный источник по его альфа-энергии.

В этом эксперименте будут исследованы ^{241}Am и ^{230}Th альфа-источники. Данные альфа-распада для этих изотопов являются следующими:

Альфа-излучение ^{241}Am (432,2 года)

E_α , keV I_α , %

5388,2 1,62

5442,8 13,06
5485,5 84,510

Альфа-излучение ^{230}Th ($7,538\text{E}+4$ лет)

E_α , keV I_α , %

4438,4 0,030

4620,5 23,41

4687,0 76,33

Ход работы:

1. Собрать схему, приведенную на рисунке 1.

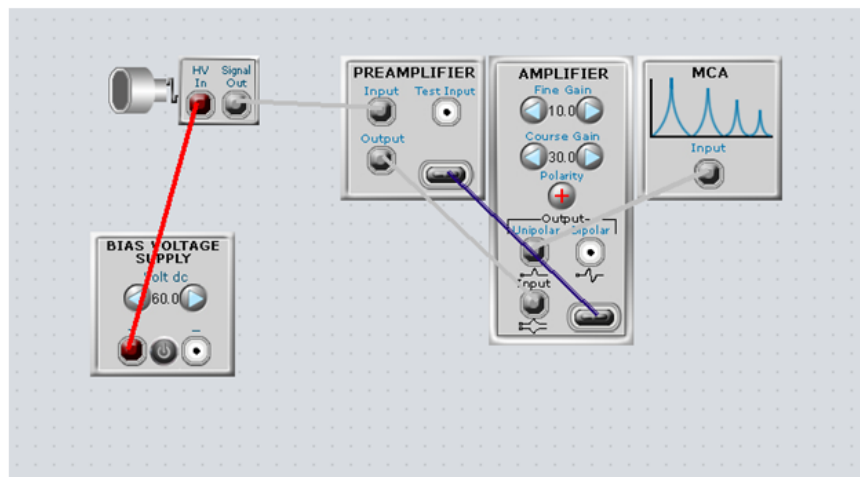


Рисунок 1 – Схема эксперимента.

2. Установите 8192 канала на мультicanaльном анализаторе, установите живое время измерения 20 с.

3. Проведите калибровку установки. Для этого:

3.1 Заполните окружающую среду вакуумом.

3.2 Установите напряжение питания 60 В.

3.3 Установите коэффициент усиления на усилителе 30.

3.4 Поместите источник ^{230}Th перед детектором и проведите измерения в течение 50 с.

3.5 Не отчищая спектр, поместите на против детектора источник ^{241}Am и проведите измерения в течение 50 с.

3.6 Используя 3 пика, полученных на шагах 4-5, проведите калибровку мультicanaльного анализатора.

4. Определите отношение распада ^{230}Th . Для этого:

4.1 Поместите источник ^{230}Th напротив детектора.

4.2 Убедитесь с помощью осциллографа, что форма сигнала правильная.

4.3 Проведите измерения в течение 200 с живого времени.

4.4 Для полученных пиков на спектре определите энергию и заполните таблицу:

4.5 Определите площади под пиками

5. Поместите неизвестный источник напротив детектора. Проведите измерение спектра в течение 50 с. Измерьте энергию пика и определите источник.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.2.6. Домашняя работа № 5

Примерный перечень тем

1. Статистические методы обработки результатов радиометрических измерений

Примерные задания

Работа выполняется при помощи программного пакета RadLab 1.03

При проведении радиометрических измерений в полученные результаты может внести ошибку не только статистическая природа распада, но и некоторая нестабильность аппаратуры. Чтобы проверить правильность работы аппаратуры, можно сравнить выборочную дисперсию, характеризующую суммарное рассеяние экспериментальных данных, и генеральную дисперсию, обязанную своим возникновением статистическому характеру радиоактивного распада

Для сравнения используется критерий Пирсона. В качестве гипотезы выбирается предположение, что ложные импульсы отсутствуют и эффективность регистрации излучения остается неизменной в течение всего времени проведения измерений.

В настоящей работе предлагается обработать результаты измерений нескольких параллельных проб. Порядок выполнения работы:

1. В программном пакете RadLab собрать схему измерения спектра бета-излучателя согласно рисунку 1.

2. Прежде всего следует проверить правильность работы радиометрической аппаратуры. Для этого следует измерить скорость счета от эталонного источника 10 раз по 100 с не меняя его положения относительно детектора. Полученные результаты обработать, используя критерий Пирсона χ^2 . Полученную величину сравнить с табличным значением для числа степеней свободы $f=9$ и уровня значимости $p=0.05$. Ход дальнейших измерений зависит от того, больше или меньше полученный критерий Пирсона табличного значения

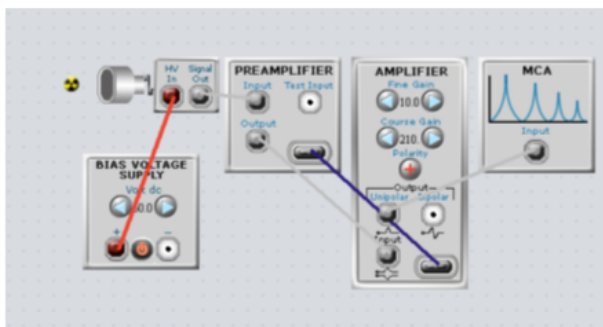


Рисунок 1 - Схема измерения спектра бета-излучающего нуклида

3. Если экспериментальное значение критерия Пирсона меньше табличного это означает, что радиометрическая аппаратура работает нормально и разброс результатов обусловлен только статистической природой радиоактивного распада, т.е. подчиняется распределению Пуассона. В этом случае следует определить оптимальное время измерения препарата t_c и фона t_f при заданной относительной погрешности \square .

