

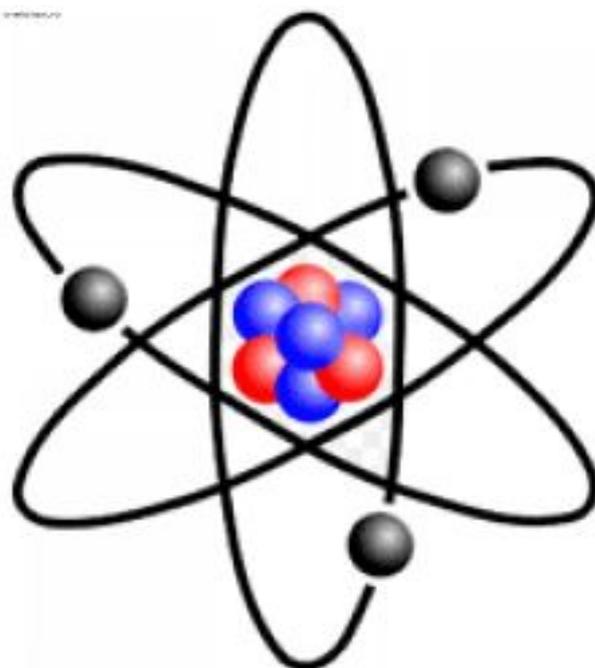
**ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Л. Н. ТОЛСТОГО**

Кафедра общей и теоретической физики

Лаборатория квантовой физики

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРТВОГО ВРЕМЕНИ И
ЭФФЕКТИВНОСТИ СЧЕТЧИКА
РАДИОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ**



ТУЛА 2012 г

Лабораторная работа №9

Определение мёртвого времени и эффективности счетчика радиоактивных частиц.

Техника безопасности:

1. Перед началом работы внимательно изучите методические указания к выполнению лабораторной работы.
2. Для соблюдения санитарных норм безопасности работу в лаборатории №94 выполняют при наличии специальной одежды (рабочие халаты).
3. Соблюдайте правила безопасности с электрооборудованием.
4. **ВНИМАНИЕ!!!** Радиоактивные материалы категорически запрещается выносить за пределы лаборатории.

Цель работы: ознакомиться с устройством радиометра, научиться определять мертвое время и эффективность счетчика.

Приборы и материалы: радиометр Б-4, газовый счетчик, радиоактивные препараты, секундомер.

Теоретическое введение

Типы излучения.

Альфа-излучение представляет собой поток альфа-частиц, распространяющихся с начальной скоростью около 20 тыс. км/с. Их ионизирующая способность огромна, а так как на каждый акт ионизации тратится определенная энергия, то их проникающая способность незначительна: длина пробега в воздухе составляет 3—11 см, а в жидких и твердых средах — сотые доли миллиметра. Лист плотной бумаги полностью задерживает их. Надежной защитой от альфа-частиц является также одежда человека. Поскольку альфа-излучение имеет наибольшую ионизирующую, но наименьшую проникающую способность, внешнее облучение альфа-частицами практически безвредно, но попадание их внутрь организма весьма опасно.

Бета-излучение — поток бета-частиц, которые в зависимости от энергии излучения могут распространяться со скоростью, близкой к скорости света (300 тыс. км/с). Заряд бета-частиц меньше, а скорость больше, чем у альфа-частиц, поэтому они имеют меньшую ионизирующую, но большую проникающую способность. Длина пробега бета-частиц с высокой энергией составляет в воздухе до 20 м, воде и живых тканях — до 3 см, металле — до 1 см. На практике бета-частицы почти полностью поглощают оконные или автомобильные стекла и металлические экраны толщиной в несколько миллиметров. Одежда поглощает до 50 % бета-частиц. При внешнем

облучении организма на глубину около 1 мм проникает 20—25 % бета-частиц. Поэтому внешнее бета-облучение представляет серьезную опасность лишь при попадании радиоактивных веществ непосредственно на кожу (особенно на глаза) или же внутрь организма..

