

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 **ДЕТЕКТОРЫ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ.** **СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР.**

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

1. Цели и задачи работы.

Ознакомиться с физическими основами действия сцинтилляционного детектора, его характеристиками и возможностями как детектора ионизирующих излучений, экспериментально измерить основные параметры конкретного сцинтилляционного детектора, используемого в данной лабораторной работе.

Сцинтилляционные детекторы широко используются в ядерной физике для измерения спектров, т.е. фактически энергий излучений, возникающих при распаде радиоактивных нуклидов и в ядерных реакциях, для исследования космического излучения и для решения многих других задач. Сцинтилляционная техника применяется в сложных опытах по изучению нейтрино. Широкое применение сцинтилляционные детекторы нашли и в других областях науки: геологии (поиски полезных ископаемых, определение возраста пород, активационный анализ), изучении свойств твердого тела, биологии, медицине. Сцинтилляционный метод нашел широкое применение и в технике: γ -дефектоскопия, различного вида бесконтактные толщинометры и плотнометры, сигнальные устройства и т.д.

Перед выполнением работы рекомендуется еще раз прочитать «Введение в физпрактикум по ядерной физике», уделив дополнительное внимание пунктам: 1, 2, 3.1.1, 3.2, 3.4, 4.2, 4.3, 5.1, 5.3, 5.4, 5.5.

2. Вступление.

Регистрация ядерных излучений сцинтилляционными детекторами основана на **радиолюминесценции**. Явление радиолюминесценции заключается в появлении световых вспышек при возбуждении некоторых веществ частицами и квантами ионизирующих излучений. Световая вспышка радиолюминесценции называется **сцинтилляцией**, а детекторы ионизирующих излучений, основанные на регистрации сцинтилляцией, называются сцинтилляционными детекторами. Вещества – люминофоры, испускающие свет под действием ионизирующих излучений, называют **сцинтилляторами**.

Сцинтилляционный метод регистрации ионизирующих излучений – один из наиболее старых методов детектирования, который использовался еще Резерфордом при регистрации α -частиц визуально, по вспышкам света в кристалликах сернистого цинка. Широкое применение этот метод нашел после изобретения **фотоэлектронного умножителя (ФЭУ)**, позволяющего регистрировать весьма малые по длительности и очень слабые по интенсивности вспышки света. Таким образом, современный сцинтилляционный детектор состоит из сцинтиллятора и ФЭУ, в котором энергия световых вспышек сцинтиллятора через посредство фотоэффекта преобразуется в импульсы электрического тока. Эти импульсы обрабатываются измерительной аппаратурой для получения информации о регистрируемом излучении.

В зависимости от вида вещества сцинтиллятора и способа получения информации о регистрируемом излучении, сцинтилляционные детекторы (счетчики, датчики) бывают следующих видов: газовые сцинтилляционные детекторы, жидкостные сцинтилляционные детекторы, сцинтилляционные детекторы с твердыми сцинтилляторами, а также люминесцентные камеры. В данной работе будут рассмотрены наиболее распространенные **сцинтилляционные датчики с твердыми сцинтилляторами**.

3. Сцинтилляторы.

С точки зрения регистрации ядерных излучений, сцинтилляторы должны удовлетворять ряду требований:

1). Вещество сцинтиллятора должно обладать высоким физическим выходом или **конверсионной эффективностью**, т.е. иметь высокое отношение энергии световой вспышки к энергии, потерянной регистрируемой частицей (квантом) в сцинтилляторе. Конверсионная

эффективность обычно применяемых сцинтилляторов меньше единицы за счет тепловых процессов и практически не зависит от природы и энергии регистрируемых частиц (см. ниже механизм сцинтилляционного процесса) [1].

2). Сцинтиллятор должен обладать высоким **световым выходом**, т.е. высоким отношением световой энергии, вышедшей из блока сцинтиллятора (на фотоумножитель), к энергии световой вспышки. Световой выход зависит как от прозрачности сцинтилляционного кристалла к собственному излучению, так и от конструктивных особенностей блока сцинтиллятора. Обычно световой выход достаточно близок к единице.

3). Спектр частот, излучаемых сцинтиллятором, должен соответствовать области спектральной чувствительности фотокатода ФЭУ (см. ниже) для увеличения вероятности фотоэлектронной эмиссии.

4). Длительность световой вспышки должна быть сравнительно мала для обеспечения высокой разрешающей способности детектора по времени (см. п. 5.3 «Введения в физпрактикум»).

5). Химический состав и размеры сцинтилляционного кристалла должны обеспечить большую вероятность взаимодействия частиц (квантов) регистрируемого излучения с веществом детектора (см. п. 5.1 «Введения в физпрактикум»), максимальное, а для спектрометрических измерений – полное поглощение их энергии (см. п. 5.4 «Введения в физпрактикум»).

Наибольшее распространение в экспериментальной практике получили сцинтилляционные детекторы с твердыми сцинтилляторами, в качестве которых нашли применение: органические сцинтилляторы на основе сложных углеводородных соединений – кристаллы стильбена, антрацена, нафталина, различные пластмассы, а также неорганические сцинтилляторы на основе щелочно-галогенидных соединений с некоторыми добавками (в основном, примесь таллия). Это кристаллы NaJ(Tl), CsJ(Tl) и др.

Ввиду несколько различного механизма высвечивания, длительность вспышки для органических сцинтилляторов ($\tau \approx 10^{-8} \div 10^{-9}$ с) значительно меньше, чем для неорганических ($\tau \approx 10^{-6} \div 10^{-8}$ с), что определяет использование первых в более быстродействующих детекторах. Органические сцинтилляторы применяются, в основном, для регистрации α -, β - и нейтронного излучений. Для регистрации γ -квантов обычно применяют неорганические сцинтилляторы, имеющие большую плотность и эффективный атомный номер [2], т.е. значительное содержание электронов в веществе, что обеспечивает большую вероятность взаимодействия γ -квантов с веществом сцинтиллятора в одном из трех процессов: **фотоэффект, комптон-эффект, рождение пар** (см. п. 3.2 «Введения в физпрактикум»). Наиболее широкое применение для регистрации и спектрометрии γ -излучения получил кристалл NaJ(Tl).

