

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТЧИКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Методические указания к лабораторным работам
по курсам «Атомная физика», «Физика твердого тела»
и «Материаловедение»
для студентов физико-технического факультета

Екатеринбург
УрФУ
2010

УДК 539.1.074(076)

Составители: А. К. Штольц, А. В. Чукин, О. В. Денисова, А. И. Медведев

Научный редактор доц. канд. техн. наук В. М. Стоцкий

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТЧИКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ**

РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ: методические указания к лабораторным

работам / сост. А. К. Штольц, А. В. Чукин, О. В. Денисова, А. И. Медведев.

Екатеринбург: УрФУ, 2010. 17 с.

Предназначены для использования при выполнении студентами физико-технического факультета лабораторных работ по курсам «Атомная физика», «Физика твердого тела» и «Материаловедение». Включают краткое изложение теории взаимодействия рентгеновских лучей с веществом, обзор основных методов регистрации рентгеновского излучения и подробное описание устройства и физических принципов работы сцинтилляционного счетчика. В них содержатся рекомендации по порядку выполнения указанной выше лабораторной работы и перечень вопросов для подготовки к коллоквиуму перед ее выполнением.

Библиогр.: 3 назв. Рис. 5.

Подготовлено кафедрами теоретической физики и прикладной математики
и кафедрой электрофизики

© УрФУ, 2010

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время рентгеновские лучи широко используются как в научных целях, так и для практического применения в промышленности. Хорошо известны рентгенофазовый и рентгеноструктурный методы исследования различных материалов. Эти методы позволяют изучать и контролировать фазовый состав вещества и его изменение, кристаллическую структуру и степень ее совершенства для исследуемого объекта, а также определять размеры кристаллитов и их ориентировку. В основе этих методов лежит взаимодействие рентгеновского излучения с электронами вещества.

По своей природе рентгеновское излучение является электромагнитным излучением, т. е. представляет собой электромагнитные волны. Однако при взаимодействии с объектами микромира (молекулы, атомы, электроны и т. п.) проявляется его корпускулярно-волновой дуализм. В одних случаях оно ведет себя как электромагнитные волны с малой длиной волны (порядка нанометров), сравнимой с размером атомов, в других – как поток квазичастиц – фотонов с энергией порядка десятков кэВ.

Особенностью этого излучения является то, что его нельзя непосредственно увидеть, как, например, свет. Для регистрации этого излучения используются явления, проявляющиеся при взаимодействии рентгеновского излучения с объектами микроструктуры различных веществ.

В методических указаниях к лабораторной работе «Определение оптимального режима работы сцинтилляционного счетчика для регистрации рентгеновского излучения» кратко излагается теория взаимодействия рентгеновского излучения с веществом и описание тех явлений, которые происходят при этом в веществе и позволяют регистрировать это излучение. Рассматриваются также основные методы регистрации и схемы устройств, предназначенные для этого. Особенно подробно описывается принцип работы и устройство сцинтилляционного счетчика. В заключение приводятся порядок выполнения лабораторной работы и перечень вопросов для подготовки к коллоквиуму перед её выполнением.

1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

При облучении рентгеновскими лучами различных веществ идут процессы их рассеяния на электронах атомов вещества и процессы поглощения. Рассеяние может быть как когерентным (упругим), т.е. без изменения длины волны и частоты, так и некогерентным (неупругим). При неупругом рассеянии энергия рентгеновских лучей передается электронам и ядрам атомов, приводит их в возбужденное состояние с последующими процессами, вызывающими излучение электромагнитных волн, но с другими длинами, или к выбиванию из атомов электронов. Рассмотрим подробнее процессы рассеяния и поглощения.