Нейтронное излучение представляет собой поток нейтронов, скорость распространения которых достигает 20 тыс. км/с. Так как нейтроны не имеют электрического заряда, они легко проникают в ядра атомов и захватываются ими. При ядерном взрыве большая часть нейтронов выделяется за короткий промежуток времени. Они легко проникают в живую ткань и захватываются ядрами ее атомов. Поэтому нейтронное излучение оказывает сильное поражающее действие при внешнем облучении. Лучшими; защитными материалами от них являются; легкие водородсодержащие материалы: полиэтилен, парафин, вода и др.

Гамма-излучение — это электромагнитное излучение, испускаемое ядрами атомов при радиоактивных превращениях. Оно, как правило, сопровождает бета-распад, реже альфа-распад. По своей природе гамма-излучение представляет собой электромагнитную волну с очень маленькой длиной волны, но с огромной частотой. Оно испускается отдельными порциями (квантами) и распространяется со скоростью света. Ионизирующая способность его значительно меньше, чем у бета-частиц и тем более у альфа-частиц. Зато гамма-излучение имеет наибольшую проникающую способность и в воздухе может распространяться на сотни метров. Для ослабления его энергии в два раза необходим слой вещества (слой половинного ослабления) толщиной: воды — 23 см, стали — около 3, бетона — 10, дерева — 30 см.

Из-за наибольшей проникающей способности гамма-излучение является важнейшим фактором поражающего действия радиоактивных излучений при внешнем облучении.

Хорошей защитой от гамма-излучений являются тяжелые металлы, например свинец, который для этих целей используется наиболее часто.

Радиоактивное излучение можно определять с помощью различных приборов – детекторов. В настоящее время наиболее распространены три типа детекторов радиоактивного излучения: газо-ионизационные датчики, сцинтилляционные счетчики и полупроводниковые датчики.

Газо-ионизационные датчики

Большинство газо-ионизационных датчиков состоит из заполненной инертным газом, таким как аргон Ar, камеры с таким приложенным напряжением, что центральный провод становится анодом, а стенка камеры – катодом. Когда радиоактивные частицы входят в трубку, они ионизируют инертный газ, производя большое число Ar⁺/e (ионных пар). Движение электронов к аноду, а Ar⁺ к катоду производит измеряемый электрический ток. В зависимости от напряжения, приложенного к камере, датчики можно

разделить на ионизационные камеры, пропорциональные счетчики и счетчики Гейгера-Мюллера (ГМ).

Одним из первых в истории приборов для регистрации следов (треков) заряженных частиц является камера Вильсона. Она была изобретена шотландским физиком Чарльзом Вильянсом в 1910 году. Принцип действия камеры использует явление конденсации перенасыщенного пара: при появлении в среде перенасыщенного пара каких-либо центров конденсации (в частности, ионов, сопровождающих след быстрой заряженной частицы) на них образуются мелкие капли жидкости, которые фотографируются. Конструктивно камера Вильсона представляет собой ёмкость со стеклянной крышкой и поршнем в нижней части, заполненная насыщенными парами воды, спирта или эфира. Когда поршень опускается, то за счет адиабатического расширения пары охлаждаются и становятся перенасыщенными. Заряженная частица, проходя сквозь камеру, оставляет на своем пути цепочку ионов. Пар конденсируется на ионах, делая видимым след частицы. Источник исследуемых частиц может располагаться либо внутри камеры, либо вне ее (в этом случае частицы залетают через прозрачное для них окно). Для исследования количественных характеристик частиц (например, массы и скорости) камеру помещают в магнитное поле, искривляющее треки. Камера Вильсона сыграла огромную роль в изучении строения вещества. На протяжении нескольких десятилетий она оставалась практически единственным инструментом для визуального исследования ядерных излучений и исследования космических лучей.