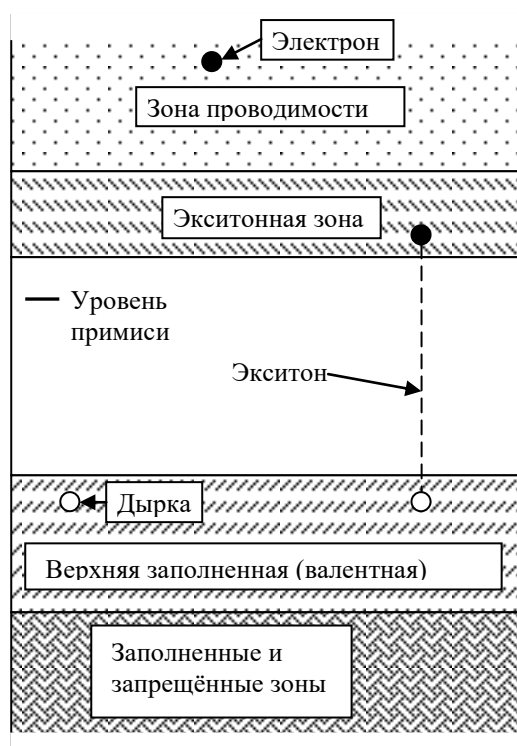
Конструкция сцинтиллятора (монокристалл NaJ(Tl) в упаковке или специальном корпусе) должна обеспечивать максимальный световой выход. Для этого сцинтилляционный кристалл окружают отражателем, например, порошком окиси магния, имеющей очень высокий коэффициент отражения света. Одна из сторон кристалла закрыта стеклом, через которое фотоны сцинтилляции выходят на ФЭУ, прозрачным в области длин волн, характерных для этих фотонов. Некоторые кристаллы, в частности NaJ(Tl), в силу своей гигроскопичности должны быть герметически упакованы, причем материал и толщина упаковки выбираются такими, чтобы легко пропускать регистрируемое излучение («малозлектронные» материалы начала таблицы Менделеева – тонкостенный алюминий, бериллий и т.п.). Оптический контакт между блоком сцинтиллятора и ФЭУ осуществляется с помощью прозрачной жидкости (вазелиновое масло, глицерин и т.п.) [3].

4. Механизм сцинтилляционного процесса.

Механизм сцинтилляционного процесса весьма сложен и до конца не выяснен. Рассмотрим его упрощенно для неорганических сцинтилляторов.

Согласно представлениям зонной теории, в диэлектрических кристаллах, благодаря достаточно сильному взаимодействию атомов между собой, происходит расщепление энергетических уровней внешних (обобществленных взаимодействием) электронов, и вместо отдельных «разрешенных» энергетических уровней атомов, в кристалле для электронов имеются соответствующие по энергии «разрешенные» зоны, разделенные «запрещенными» областями. На диаграмме (см. ниже) представлено расположение энергетических зон электронов кристалла. В

кристалле диэлектрика при обычных температурах все нижние разрешенные энергетические зоны вплоть до верхней валентной полностью заняты (на каждом возможном энергетическом уровне есть электрон), а зона проводимости свободна. При прохождении по кристаллу сцинтиллятора регистрируемых заряженных частиц либо быстрых электронов, возникающих при взаимодействии γ -квантов с веществом сцинтиллятора, их кинетическая энергия при взаимодействии с атомными электронами расходуется на переброс этих электронов кристалла из валентной зоны в зону проводимости. Этот процесс может рассматриваться как ионизация, причем число актов ионизации в среднем пропорционально энергии, потерянной частицей (квантом) в кристалле, т.е. энергии самой частицы (кванта), что и обуславливает **спектрометрические свойства сцинтилляционного детектора** (см. п. 4.3 «Введения в физпрактикум»). Электрон проводимости и соответствующая вакансия валентной зоны (дырка – положительный заряд) могут независимо перемещаться по кристаллу. Если энергия, переданная электрону, недостаточна для перехода в зону проводимости, то он остается электростатически связанным с дыркой. Такое связанное возбужденное состояние электрон-дырка способное перемещаться по кристаллу называется **экситоном**. Таким образом, энергия ионизирующего излучения переходит в энергию электронно-дырочного и экситонного возбуждений, которые могут релаксировать различными путями. В чистом (беспримесном) кристалле энергия возбуждений переходит в энергию световых квантов при рекомбинации электронов с дырками и аннигиляции экситонов. Однако световой выход в таком кристалле невелик, так как большинство этих квантов резонансно поглощается внутри кристалла [4], вызывая снова образование электронно-дырочных пар и экситонов, пока поглощенная сцинтиллятором энергия излучения не перейдет в тепловую. Другая ситуация реализуется в кристаллах, в которые вводится небольшое количество, порядка $0,01 \div 0,1\%$ мол.,



примеси активатора. Типичным активатором для йодистого натрия является таллий. Наличие в кристалле примесных атомов приводит к образованию в запрещенной зоне дополнительных энергетических электронных уровней – уровней примеси. В этом случае релаксация указанных выше возбуждений может осуществляться через примесные уровни. Электроны, заброшенные в зону проводимости, переходят на свободные уровни активатора, а с уровней активатора – в валентную зону с испусканием фотонов. Аналогично на примесях релаксируют и экситонные возбуждения. Вероятность резонансного поглощения фотонов, испускаемых в переходах с участием примесных уровней, очень мала ввиду низкой концентрации примеси. Таким образом, возникает сдвиг между спектром испускания и спектром поглощения кристалла, что существенно увеличивает световой выход сцинтиллятора. Характерные времена релаксации через примесные уровни определяют длительность сцинтилляционной вспышки. Наличие в кристалле загрязнений, дефектов решетки, флуктуаций плотности приводит к возможности релаксации

возбуждений с участием тепловых колебаний решетки (фононов). В результате этого энергия вспышки сцинтилляции оказывается меньше энергии, потерянной ионизирующей частицей (квантом) в сцинтилляторе (конверсионная эффективность сцинтиллятора меньше единицы), но остается пропорциональной этой энергии. **Таким образом, в результате регистрации частицы или кванта ионизирующего излучения, попавшего на кристалл сцинтиллятора, из кристалла вылетает кратковременная вспышка света определенной области длин волн, т.е. некоторое определенное количество фотонов, пропорциональное энергии зарегистрированной частицы (кванта) излучения.**

5. Фотоэлектронный умножитель, устройство и принцип действия.

Регистрация сцинтилляционных вспышек в современных детекторах осуществляется с помощью фотоэлектронных умножителей. ФЭУ представляет собой электровакуумный прибор, соединяющий в себе свойства фотоэлемента и усилителя тока [5].

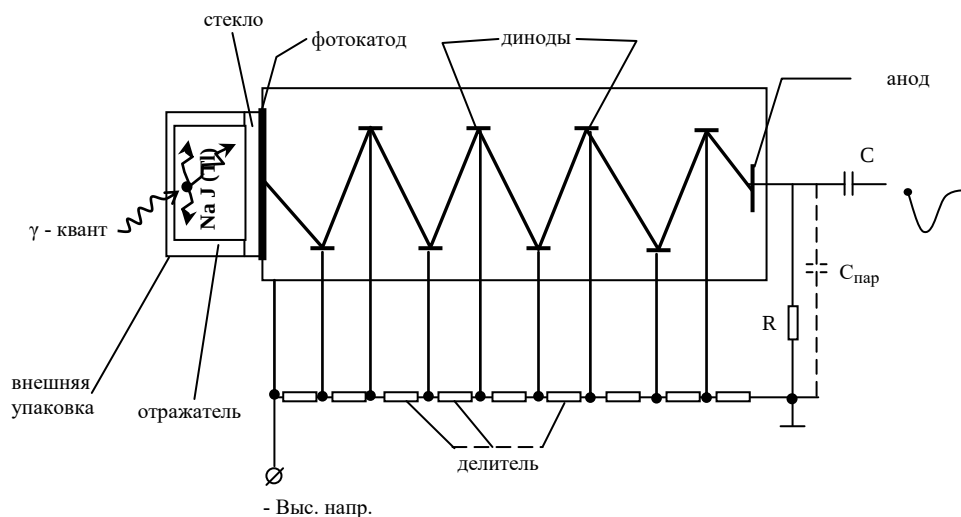
Основные конструктивные особенности ФЭУ представлены следующими элементами.