1.1. Упругое рассеяние рентгеновского излучения

Согласно волновым представлениям о рентгеновском излучении его электромагнитные волны вызывают вынужденные колебания электронов в атомах вещества. Эти электроны становятся центрами, излучающими вторичные рентгеновские волны с той же длиной волны. Если бы все возбужденные электроны атома находились в одной точке и переизлученные ими рентгеновские волны имели постоянную разность фаз (т.е. имела бы место пространственная и временная когерентность переизлученных волн), то интенсивность рассеянных волн определялась бы условиями интерференции. Это означает, что при изменении положения точки наблюдения по отношению к возбуждаемому излучению максимумы интенсивности будут чередоваться с нулевыми значениями интенсивности.

Если же условия когерентности как временной, так и пространственной (или обеих вместе) не выполняются, то рассеянные электронами волны не интерферируют и интенсивности их просто складываются. Это имеет место, если взять в качестве рассеивающего вещества газ или аморфное вещество и поставить после него фотопластинку или светящийся экран, тогда можно увидеть размытое пятно с интенсивностью, спадающей от центра пятна (точки,

расположенной на направлении падающего луча) к его краям, независимо от того, является ли излучение монохроматическим или ему присущ непрерывный спектр волн. В кристаллическом веществе атомы или ионы расположены в определенном порядке. Если излучение монохроматическое, то условия когерентности будут выполнены и на фотопластинке или на экране мы получим набор пятен или линий, которые есть результат интерференции рассеянных рентгеновских волн на атомах вещества. Совокупность явлений рассеяния и интерференции приводит к образованию для каждого вещества своей дифракционной картины. Это явление и легло в основу рентгеновских методов изучения структуры вещества.

1.2. Неупругое рассеяние рентгеновского излучения

Как говорилось выше, неупругое рассеяние – рассеяние некогерентное, т.е. длина волны и частота рассеянных лучей изменяются.

Впервые явление такого рассеяния наблюдал Комптон, изучая рассеяние рентгеновских волн и гамма излучения на различных кристаллических веществах. Он обнаружил, что в спектре рассеянного излучения наблюдаются две волны: одна с длиной волны (и частотой), соответствующей падающей, вторая имеет большую длину волны (меньшую частоту). Это явление связано с квантовыми свойствами электромагнитного излучения. Рентгеновское излучение рассматривается как поток квазичастиц – фотонов с энергией $h\nu_0$. По отношению к энергии падающего фотона внешние электроны атомов можно считать свободными. Фотон отдает часть своей энергии электрону, которая идет на сообщение ему кинетической энергии. Частота исходного фотона уменьшается, а длина волны увеличивается. Вылетающие из атомов электроны называют электронами отдачи.

1.3. Поглощение рентгеновского излучения

Поглощение – процесс, при котором энергия падающего излучения превращается в другие виды энергии. Она идет частично на нагревание, а также на вырывание из атомов внешних или внутренних электронов и

сопровождается или ионизацией, или возбуждением атомов. Вырванные электроны приобретают кинетическую энергию и при движении внутри вещества могут вызывать вторичные ионизацию или возбуждение атомов. Возбужденные атомы, возвращаясь в исходное состояние, излучают электромагнитные волны с разными длинами волн в зависимости от энергии возбуждения и энергетического спектра облученного вещества. В частности, если возбуждаются верхние энергетические уровни вещества, то поглощение сопровождается излучением видимого света или ультрафиолетовых лучей. При вырывании электронов за счет поглощения рентгеновских лучей с близких к ядру энергетических уровней (из *K*- или *L*-слоев) возникает вторичное рентгеновское излучение.

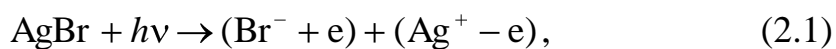
2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Из рассмотренных выше механизмов взаимодействия рентгеновского излучения с веществом возникает возможность использовать для регистрации рентгеновского излучения процессы поглощения: ионизацию и вторичное излучение. Ниже мы рассмотрим кратко основные методы регистрации рентгеновских лучей и их приборное осуществление. Подробнее остановимся на устройстве и физических основах работы сцинтилляционного счетчика, наиболее широко используемого в современных рентгеновских дифрактометрах.