Другим газоразрядным прибором для автоматического подсчёта числа попавших в него ионизирующих частиц является счётчик Гейгера-Мюллера, изобретённый в 1908 году Гейгером и усовершенствован Мюллером. Счётчик Гейгера-Мюллера представляет собой газонаполненный конденсатор, который пробивается при пролёте ионизирующей частицы через объём газа. Счётчики Гейгера разделяются на несамогасящиеся и самогасящиеся (не требующие внешней схемы прекращения разряда). Чувствительность счётчика определяется составом газа, его объёмом, а также материалом и толщиной его стенок.

Работа счетчика Гейгера основана на ударной ионизации. γ -кванты, испускаемые радиоактивным изотопом, попадая на стенки счетчика, выбивают из него электроны. Электроны, двигаясь в газе и сталкиваясь с атомами газа, выбивают из атомов электроны и создают положительные ионы и свободные электроны. Электрическое поле между катодом и анодом ускоряет электроны до энергий, при которых начинается ударная ионизация. Возникает лавина ионов, и ток через счетчик резко возрастает. При этом на сопротивлении R образуется импульс напряжения, который подается в регистрирующее устройство. Чтобы счётчик смог регистрировать следующую попавшую в него частицу, лавинный разряд нужно погасить. Это происходит автоматически. В момент появления импульса тока на сопротивлении R

возникает большое падение напряжения, поэтому напряжение между анодом и катодом резко уменьшается — настолько, что разряд прекращается, и счетчик снова готов к работе.

Из-за универсальности и надежности счетчик Гейгера-Мюллера особенно чувствителен к гамма-частицам средней и высокой энергии. Однако счётчик Гейгера-Мюллера не особенно чувствителен к низкоэнергетическим гамма частицам, и не регистрирует другие радиоактивные частицы.

Сцинтилляционные счетчики

Действие сцинтилляционных счетчиков основано на том, что заряженная частица, пролетающая через вещество, вызывает не только ионизацию, но и возбуждение атомов. Возвращаясь в нормальное состояние, атомы испускают видимый свет. Вещества, в которых заряженные частицы возбуждают заметную световую вспышку (сцинтилляцию), называют сцинтилляторами.

Сцинтилляторы — вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения (гамма-квантов, электронов, альфа-частиц и т. д.). Как правило, излучаемое количество фотонов для данного типа излучения приближённо пропорционально поглощённой энергии, что позволяет получать энергетические спектры излучения. Сцинтилляционные детекторы ядерных излучений — основное применение сцинтилляторов. Сцинтилляционный счетчик состоит из фосфора, от которого свет подается по специальному светопроводу к фотоумножителю. Импульсы, получающиеся на выходе фотоумножителя, подсчитываются.

Пропорциональный счётчик — газовый детектор ионизирующего излучения, в основе принципа работы которого лежит процесс лавинного усиления заряда в электрическом поле. Режим пропорционального усиления в таком счётчике позволяет, в отличие от счётчика Гейгера, помимо самого факта прохождения частицы, измерить величину ионизации, оставленной заряженной частицей. Пропорциональные газовые счетчики применяются для обнаружения и подсчета альфа и бета частиц

Ионизационная камера — газонаполненный датчик, предназначенный для измерения уровня ионизирующего излучения. Измерение уровня излучения происходит путём измерения уровня ионизации газа в рабочем объёме камеры, который находится между двумя электродами. Между электродами создаётся разность потенциалов. При наличии ионов в газе между электродами возникает ионный ток, который может быть измерен. Ток при прочих равных условиях пропорционален скорости возникновения ионов и, соответственно, мощности дозы облучения.

Полупроводниковые датчики

Полупроводниковый датчик представляет собой полупроводниковый диод, на который подается напряжение такого знака, что основные носители

тока оттягиваются от переходного слоя. В нормальном состоянии диод закрыт. При прохождении через переходный слой быстрая заряженная частица порождает электроны, которые направляются к электродам. В результате возникает электрический импульс, пропорциональный количеству порожденных частицей носителей тока. Однако, полупроводниковый датчик не может детектировать 100% распадов, происходящих в данном радиоактивном образце.