Фотокатод – тонкий проводящий слой специального состава (на основе щелочных металлов [6]), наносимый на внутреннюю поверхность плоского торца стеклянного баллона ФЭУ цилиндрической формы. Именно к внешней стороне этого торца ФЭУ крепится сторона со стеклом блока сцинтиллятора. Фотокатод с малой работой выхода фотоэлектронов имеет высокую чувствительность к внешнему фотоэффекту, причем область спектральной чувствительности фотокатода соответствует спектральному составу излучения сцинтиллятора. Коэффициент термоэмиссии фотокатода при рабочих температурах (комнатные) должен быть минимальным, в противном случае термоэлектроны создадут значительные шумы на выходе ФЭУ.

Система **динодов** – система последовательно расположенных в пространстве электродов, изготовленных из металлов с большим коэффициентом вторичной электронной эмиссии. Число динодов (обычно 10-12 шт.) определяет коэффициент умножения (усиления) ФЭУ.

Анод – отдельный электрод, расположенный после динодов, на который собирается усиленный («умноженный») поток электронов.

Фотокатод, диноды и анод ФЭУ собраны в вакуумированной цилиндрической стеклянной колбе, с плоским торцом со стороны фотокатода для удобства создания светового контакта с блоком сцинтиллятора. Расположение в колбе динодов и анода ФЭУ предусматривает максимально возможное собирание потока электронов. Колба ФЭУ имеет выводы от каждого электрода фотоумножителя, размещенные на другом торце баллона (на рис. эти выводы для простоты рисунка показаны сбоку). От высоковольтного источника питания с помощью специального делителя из резисторов на электроды ФЭУ подается напряжение, причем *положительный потенциал относительно фотокатода последовательно растет от фотокатода к следующему очередному диноду вплоть до анода.*



Отметим, что на приведенной схеме «+» источника высокого напряжения заземлен, т.е. анод ФЭУ находится под нулевым потенциалом относительно Земли (корпуса детектора, блоков питания и т.п.). В такой схеме включения ФЭУ, конденсатор С, через который импульс с анода ФЭУ поступает на последующие блоки измерительной аппаратуры, не требует особо высокого рабочего напряжения. В зависимости от конструктивных особенностей сцинтилляционного детектора возможна и схема с противоположным включением полярности высоковольтного питания делителя ФЭУ.

Принцип действия фотоэлектронного умножителя состоит в следующем. Фотоны сцинтилляции, попадая на фотокатод ФЭУ, за счет фотоэффекта вырывают из его

светочувствительного слоя некоторое количество электронов, пропорциональное в среднем числу фотонов вспышки. Под действием приложенного электрического поля электроны, ускоряясь, направляются последовательно на диоды ФЭУ, которые, в результате бомбардировки, за счет вторичной электронной эмиссии испускают электроны в количестве, значительно превышающем число пришедших на диоды, однако, пропорциональном ему.

Таким образом, на аноде ФЭУ собирается достаточно большое количество электронов, для наиболее распространенных фотоумножителей примерно в $M \approx 10^6$ раз большее числа первичных, и пропорциональное, в среднем, числу первичных фотоэлектронов, т.е. числу фотонов или энергии сцинтилляционной вспышки, т.е. энергии регистрируемой частицы. Эти электроны создают *на аноде ФЭУ импульс тока с амплитудой, пропорциональной энергии частицы, зарегистрированной детектором*, который в дальнейшем исследуется комплексом измерительной аппаратуры.

6. Особенности сцинтилляционного детектора.

Сцинтилляционные детекторы позволяют решать обе основные задачи экспериментальной ядерной физики: *задачу счета излучений* и *задачу спектрометрии излучений*. В плане решения этих задач существенное значение имеют различные особенности сцинтилляционных детекторов, рассматриваемые ниже.

Весьма важным свойством любого детектора является *эффективность регистрации* (см. п. 5.1 «Введения в физпрактикум»). Так как процессы взаимодействия ядерных излучений с веществом носят вероятностный характер, то эффективность детектора, определяемая вероятностью для частицы, попавшей в объем детектора, быть зарегистрированной, оказывается, вообще то говоря, меньше единицы. Таким образом, интенсивность регистрации (*скорость счета*) в принципе меньше интенсивности облучения детектора. Роста эффективности можно достичь соответствующим подбором вещества детектора с высоким содержанием многоэлектронных атомов и увеличением его размеров [7]. Одновременно это приводит и к росту вероятности полной потери энергии регистрируемой частицы в объеме детектора, что определяет возможность и качество спектрометрических измерений. С этой точки зрения сцинтилляционные детекторы с твердыми сцинтилляторами обладают существенным преимуществом, например, в сравнении со счетчиками Гейгера-Мюллера, особенно при регистрации γ -излучения. Для кристаллов NaJ(Tl), имеющих большую плотность и содержащих многоэлектронные атомы йода, велико сечение фото- и комптон-эффекта, так что эффективность регистрации γ -квантов такими сцинтилляторами достигает нескольких десятков процентов (для особо крупных кристаллов сцинтилляторов с полостью внутри, в которую можно поместить γ -источники или другие радиоактивные образцы, эффективность регистрации приближается к 100%) [8].

Временное разрешение детектора (см. п. 5.3 «Введения в физпрактикум») определяет его быстродействие, т.е. способность регистрировать акты взаимодействия частицы с ним, разделенные малым промежутком времени. Время разрешения приблизительно равно времени от момента попадания частицы в детектор до примерно момента окончания электрического импульса на его выходе (после этого детектор готов к восприятию следующей частицы или кванта, в противном случае, два отдельных сигнала сольются в один более продолжительный по времени, т.е. возникнет просчет этой следующей частицы). Для сцинтилляционного датчика на основе NaJ(Tl) это время складывается из времени высвечивания сцинтиллятора ($\approx 3 \cdot 10^{-7}$ с), времени пролета электронов в фотоумножителе ($\approx 10^{-8} \div 10^{-9}$ с) и длительности выходного импульса, определяемой величиной $R \cdot C_{\text{пар.}}$ (см. схему ФЭУ). R – сопротивление нагрузки ФЭУ, а $C_{\text{пар.}}$ – паразитная выходная емкость ФЭУ относительно корпуса, обычно равная 10 – 20 пФ. Очевидно, что имеет смысл величину $R \cdot C_{\text{пар.}}$ выбрать порядка времени высвечивания (т.е. R величиной в десятки килоом [9]). Меньшие R приведут к излишнему падению амплитуды сигнала (дифференцирующая цепочка) и уменьшению его длительности, но без существенного улучшения временного разрешения. Таким образом, длительность сигнала детектора определяет, примерно, его время разрешения. Время разрешения сцинтилляционного детектора оценивается величиной порядка 10^{-6} с и его быстродействие значительно превышает быстродействие счетчика Гейгера-

Мюллера (сравните длительности выходного сигнала этих детекторов при выполнении соответствующих лаб. работ).