Величину t_c достаточно определить только для одного препарата, т.к. предполагается, что это параллельные пробы и их активность различается незначительно.

Предлагается вместо разных препаратов в данном случае использовать разное положение источника по отношению к детектору. Необходимо незначительно менять положение источника по оси y , при этом не изменяя расстояние от источника до детектора по оси x .

В течение времени t_c измерить для обеих серий каждый из препаратов, получив соответствующее число импульсов за время t_c - $(Nc)_i$. Рассчитать для каждого препарата суммарную скорость счета препарата и фона

Рассчитать среднюю суммарную скорость счета для всех препаратов

Найти среднюю дисперсию для средней суммарной скорости счета

В течение времени t_f измерить число импульсов фона N_f и рассчитать скорость счета фона и дисперсию

4. Если экспериментальное значение критерия Пирсона больше табличного это свидетельствует о нестабильности работы радиометрической аппаратуры, т.е. получаемые результаты измерений кроме статистической природы радиоактивного распада отягощены дополнительными случайными погрешностями. В этом случае для увеличения точности результата измерение каждого препарата и фона следует повторить k раз ($k=5$) по 100 с (увеличение числа повторных измерений сильнее скажется на точности, чем увеличение продолжительности каждого измерения).

5. Независимо от результатов теста на стабильность работы радиометрической аппаратуры необходимо сопоставить результаты измерений двух серий измерений. Для этого необходимо рассчитать средние скорости счета препарата в каждой серии и выборочные дисперсии отдельного измерения для каждой серии препаратов. Далее необходимо рассчитать среднее взвешенное дисперсий двух измерений. Число степеней свободы здесь $f=n_1+n_2-2$.

Затем рассчитывают величину $t_{\text{эксп}}$

Если найденное значение $t_{\text{эксп}}$ по абсолютной величине превышает табличное для 1% уровня значимости, то гипотеза о равенстве генеральных средних отбрасывается. Это означает, что разность между средними значениями скорости счета настолько велика, что не может быть объяснена случайными колебаниями этих величин. Гипотеза ставится под сомнение, если найденное превышает табличное значение для 5% уровня значимости.

Сопоставьте дисперсии двух серий измерений по критерию Фишера. Для этого найдите дисперсионное отношение и сопоставьте полученное значение с табличными значениями критерия Фишера F . Поскольку мы заранее не знаем какая из двух генеральных дисперсий больше, то мы должны применять двусторонний критерий, т.е. используемое для принятия гипотезы значение уровня значимости будет равно удвоенному значению табличного значения уровня значимости. Если в таблицах даны значения F_p для уровня значимости $p=0.05$ для одностороннего критерия, то доверительная вероятность наших оценок составит $\alpha = 1-2p = 0.90$.

При обработке результатов рекомендуется использовать стандартный пакет Microsoft Excel.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.2.7. Отчет по лабораторным работам

Примерный перечень тем

1. Экспериментальное изучение зависимости отражения бета-излучения от подложки при радиометрических измерениях
2. Экспериментальное коэффициента самопоглощения бета-излучения в материале источника при радиометрических измерениях.
3. Определение активности бета-излучающих радионуклидов методом определенного телесного угла.
4. Определение активности бета-излучающих радионуклидов в смеси относительным методом.
5. Методы статистического анализа при радиометрических измерениях. Проверка статистических гипотез относительно параметров генеральной совокупности.

Примерные задания

1. Получение зависимости коэффициента отражения от толщины подложки, порядкового атомного номера подложки и энергии радионуклидного источника бета-излучения.

2. Определение активности бета-излучающего источника методом определенного телесного угла по результатам измерения ряда поправок к скорости счета препарата: на отраженное излучение, на самопоглощение бета-излучения в материале источника, на геометрию измерения, на мертвое время детектора, на эффективность регистрации детектора и на поглощение бета-излучения на пути от источника до детектора.

3. Определение процентного содержания радионуклидов в смеси относительным методом, Расчет поправочных коэффициентов и определение исходной активности данных радиоизотопов в смеси.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.3. Описание контрольно-оценочных мероприятий промежуточного контроля по дисциплине модуля

5.3.1. Экзамен

Список примерных вопросов

1. Общие понятия метрологии
2. Методические и метрологические аспекты измерения радиоактивности
3. Методы абсолютного измерения активности нуклидов
4. Относительные методы измерения активности нуклидов
5. Измерение объемной активности радиоактивных газов
6. Измерение объемной активности радиоактивных аэрозолей
7. Активационно-радиометрический метод измерения параметров нейтронных полей реакторных установок
8. Статистическая обработка результатов радиометрических измерений

LMS-платформа – не предусмотрена

5.4 Содержание контрольно-оценочных мероприятий по направлениям воспитательной деятельности

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.