2.1. Фотографический метод

Фотографический метод основан на фотохимическом действии рентгеновского излучения. Для регистрации излучения используются специальные пленки с двухсторонним эмульсионным слоем. Эмульсия состоит из мелких кристалликов бромистого серебра (порядка 1 мкм), взвешенных в желатине. Совершенные (бездефектные) кристаллики AgBr нечувствительны к

свету и рентгеновским лучам. К ним добавляют серу, которая, замещая в кристаллической решетке атомы брома, приводит к появлению дефектов и к уменьшению энергии связи ионов Ag^+ и Br^- . При попадании рентгеновского фотона с энергией $h\nu$ на молекулу AgBr происходит следующая реакция:



т. е. из ионов брома освобождаются электроны и захватываются ионами серебра, которых больше всего в тех местах пленки, куда попадало больше квантов излучения, превращая их в атомы серебра. Скопления из 20 – 100 атомов серебра образуют устойчивый центр скрытого изображения. Если после этого пленку поместить в раствор (проявитель) сложного химического состава, который растворяет кристаллики AgBr , но не растворяет кристаллики серебра, а напротив, способствует их росту, то размер кристалликов серебра увеличивается. После выдержки некоторое время в проявителе пленку промывают в воде и помещают в другой раствор (закрепитель), который растворяет оставшуюся эмульсию. В результате выполненных процедур получается негативное изображение, т. е. участки пленки, где интенсивность падающего рентгеновского излучения была больше, становятся более черными. Для того чтобы получить количественную оценку интенсивности рентгеновского излучения, пленку фотометрируют.

Этот метод в настоящее время мало используется в исследовательских и заводских лабораториях из-за его трудоемкости и неточности количественных оценок, но широко используется в медицинских учреждениях.

2.2. Ионизационный метод

В ионизационном методе регистрации используется эффект поглощения рентгеновского излучения при прохождении через газы или твердые вещества.

Рассмотрим процессы, которые происходят при прохождении рентгеновских лучей через газ, находящийся в поле плоского конденсатора. Проходя через газ, они ионизируют его молекулы. В результате образуется одинаковое число ионов различного знака. Для одноатомного газа, например аргона, который чаще всего используется как газ-наполнитель, роль

положительных ионов будут играть ионы газа, а отрицательных – электроны. Если электрического поля нет, то возникшие ионы разного знака при их столкновении нейтрализуются (рекомбинируют). Если включить электрическое поле, то разноименные ионы двигаются к соответствующему электроду. Во внешней цепи появляется ток (рис. 2.1). При увеличении разности потенциалов между электродами от U до U_1 сила ионизационного тока увеличивается, и при значении разности потенциалов U_1 все образовавшиеся ионы достигают соответствующего электрода. Возникший при этом ток I называют током насыщения, который пропорционален числу ионов N : $I=eN$, где e – заряд иона.

При дальнейшем увеличении разности потенциалов до U_2 (рис. 2.1) сила тока не изменяется, увеличивается лишь скорость ионов. Область разности потенциалов от U_1 до U_2 называется областью полной пропорциональности. При $U>U_2$ энергия ионов становится достаточной для ионизации молекул за счет столкновений (ударная ионизация) и сила тока увеличивается за счет так называемого газового усиления. До разности потенциалов, равной U_3 , коэффициент усиления линейно зависит от приложенной разности потенциалов. Эта область называется областью пропорциональности. При $U>U_3$ пропорциональность нарушается.