Важнейшей особенностью сцинтилляционного детектора в сравнении, например, со счетчиком Гейгера-Мюллера является его способность решать не только задачу счета, но и задачу спектрометрии излучений. Как отмечалось выше, амплитуда импульса V на аноде ФЭУ пропорциональна энергии регистрируемой частицы E с коэффициентом пропорциональности K , т.е. $V = K \cdot E$. **Величина коэффициента пропорциональности K определяется свойствами самого детектора и питающими его напряжениями** (с ростом высокого напряжения на ФЭУ растет вторичная электронная эмиссия и, соответственно, амплитуда выходного сигнала). Величина K при оптимальном рабочем напряжении питания ФЭУ может быть легко установлена сопоставлением амплитуды сигнала от излучения известной энергии. **При известной величине K данного сцинтилляционного детектора при его рабочем напряжении и измеряемой (например, по осциллографу) величине амплитуды сигнала детектора легко установить энергию частиц (квантов) регистрируемого излучения.** Оценочная величина K для обычных сцинтилляционных детекторов, в т.ч. и для детектора данной лабораторной работы, порядка 10^{-5} В/эВ.

Указанная пропорциональность или спектрометрические свойства детектора ограничены и для сцинтилляционного датчика и, вообще, для любого спектрометрического детектора, так называемым **энергетическим разрешением**, вследствие того, что процессы преобразования энергии частицы в выходной сигнал имеют вероятностный характер. Основной вклад в статистический характер коэффициента преобразования сцинтилляционного детектора K вносят флуктуации в образовании фотонов сцинтилляции и флуктуации числа фотоэлектронов, эмитируемых фотокатодом ФЭУ. Кроме того, большой вклад в разброс дают чисто практические причины типа неоднородностей состава и структуры сцинтиллятора и фотокатода, краевого эффекта сцинтиллятора, в результате которого регистрируемые частицы или вторичные электроны выходят за пределы сцинтиллятора, потеряв в нем только часть энергии, изменения коэффициента усиления ФЭУ при колебаниях питающего напряжения и т.д. Таким образом, **даже при регистрации моноэнергетического излучения, амплитуды импульсов на выходе детектора дают определенное (примерно гауссовское) распределение вокруг среднего значения, соответствующего энергии частиц излучения** (см. рис. п. 5.4 «Введения в физпрактикум»). Указанное распределение характеризует энергетическое разрешение детектора, определяющее возможность различия частиц близкой энергии.

К числу недостатков спектрометрических свойств сцинтилляционных детекторов следует отнести относительно низкую, по сравнению, например, с полупроводниковыми детекторами разрешающую способность по энергии ($\approx 10\%$ при средних энергиях γ -квантов; для полупроводниковых детекторов порядка 1 – 2 %), а также сложность обработки спектров, полученных на сцинтилляционном спектрометре. Даже в простейшем случае, когда нуклид излучает γ -кванты одной энергии, спектр имеет довольно сложный вид (см. лаб. раб. №8 по гамма-спектрометрии). Однако для решения многих прикладных задач указанные недостатки не являются существенными.

Необходимо отметить, что сцинтилляционные детекторы вследствие большого усиления фототока фотоумножителем дают выходные сигналы не очень малой амплитуды (примерно от десятых долей вольта до единиц вольт), что упрощает их обработку измерительной аппаратурой, но все-таки требуют определенного усиления.

Большое значение, особенно при регистрации излучений малой энергии, имеют **шумы ФЭУ**, возникающие за счет внутренних эффектов в детекторе, главным образом, за счет **термоэлектронной эмиссии фотокатода**. Для фотокатодов обычно применяемых фотоумножителей, даже при комнатной температуре, термоэмиссия приводит к испусканию до 10^6 электронов в секунду (зависит от свойств материала и площади фотокатода) или примерно 1 электрон в мксек соответственно (характерная длительность сигнала ФЭУ). С учетом упомянутого выше коэффициента умножения ФЭУ $M \approx 10^6$ и величины заряда электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, можно оценить амплитуду «однотермоэлектронного» импульса, создаваемого на аноде ФЭУ одним термоэлектроном, вылетевшем из фотокатода, как амплитуду напряжения, до которого

электроны, пришедшие на анод, зарядят паразитную емкость ФЭУ (без учета разрядки через сравнительно большое сопротивление анодной нагрузки R): $A_{\text{шум.1}} = M \cdot e / C_{\text{пар.}} \approx 10^{-2} \text{ В}$ [10]. Импульсы примерно такой же амплитуды возникают при регистрации излучения с энергией 1 кэВ [11]. Поскольку время разрешения ФЭУ порядка 10^{-6} с , то при указанной интенсивности термоэмиссии возможно наложение импульсов от 2-х, 3-х и более термоэлектронов, эмитируемых из фотокатода практически одновременно. Амплитуды импульсов, возникших в результате наложения, будут соответственно больше, что приведет к распределению шумовых импульсов по амплитуде. Примерной верхней границе этого распределения в кэВ соответствует **энергетический эквивалент шумов ФЭУ** – $E_{\text{шум.}\gamma}$ -кванты с энергией порядка $E_{\text{шум.}}$ и меньше таким детектором не имеет смысла регистрировать, так как импульс от такого γ -кванта неотличим от импульса шума (отношение сигнал/шум в электронике).

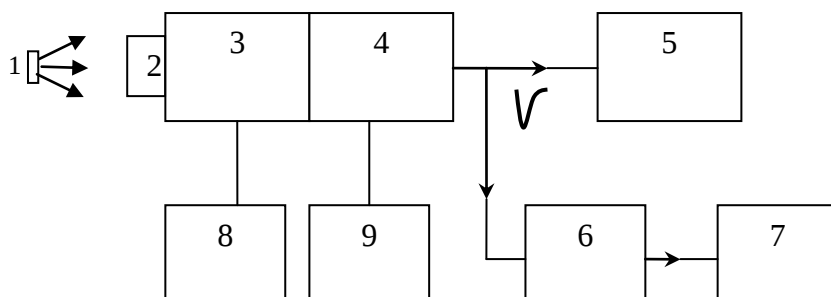
7. Счетная характеристика сцинтилляционного детектора и выбор оптимального рабочего напряжения питания ФЭУ.