Устройство радиометра

Радиометр Б-4 предназначен для счета и регистрации импульсов от низковольтных газовых счетчиков. Некоторые технические данные:

- > максимальная скорость счета импульсов не ниже 1500 имп/с;
- > в приборе предусмотрено стабилизационное напряжение (390 ± 20)В для питания низковольтных газовых счетчиков;
- > система счета - десятичная с прямым отсчетом показаний;
- > электрические параметры установки гарантируются после трехминутного прогрева;
- > установка рассчитана на восьмичасовую непрерывную работу;

На рисунке 1(а,б) приведены соответственно функциональная схема установки и расположение клавиатуры ручного управления. Блок газовых счетчиков БГС-4, принципиальная электрическая схема которого изображена на рис. 2, состоит из счетной трубки (газового счетчика) и простой усилительной схемы, на транзисторе. Входное устройство служит для формирования импульсов поступающих на вход пересчетного прибора ПП-16. Пересчет импульсов в пересчетном блоке осуществляется с помощью декатронов - газоразрядных счетных ламп. Такая лампа с числовыми индикаторами на каждые 10 поступивших на неё импульсов дает 1 импульс на вход; Этот импульс передается на вход следующего декатрона, считающего уже десятки. В пересчетном блоке использовано 6 декатронов. Блок питания выдает стабилизированное напряжение:

- > +300 В, 20 мА;
- > -150 В, 20 мА;
- > ± 8 В.

В схеме выпрямителя предусмотрено стабилизированное напряжение ($+390 \pm 20$)В.

На лицевой панели прибора расположен индикаторная часть декатронов с подсветом, кнопочный переключатель знака входного сигнала, входной высокочастотный разъём. На задней панели расположены разъём для включения блока БГС-4, разъём с напряжением +390 В, клеммы «Выход» при работе двух пересчетных приборов, сетевой шланг, предохранитель 0,25 А.

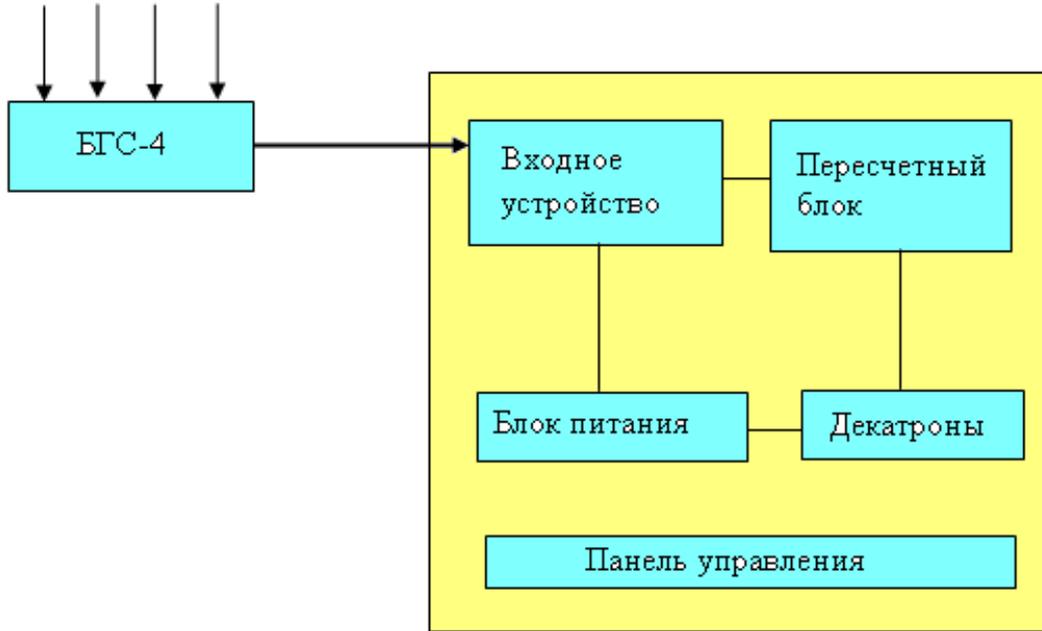


Рис.1 а. Принципиальная схема устройства экспериментальной установки.