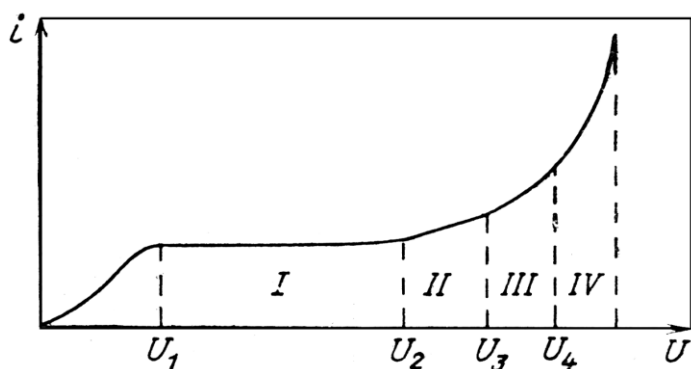


Рис. 2.1

При $U>U_4$, если энергия фотона достаточна для образования хотя бы одной пары ионов, возникает лавинный разряд. Эта область носит название области равных импульсов, т.е. прохождению ионизирующих частиц различной энергии отвечает возникновение одинаковых импульсов тока.

2.2.1. Счетчик Гейгера-Мюллера

Одними из первых счетчиков, используемых в рентгеновской дифрактометрии, были *счетчики Гейгера-Мюллера*. Эти счетчики, наполненные аргоном, работают при разности потенциалов U , большей U_4 (рис. 2.1), т. е. в области равных импульсов. В этой области при попадании в счетчик квантов рентгеновского излучения возникает лавина ионов и электронов. Когда положительные ионы достигают катода, они могут выбить из него электроны и вызвать самоподдерживающийся заряд. Счетчик перестает работать. Для того чтобы этого избежать, в газ-наполнитель добавляют, например, молекулы галогена. Далее мы не будем останавливаться подробно на работе счетчика, укажем только его недостатки, один из которых был только что упомянут. Другими недостатками являются его невысокая эффективность, определяемая отношением числа сосчитанных импульсов к числу квантов, прошедших через входное окно счетчика, и большое мертвое время – время, в течение которого счетчик не способен зарегистрировать вновь поступивший квант излучения. Оно для таких счетчиков составляет 150 – 300 мкс.

2.2.2. Пропорциональные детекторы

Указанных выше недостатков лишены широко используемые в современных дифрактометрах *пропорциональные детекторы*. В них также используется явление ионизации газа, но работают они в области разностей потенциала от U_2 до U_3 (рис. 2.1) или в так называемой области газового усиления. Коэффициент газового усиления при соответствующих условиях может достигать значения $10^2 - 10^6$. Импульс тока, возникающий на электродах, пропорционален энергии фотонов, умноженной на их число, т. е. энергии падающего излучения. Это позволяет разделять кванты по энергиям и одновременно анализировать не только рентгеновскую дифракцию, но и энергетический спектр детектируемого излучения.

Конструктивно пропорциональный счетчик представляет собой наполненный газом цилиндр, являющийся отрицательным электродом, по оси цилиндра натянута тонкая проволока – положительный электрод (рис. 2.2).

В таких счетчиках коэффициент газового усиления не зависит от места возникновения первичной ионизации. Окно, через которое впускается излучение, располагается на боковой поверхности катода. Напротив него находится выходное окно для выпуска излучения. Оба окна делают из бериллиевой фольги.