Важной характеристикой сцинтилляционного детектора является его **счетная характеристика** – **зависимость скорости счета частиц (квантов) от величины напряжения на детекторе при неизменной интенсивности облучения**, примерный вид которой представлен на рисунке п. 5.5 «Введения в физпрактикум». Соответствующие обозначения на рисунке: I – скорость счета регистрируемых частиц (квантов) или число отсчетов импульсов в единицу времени; U – напряжение на детекторе. Счетная характеристика сцинтилляционного детектора по виду несколько похожа на счетную характеристику счетчика Гейгера-Мюллера, но по своей сути имеет существенные отличия. Главная особенность сцинтилляционного детектора по сравнению со счетчиком Гейгера-Мюллера в этом смысле в том, что амплитуда импульса сцинтилляционного детектора существенно зависит не только от его напряжения питания, а и от энергии частиц (квантов) регистрируемого излучения, переданной сцинтилляционному кристаллу. Так как порог срабатывания по амплитуде для входного импульса пересчетного прибора, производящего подсчет количества импульсов детектора, имеет определенное значение, то по мере возрастания напряжения, питающего ФЭУ, первыми начнут сосчитываться импульсы от частиц (квантов) наибольшей энергии, попадающих на детектор, импульсы которых имеют максимальную амплитуду при данном напряжении питания ФЭУ. Такие частицы (кванты), как правило, в относительно небольшом количестве присутствуют в излучении естественного фона в том числе в космическом излучении. В дальнейшем, по мере роста питающего ФЭУ напряжения, в счет вступают импульсы от частиц (квантов) излучения радиоактивного источника максимальной энергии (заметный рост счетной характеристики), а затем дополнительно регистрируются импульсы от частиц (квантов) источника все меньших энергий, а также импульсы комптоновского распределения поглощенных сцинтиллятором гамма-квантов, обеспечивая этим иногда значительный наклон «плато» счетной характеристики, и далее вплоть до предельных по интенсивности регистрации шумовых сигналов ФЭУ (возрастающая ветвь характеристики при больших напряжениях) [12]. В этом смысле понятие «плато» счетной характеристики для сцинтилляционного детектора в отличие от счетчика Гейгера-Мюллера относительно. **Таким образом, рабочее напряжение сцинтилляционного детектора должно быть несколько больше необходимого для регистрации интересующего экспериментатора излучения минимальной энергии, но меньше напряжения, обеспечивающего счет шумовых сигналов.** Напряжение питания ФЭУ не должно также превышать значения, допустимые для элементов схемы ФЭУ сцинтилляционного детектора.

Глава 2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Целью лабораторной работы является изучение сцинтилляционного датчика. Для этого используется установка, блок-схема которой приведена на рисунке.

1 – источник γ -излучения;



2, 3, 4 – блок сцинтилляционного датчика в целом (самодельный блок или блок промышленного изготовления); 2 – кристалл сцинтиллятора; 3 – блок ФЭУ с делителем напряжения; 4 – предварительный усилитель сигнала ФЭУ – катодный повторитель на электронных радиолампах (или эмиттерный повторитель на транзисторах), т.е. усилитель мощности сигнала;

5 – осциллограф **С1-76** (может быть использован любой импульсный осциллограф с соответствующими характеристиками);

6 – усилитель сигнала детектора по напряжению – блок **ТИП-СО** (коэффициент усиления порядка 10^2 , для усиления сигнала ФЭУ возможно размещение в блоке 4 отдельного транзисторного усилителя или усилителя на интегральной схеме);

7 – пересчетный прибор типа **ПС02-4** (может быть использован любой другой счетчик импульсов);

8 – высоковольтный стабилизированный источник питания делителя ФЭУ типа **БЛБНВЗ-09** (может быть использован любой высоковольтный с достаточно хорошей стабилизацией источник питания с регулируемым напряжением до 2-х кВ);

9 – источник питания **УИП-1** предусилителя и усилителя (блоки 4 и 6). В качестве источника питания этих блоков может использоваться любой стабилизированный источник постоянного напряжения для питания ламповых или полупроводниковых схем этих блоков соответствующей мощности (мощность и возможности прибора УИП-1 избыточны для данной установки).

Действие установки заключается в следующем. Гамма-квант источника, попадая на кристалл сцинтиллятора, вызывает появление на аноде ФЭУ импульса напряжения (выходной сигнал детектора). Этот импульс, очевидно, отрицательной полярности (соответственно понижению потенциала анода ФЭУ, пришедшими на него электронами), усиливается по мощности предварительным усилителем (коэффициент усиления по напряжению катодного повторителя порядка единицы) и может наблюдаться на осциллографе, либо после некоторого усиления – сосчитываться пересчетным прибором. Усиление по мощности необходимо, так как нагрузкой для сигнала может быть и сравнительно длинный кабель – значительная емкостная нагрузка. Высоковольтный стабилизированный выпрямитель позволяет подавать регулируемое напряжение на блок ФЭУ. Для питания электронной схемы предусилителя (катодного повторителя) и усилителя на блокче **ТИП-СО** также необходимо соответствующее питание – обеспечивается универсальным источником питания **УИП-1**.

Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Идентифицировать все приборы и блоки установки и разобраться с их соединением между собой согласно блок-схеме. Сигнал сцинтилляционного детектора одновременно может подаваться и на осциллограф и через блокоч усилителя на пересчетный прибор. Действуя в соответствии с указаниями пунктов «Порядка выполнения работы» реализовать выполнение следующих экспериментальных заданий.

1. Для каждого радиоактивного источника получить зависимость скорости счета от величины напряжения на ФЭУ при неизменной интенсивности облучения детектора (счетная характеристика). Представить таблицу измерений и графики. По результатам измерений выбрать оптимальную величину рабочего напряжения применяемого ФЭУ, а также оценить величину напряжения начала подсчета шумов ФЭУ.

2. Измерить (фактически, оценить) по осциллографу параметры выходного сигнала детектора (амплитуда и длительность) для различных, предложенных преподавателем, источников γ -излучения, зарисовать примерную форму сигнала от каждого источника с указанием его параметров. Амплитуды указать для средней величины характерных линий сигнала (сгущения импульсов – см. рис. сигнала сцинтилляционного детектора). Длительность сигнала оценить приблизительно, у его основания.

3. По известной энергии γ -излучения одного из источников (сообщается преподавателем) определить коэффициент пропорциональности **К** детектора в соотношении амплитуда-энергия (сравнить с оценкой, приведенной в теоретическом введении). Вычислить примерную величину энергии γ -излучения других предложенных для работы источников.

4. Оценить по осциллографу (хотя бы грубо) максимальную величину амплитуды шумов применяемого ФЭУ и, соответственно, энергетический эквивалент шумов ФЭУ.

5. Оценить приближенно время разрешения детектора (сравнительно хорошая верхняя оценка величины – измеренная длительность сигнала детектора) и, соответственно, его предельную загрузку, т.е. предельную интенсивность излучения, падающего на детектор, регистрируемую им без существенных просчетов.

6. Для источника с известной энергией измерить зависимость амплитуды сигнала от напряжения питания ФЭУ. Представить таблицу измерений и график. Предложить объяснение полученного результата – возможные причины явной нелинейности зависимости, и осознать необходимость высокостабилизированного питания ФЭУ.

Глава 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1). Проверить включение, а при необходимости подключить к сети 220 В лаборатории кабели питания приборов установки.

Оформление лабораторной работы должно соответствовать требованиям пункта 1 «Введения в физпрактикум».

2). Порядок работы с пересчетным прибором ПС02-4 (упрощенное название: пересчетка). Прибор способен подсчитывать электрические импульсы любой полярности с амплитудой, превышающей порог срабатывания прибора. Время набора импульсов (время экспозиции) задается по выбору экспериментатора в самом приборе.