Выкл.	Сброс	Пуск	Стоп	50 Гц	1:1	1:5
-------	-------	------	------	-------	-----	-----

Рис.1 б. Вид панели управления.

Определение мертвого времени счетчика

Мертвое время τ счетчика - это время образования и гашения импульса в счетной трубке, в течение этого времени трубка не регистрирует вновь попадающие частицы. Это время называют также разрешающим временем. Мертвое время счетчика ограничивает наибольшее число импульсов, которое трубка может зарегистрировать в секунду при равномерном попадании частиц в трубку, от него зависит разрешающая способность счетчика, или максимальная скорость счета. Отношение числа N зарегистрированных частиц к общему числу N_0 частиц, пролетевших через счетчик за то же время, называется эффективностью счетчика: $\eta = N / N_0$

Если за 1с счетчик зарегистрировал N частиц из N_0 частиц, пролетевших через него за это время, то в течении времени $N \cdot \tau$ счетчик был выключен, так как находился в периоде мертвого времени. Число незарегистрированных частиц составило $n=N_0-N$. С другой стороны, n можно определить как часть частиц (из общего числа N_0), пролетевших через счетчик за время $N \cdot \tau$, т.е. $n = N_0 / (N \cdot \tau)$. Таким образом, $N_0 - N = N_0 N \tau$, откуда

$$\tau = \frac{N - N_0}{N \cdot N_0} \quad (1)$$

Экспериментально N_0 определить нельзя, поэтому воспользуемся приемом, дающим возможность исключить N_0 . С этой целью нужно взять два радиоактивных препарата: N'_0 - число частиц, пролетевших через счетчик от первого препарата (из них N' - было зарегистрировано); N''_0 - число частиц, пролетевших через счетчик от второго препарата (зарегистрировано N''). Общее количество частиц, пролетевших через счетчик от двух препаратов,

$$N_0 = N'_0 + N''_0 \quad (2)$$

Из уравнения (1)

$$N_0 = \frac{N}{1 - \tau \cdot N} \quad (3)$$

Если у счетчика оставить только один препарат, то

$$N'_0 = \frac{N'}{1 - \tau \cdot N'} \quad (4)$$

Если оставить только второй, то

$$N''_0 = \frac{N''}{1 - \tau \cdot N''} \quad (5)$$

Поставим значения N_0, N'_0, N''_0 из уравнений (3,4,5) в уравнение (2). Найдем

$$\frac{N}{1 - \tau \cdot N} = \frac{N'}{1 - \tau \cdot N'} + \frac{N''}{1 - \tau \cdot N''}$$

Отсюда получаем рабочую формулу:

$$\tau = \frac{N' + N'' - N}{2 \cdot N' \cdot N''} \quad (6)$$

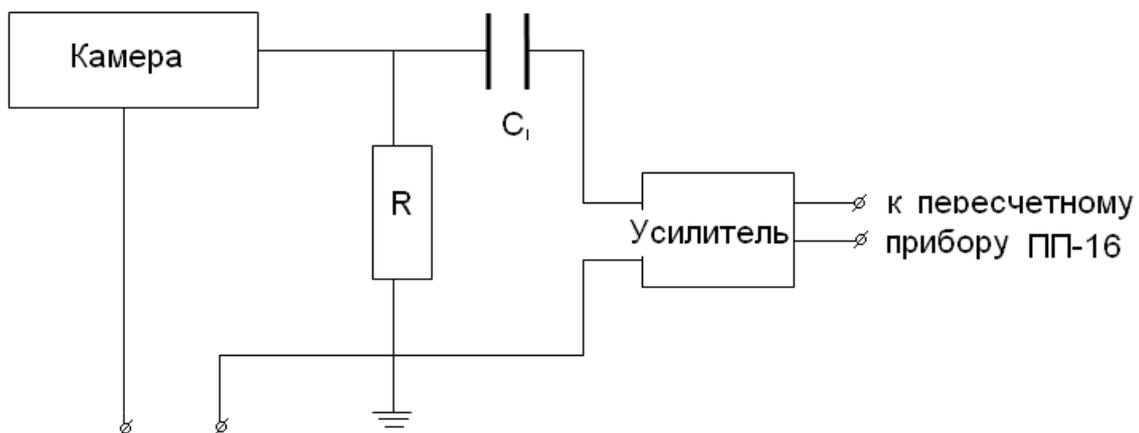


Рис.3. Функциональная схема счетчика.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с радиометром Б-4.

1) Ознакомиться с функциональной схемой счетчика (рис.3) и назначением всех блоков.

2) Ознакомиться с блоком ручного управления и другими средствами управления информацией, находящимися на лицевой и задней панелях пересчетного прибора.

3) Подготовьте прибор к работе. Для этого:

а) вставьте газовый счётчик в держатель БГС, соблюдая полярность

б) включите кабель питания в сеть переменного напряжения 220 В

в) переключатель знака полярности сигнала на приборе 1111-16 поставьте в положение " _ "

г) нажмите и зафиксируйте кнопку «Вход 1:1»

д) нажмите любую из кнопок: «Стоп», «Пуск» или «50 Гц» кнопочного переключения, при этом установка включается в сеть.

е) нажмите кнопку «Сброс» - показания всех деكاتронов должны установиться на «0»

ж) нажмите кнопку «50 Гц» и проверьте правильность работы счётной схемы, при этом на вход прибора ПП-16 автоматически подаётся переменное напряжение с частотой 50 Гц.

з) убедитесь в правильности работы всех деكاتронов, после этого нажмите кнопку «Стоп», при этом счёт должен прекратиться.

и) нажмите кнопку «Сброс» - показания деكاتронов должны сброситься на нуль, прибор снова готов к работе.

к) в рабочую тетрадь зарисуйте функциональную схему прибора и панель управления.

2. Определите радиоактивный фон

1) Включите радиометр (нажмите кнопку «Пуск») и одновременно включите секундомер.

2) За время, указанное преподавателем, снимите показания деكاتронов.

3) Опыт проделайте трижды. Прибор оставьте подготовленным для выполнения следующего задания.

3. Определите мертвое время газоразрядного счётчика

1) Расположите под счётчика оба радиоактивных препарата рядом. Включите установку и секундомер на время, указанное преподавателем. Запишите число зарегистрированных импульсов N . Опыт повторите три раза.

2) Закройте второй препарат. Определите число импульсов N' , зарегистрированных счётчиком от первого препарата за время указанное преподавателем. Измерения повторите 3 раза.

3) Закройте первый препарат и определите число импульсов, зарегистрированных счетчиком от второго препарата N'' , за время указанное преподавателем.

4) Данные занесите в таблицу.

№ п/п	N	N'	N''
1.			
2.			
3.			

Обработка результатов измерений.

- 1) Рассчитайте средние значения $\langle N \rangle$, $\langle N' \rangle$, $\langle N'' \rangle$.
- 2) По формуле (6) определите мертвое время счётчика.
- 3) По формуле (3), (4), (5) определите N_0 , N_0' , N_0''
- 4) Определите эффективность счётчика по формуле $\eta = N/N_0$.
- 5) Рассчитайте относительную погрешность по формуле

$$\delta = \frac{N_0 - N}{N}$$

Контрольные вопросы.

- 1) Охарактеризуйте основные типы излучений.
- 2) Объясните устройство и принцип работы счётчиков радиоактивных частиц
- 3) Как работает пересчётная схема?
- 4) Чем обусловлено «мёртвое время» счётчика?
- 5) Что показывает эффективность счетчика?