Включить прибор нажатием на красную кнопку «Сеть» (прибор выключается при отжатой кнопке, что достигается повторным нажатием на нее). Должна загореться линейка световой индикации. Система индикаторов арабских цифр осуществляет десятичную запись числа зарегистрированных импульсов (справа налево: единицы, десятки, сотни и т.д.). Прибор практически сразу же после включения готов к работе. Установить все кнопки верхнего ряда в отжатое состояние. (При отжатой кнопке прибор работает в соответствии с подписью над кнопкой, при нажатой кнопке – в соответствии с подписью под ней). В указанном варианте прибор будет работать с импульсами отрицательной полярности, соответственно отрицательной полярности сигналов применяемого сцинтилляционного детектора после его усилителя, т.е. полярности сигналов на входе пересчетки, в автоматическом непрерывном режиме, при котором команды «Стоп», «Сброс» и «Пуск» будут вырабатываться автоматически внутри прибора под действием соответствующего генератора, а не нажатием клавиш. Методика эксперимента в данной лабораторной работе позволяет использовать такой наименее трудоемкий для оператора порядок измерений. При желании, оператор, при нажатой кнопке «Однократный вывод», управляет работой пересчетки вручную, нажатием клавиш «Сброс» и «Пуск», если время экспозиции установлено нажатием какой-то из кнопок времени экспозиции (сигнал «Стоп» при этом вырабатывается автоматически). При всех отжатых кнопках времени экспозиции оператор управляет работой пересчетки нажатием клавиш «Сброс», «Пуск», «Стоп», пользуясь внешним секундомером.

Нажать кнопку «N» прибора. В режиме нажатой кнопки «N» пересчетный прибор регистрирует число **N** импульсов, поступивших на вход пересчетки от внешнего источника

сигналов за определенное время, установленное нажатием соответствующей кнопки времени экспозиции (от 0,1 до 1000 сек.). В режиме «Т» (в данной работе этот режим не используется) прибор определяет время набора заданного количества импульсов.

Проверка правильности работы пересчетного прибора осуществляется при нажатой кнопке «Проверка». В этом случае на вход пересчетки поступают сигналы от внутреннего генератора с частотой 10 кГц. В режиме «Проверка» реальное время экспозиции меньше указанного над соответствующей кнопкой в 100 раз. При подсчете внешних сигналов (в данной работе импульсов сцинтилляционного датчика), когда кнопка «Проверка» отжата, время экспозиции соответствует гравировке – можно сравнить с секундомером наручных часов. Нажмите кнопку экспозиции, например, «100», а затем нажмите кнопку «Проверка». Пересчетка будет периодически производить набор импульсов генератора проверки в течение 1 сек. (при правильной работе пересчетки должно набираться ровно 10000 импульсов). Во время набора импульсов горит лампочка «Счет» в левом нижнем углу панели прибора. Время, в течение которого на индикаторе «горит» число набранных при очередной экспозиции импульсов, регулируется колесиком «Время индикации», и должно позволять оператору зарегистрировать результат измерений при сравнительно малом времени ожидания начала следующего измерения. Произвести проверку пересчетного прибора при нескольких различных временах экспозиции, а затем отжать кнопку «Проверка», вернувшись в режим счёта внешних сигналов детектора.

3). Порядок работы с прибором УИП-1. Прибор УИП-1 обеспечивает питание накальных цепей радиоламп катодного повторителя и блока усилителя ТИП-СО переменным напряжением 6,3 В, а также анодное питание этих устройств стабилизированным регулируемым напряжением постоянного тока. Величина выходного напряжения УИП-1 регистрируется вольтметром прибора. Используется регулируемый выход 20-600 В, отрицательный полюс этого источника заземлен. Во всех описываемых в инструкции соединениях, подключениях и установках приборов желательно непосредственно убеждаться при выполнении лабораторной работы. Необходимое напряжение устанавливается оператором с помощью ручек грубой (дискретной) регулировки, скачками, (должно быть реализовано четкое переключение скачком, а не попытка плавного поворота рукоятки, при котором контакты переключателя замыкаются неверно) и плавной регулировки, с контролем по вольтметру прибора (тумблер вольтметра должен быть включен вправо, т.е. вольтметр подключен к выходу 20÷600 В). Выход 0÷400 В в данной работе не используется. Отметим, что вообще возможности достаточно мощного прибора УИП-1 в данной лабораторной работе используются в весьма незначительной степени.

Убедившись в том, что ручки регулировки напряжения 20-600 В установлены соответственно минимальному выходному напряжению (выведены влево до упора) включить сетевой тумблер прибора УИП-1 (рекомендуется включение любого источника питания производить при минимальных установках выходного напряжения, а затем вводить необходимые напряжения). После 1-2 мин прогрева включить, при необходимости, тумблер «Анод» и ввести анодное напряжение питания: 200 В (рекомендуемое напряжение питания соответствующих электронных схем катодного повторителя и усилителя сигналов детектора).

4). Порядок работы с блоком усилителя ТИП-СО. Блок усилителя регулирует степень усиления сигнала с помощью переключателя-делителя на передней торцевой панели. Рекомендованное при выполнении работы положение переключателя **1:1**, так как амплитуда сигнала сцинтилляционного датчика невелика. Положение тумблера полярности входного (для усилителя) сигнала (на задней торцевой панели усилителя) должно соответствовать отрицательной полярности сигнала сцинтилляционного датчика.

5). Порядок работы с высоковольтным стабилизированным источником питания типа БЛБНВ3-09. Прибор БЛБНВ3-09 обеспечивает на выходе высокостабилизированное напряжение постоянного тока, необходимое для питания делителя ФЭУ. Величина напряжения устанавливается с помощью ручек грубой и плавной регулировки. Только при полностью введенной вправо ручке плавной регулировки (не переусердствовать) напряжение выхода соответствует маркировке дискретного переключателя. Убедившись в том, что ручки регулировки

напряжения установлены соответственно минимальному выходному напряжению (выведены влево до упора), включить сетевой тумблер прибора БЛБНВЗ-09. Должны загореться неоновые индикаторы сети и высокого напряжения. Прибор практически сразу после включения готов к работе. Установить выходное напряжение на приборе 1,5 кВ, которое приблизительно соответствует рабочему напряжению для фотоумножителя, применяемого в данном сцинтилляционном детекторе. Примерное значение рабочего напряжения питания ФЭУ сообщается заранее для проверки работоспособности установки. **ВНИМАНИЕ!** В процессе выполнения лабораторной работы запрещается устанавливать на приборе БЛБНВЗ-09 напряжение выше 2 кВ во избежание выхода из строя сцинтилляционного датчика.

6). Убедиться в работоспособности установки, наблюдением регистрации гамма-излучения естественного радиационного фона. Если необходимые, оговоренные выше, напряжения питания поданы и сигнал сцинтилляционного детектора через блок усилителя поступает на пересчетный прибор, который включен на подсчет внешних импульсов отрицательной полярности, то пересчетка производит регистрацию импульсов детектора, создаваемых γ -излучением естественного (природного) радиационного фона Земли. «Фон» обусловлен регистрацией сцинтилляционным детектором частиц (квантов) излучения радиоактивных изотопов земной коры и космического излучения. **Определить приближенно интенсивность или уровень регистрируемого «фона» данного детектора** (данной лабораторной установки) по одному – двум измерениям с небольшим временем экспозиции (например, 10 сек) и **обсудить полученное значение с преподавателем**, (которому известен порядок этой величины для всех установок лаборатории), чтобы получить уверенность в работоспособности установки. Определение интенсивности регистрируемых импульсов производится по формуле $I = N/t$, где N – число сигналов (импульсов), зарегистрированных пресчеткой за некоторое, выбранное экспериментатором, время t . **Отметим, что полученное значение «фона» не является объективной характеристикой этой величины (зависит от конкретного датчика и свойств установки в целом [13]).** Представление об объективной характеристике величины природного радиационного фона будет дано в лаб. раб. № 3.

Получить у преподавателя радиоактивные источники для данной лабораторной работы (энергию основных γ -квантов одного из источников преподаватель должен сообщить), поднести один из них (или оба) к сцинтилляционному кристаллу датчика (снизу) и убедиться в том, что пересчетка начала считать импульсы регистрации детектором квантов радиоактивного излучения препарата («переключение» световой индикации декад пересчетки происходит значительно быстрее), т.е. работа установки осуществляется нормально. Радиоактивные препараты удобно класть под детектор (на имеющийся деревянный брусок), при необходимости – практически вплотную к сцинтилляционному кристаллу. **Отметим, что при измерениях в работе с одним источником, второй должен быть удален от детектора на сравнительно значительное расстояние, чтобы не вносить погрешность в измерения.** Попробуйте различные варианты расположения источников относительно детектора, сравните качественно скорости регистрации, осмыслите результаты. Убедитесь также в том, что при неизменных условиях облучения детектора пересчетка регистрирует различные, но сравнительно близкие значения числа импульсов N за данное выбранное время экспозиции t .

7). Выполнить п. 1 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями (см. п. 5.5 «Введения в физпрактикум» и п. 7 гл. 1 инструкции к работе).

Для каждого радиоактивного источника получить зависимость скорости счета от величины напряжения на ФЭУ при неизменной интенсивности облучения детектора (счетная характеристика). Представить таблицу измерений и графики (графики построить для каждого источника отдельно, выбрав соответствующие масштабы, при которых будет видна начальная возрастающая ветвь счетной характеристики, область плато и хотя бы начальная часть возрастающей, за счет шумов, ветви счетной характеристики [14]). **По результатам измерений выбрать оптимальную величину рабочего напряжения применяемого ФЭУ, а также оценить величину напряжения начала подсчета шумов ФЭУ.**

Отметим, что желающие сократить время выполнения лабораторной работы могут совместить выполнение п. 1 экспериментальной части для источника с известной энергией с одновременным выполнением ее п. 6, освоив предварительно работу с осциллографом (см. ниже).

Интервал устанавливаемых напряжений питания ФЭУ от 0,9 кВ до 1,9 кВ с шагом 100 В. Рекомендуемое время экспозиции на пересчетке 10 сек. При каждом значении напряжения произвести два-три отсчета на пересчетке и усреднить их «на глаз» с небольшим округлением. При этом точность результата в существенной части счетной характеристики в области «плато», должна быть сравнительно неплохой, так как величина N_i (значение для каждого напряжения) в области «плато» должна быть достаточно велика, чтобы относительная статистическая ошибка каждого измерения не превышала нескольких процентов.

Абсолютная ошибка (погрешность) измерения любой дискретной случайной величины, (например N – число импульсов, отсчитанных пересчеткой за определенное время, выбранное экспериментатором), распределение которой есть распределение Пуассона, соответствует дисперсии распределения и равно в данном случае $\sqrt{N}$ или $N^{1/2}$ (см. лаб. раб. №4). Относительная ошибка этого измерения $\sqrt{N}/N$ или $N^{1/2}/N = N^{-1/2}$. Для уменьшения этой ошибки нужно либо увеличивать N , т.е. время отдельного измерения, либо сделать несколько, например, n более коротких измерений и тогда относительная ошибка среднего из этой серии измерений равна $(\sqrt{N_{ср.}})/(\sqrt{n} \cdot N_{ср.})$ или $N_{ср.}^{1/2}/(N_{ср.} \cdot n^{1/2})$, т.е. в корень из n раз меньше ошибки одного измерения. Так как все измеренные N_i не сильно различны между собой, то по первой измеренной величине N можно вычислить n , необходимое для реализации заданной ошибки измерений.

Отметим, что согласно статистике Пуассона, при нормальной работе установки в одинаковых условиях, примерно 68% измерений лежат в интервале $N_{ср.} \pm N_{ср.}^{1/2}$, а практически 100% измерений лежат в интервале $N_{ср.} \pm 3 \cdot N_{ср.}^{1/2}$. Выход за указанные интервалы связан либо с нестационарностью исследуемых процессов, либо с неисправностями в установке (обратитесь к преподавателю).

После получения счетной характеристики и ее осмысления, определить оптимальное значение рабочего напряжения питания ФЭУ и установить его на приборе БЛБНВ3-09 с округлением до десятых долей киловольта к ближайшему значению переключателя прибора. Проверить качественно оптимальность полученного значения величины рабочего напряжения ФЭУ. При удаленных радиоактивных источниках, пересчетка должна регистрировать фоновую интенсивность сигналов, без заметного вклада шумовых импульсов, а при поднесении к детектору каждого источника интенсивность регистрации сигналов детектора должна существенно возрастать.

Примечание.

При проведении линии графика усреднение экспериментальных данных, имеющих статистический разброс из-за вероятностного характера исследуемых процессов, провести «на глаз». При нормальной работе лабораторной установки и отсутствии ошибок эксперимента, получаемый график должен соответствовать графику, приведенному (или описанному словесно) в теоретическом введении в лабораторную работу или во «Введении в физпрактикум». Линия графика должна плавно проходить между экспериментальными точками так, чтобы минимизировать суммарное отклонение этих точек от проводимого графика (метод наименьших квадратов или метод максимума правдоподобия при математической обработке результатов эксперимента).

8). Порядок работы с осциллографом С1-76.

8.1. Включить осциллограф тумблером „**Сеть**” (слева под экраном трубки). Должна загореться лампочка над тумблером. После непродолжительного прогрева осциллограф готов к работе. Опытные «осциллографисты» и «осциллографистки» получают изображение сигнала детектора по своему усмотрению, а неопытные – действуют по предложенным далее рекомендациям, при необходимости используя помощь преподавателя.

8.2. Через 30-40 сек на экране осциллографа должна появиться светящаяся точка луча либо изображение подаваемого на осциллограф сигнала, если к входу осциллографа (входной разъем, обозначенный , находится в блоке „Усилитель” внизу справа) подключен сигнальный кабель сцинтилляционного датчика и включено его питание от УИП-1 и блока БЛБНВБ-09.

При значительном внешнем освещении экрана осциллографа для уверенного наблюдения изображения может использоваться резиновый тубус, надеваемый на прямоугольное обрамление осциллографической трубки. Ручку „Яркость” (находится под экраном, обозначена ) рекомендуется ввести по часовой стрелке до упора – максимальная яркость (не переусердствовать). Ручкой „Фокус” (находится под экраном, обозначена ) отрегулировать резкость изображения. При необходимости можно включить подсветку сетки экрана осциллографа следующей справа ручкой, обозначенной . Положение луча и изображения на экране осциллографа регулируются ручками $\leftrightarrow$ „грубо” и „плавно” (внизу под экраном) и ручкой $\updownarrow$ (справа от экрана вверху в блоке „Усилитель”).

8.3. Положение переключателей управления в блоке „Усилитель”:

8.3.1. Красная рукоятка (находится внизу слева от входного разъема осциллографа) должна быть в самом нижнем положении, обозначенном “ $\sim$ ”, т.е. на входной усилитель осциллографа пропускается только переменное напряжение или импульсный сигнал без постоянной составляющей, которую можно наблюдать только в крайнем верхнем положении этой рукоятки. В положении $\perp$ вход осциллографа закорочен на корпус (при этом при среднем положении ручек регулировки $\leftrightarrow$ и $\updownarrow$ светящаяся точка луча находится примерно в центре экрана).

8.3.2. Ручка плавной регулировки усиления, расположенная над входным разъемом, должна стоять в положении до упора по часовой стрелке (характерный щелчок раздастся при достижении упора, если до этого ручка была отвернута влево, не переусердствовать). При таком положении этой ручки осциллограф окажется откалиброванным по чувствительности вертикального отклонения в соответствии с установкой дискретного переключателя V/cm (В/см) в середине блока „Усилитель”. В лабораторной работе рекомендуется использовать два положения этого переключателя: **0,1** и **1** с учетом множителя, определяемого нажатием одной из трех кнопок вверху слева в блоке „Усилитель”. Рекомендуется работать при нажатой кнопке **X 0,5**.

При наблюдении на осциллографе импульсов от гамма-квантов различных радиоактивных препаратов рекомендуется попробовать оба положения переключателя **0,1** и **1**, чтобы осознать необходимость подбора соответствующего коэффициента усиления для получения полной информации об исследуемом сигнале.

8.4. Положение переключателей в блоке “Синхронизация”.

8.4.1. Левый тумблер в верхней части блока включить в положение “ $\sim$ ” – наблюдение сигнала переменного или импульсного напряжения, без постоянной составляющей напряжения.

8.4.2. Правый тумблер в верхней части блока включить в положение “–”, что соответствует отрицательной полярности наблюдаемого со сцинтилляционного датчика сигнала.

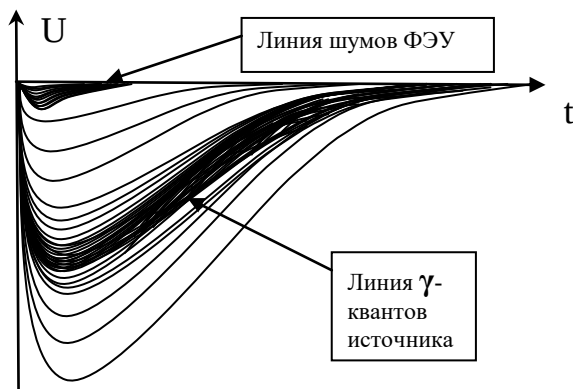
8.4.3. Красную рукоятку под указанными тумблерами поставить в крайнее левое положение “Внутр.” При этом развертку луча по горизонтали обеспечивает внутренний генератор развертки осциллографа, управляемый переключателями развертки, расположенными в средней части блока “Синхронизация”.

8.4.4. Переключатель развертки (правый) рекомендуется поставить в положение “**1 μ s**”, что примерно соответствует длительности наблюдаемых импульсов сцинтилляционного датчика. Рукоятку слева от переключателя рекомендуется при этом поставить в крайнее верхнее положение “**X1**”.

8.4.5. Если из трех кнопок “Время/см” (расположены внизу справа) нажата кнопка “**X1**”, а ручка плавной регулировки времени развертки (расположена слева от указанных кнопок) введена до упора по часовой стрелке (характерный щелчок раздается при достижении упора, если до этого ручка была отвернута влево, не переусердствовать), то осциллограф окажется откалиброванным по длительности на **1 μ s/см** (одна микросекунда на один сантиметр шкалы по горизонтали).

8.4.6. Красную рукоятку в левом нижнем углу блока “Синхронизация” рекомендуется поставить в среднее положение.

9). Установив необходимые, описанные выше, положения переключателей осциллографа наблюдать на экране импульсы сцинтилляционного датчика, подкладывая под детектор различные



источники излучения. При этом существенно положение ручки уровня синхронизации (расположена в правом верхнем углу блока). Плавным вращением этой ручки подобрать ее положение, при котором для известного источника получаем “картинку” соответствующую инструкции (см. рис.). Амплитуда импульсов «середины» линии γ -квантов источника соответствует амплитуде максимума на рис. п. 5.4 «Введения в физпрактикум» [15].

10). Выполнить п. 2 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех

необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями.

Измерить (фактически, оценить) по осциллографу параметры выходного сигнала детектора (амплитуда и длительность) для различных, предложенных преподавателем, источников γ -излучения, зарисовать примерную форму сигнала от каждого источника с указанием его параметров. Амплитуды указать для средней величины характерных линий сигнала (сгущения импульсов – см. приведенный рис. сигнала сцинтилляционного детектора). Длительность сигнала оценить приблизительно, у его основания.

11). Выполнить п. 3 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями (см. п. 6 гл. 1 инструкции к работе).

По известной энергии γ -излучения одного из источников (сообщается преподавателем) определить коэффициент пропорциональности K детектора в соотношении амплитуда-энергия (сравнить с оценкой, приведенной в теоретическом введении). Вычислить примерную величину энергии γ -излучения других предложенных для работы источников.

12). Выполнить п. 4 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями (см. п. 6 гл. 1 инструкции к работе).

Оценить по осциллографу (хотя бы грубо) максимальную величину амплитуды шумов применяемого ФЭУ и, соответственно, определить энергетический эквивалент шумов ФЭУ.

13). Выполнить п. 5 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями (см. п. 5.3 «Введения в физпрактикум» и п. 6 гл. 1 инструкции к работе).

Оценить приближенно время разрешения детектора (сравнительно хорошая верхняя оценка величины – измеренная длительность сигнала детектора [16]) и, соответственно, его предельную загрузку, т.е. предельную интенсивность излучения, падающего на детектор, регистрируемую им без существенных просчетов.

14). Выполнить п. 6 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями.

Для источника с известной энергией измерить зависимость амплитуды сигнала от напряжения питания ФЭУ. Представить таблицу измерений и график. Предложить объяснение возможных причин явной нелинейности зависимости, и осознать необходимость высокостабилизированного питания ФЭУ.

Интервал устанавливаемых напряжений питания ФЭУ от 0,9 кВ до 1,9 кВ с шагом 100 В.

15). Выключить тумблеры «Сеть» приборов лабораторной работы, привести в порядок рабочее место. Сдать радиоактивные источники преподавателю.

16). Оформить лабораторную работу и отчитаться по ней перед преподавателем.