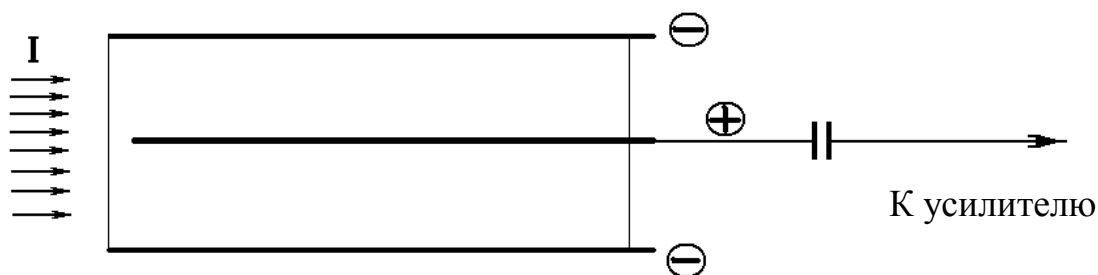


Рис. 2.2

Пропорциональный счётчик, в сравнении со счётчиком Гейгера, обладает большим быстродействием, до $10^5 - 10^6$ квантов в секунду, но величина сигнала очень мала, поэтому требуется дополнительное его усиление. Принципиальным недостатком пропорциональных газонаполненных детекторов является их ограниченная чувствительность, особенно при высоких энергиях фотонов. Это связано с тем, что большинство таких фотонов пролетает через рабочее вещество счетчика, не взаимодействуя с его атомами, поэтому желательно использовать в качестве рабочего вещества твердое тело. К детекторам, использующим в качестве рабочего вещества твердое тело, относятся пропорциональные полупроводниковые детекторы.

В пропорциональных полупроводниковых детекторах рабочим веществом является кристалл-полупроводник. Рентгеновские кванты ионизируют атомы полупроводника и создают свободные носители: дырки в полупроводнике *p*-типа или электроны в полупроводнике *n*-типа. В приложенном электрическом поле происходит сбор носителей заряда, и на выходе счетчика возникает электрический импульс с амплитудой, пропорциональной энергии поглощенного кванта.

3. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР

Наибольшее применение в настоящее время получили сцинтилляционные детекторы (счетчики). На рис. 3.1 схематически представлено устройство сцинтилляционного счетчика.

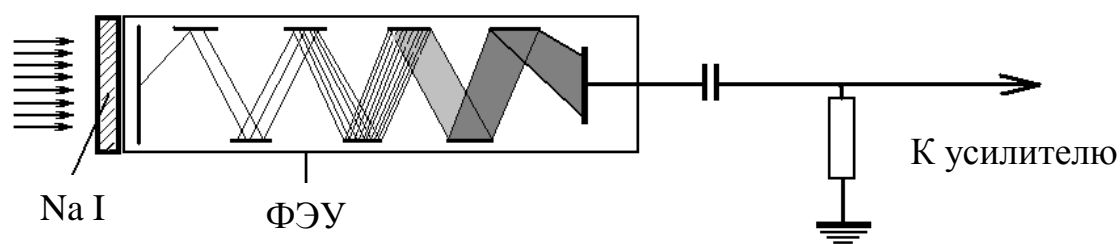


Рис. 3.1

Эти счетчики состоят из прозрачного люминесцирующего кристалла (сцинтиллятора) и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ).

В качестве сцинтилляторов применяют кристаллы NaI или KI, активированные таллием Tl. Их условное обозначение NaI(Tl) и KI(Tl). Размер кристаллов в миллиметрах: длина 20 – 25, ширина 2 – 4, толщина 1 – 2.

Рассмотрим процессы, которые возникают в кристалле при попадании на него рентгеновского излучения. В качестве кристалла возьмем NaI(Tl).

Иодид натрия является диэлектриком, энергетический спектр которого имеет зонную структуру, приведенную на рис. 3.2. Ширина запрещенной зоны в NaI составляет примерно 6 эВ, а энергетические уровни введенного в него таллия лежат в середине этой зоны. Таллий находится на них преимущественно в виде положительно заряженных ионов (Tl^+). При попадании рентгеновского фотона с энергией порядка тысяч электрон-вольт на кристалл он отдает большую часть своей энергии электронам его атомов.

Электроны, получив дополнительную энергию, большую 6 эВ, перебрасываются из валентной зоны в зону проводимости. При этом в валентной зоне образуются дырки (v) – вакансии в соответствующих атомах. Дырки могут перемещаться от атома к атому, т. е. в валентной зоне они будут

двигаться в принципе так же, как и электроны в зоне проводимости. Практически мгновенно после этого электроны занимают самые низкие, а дырки самые высокие энергетические уровни в своих зонах. Не исключено, что электрон может вернуться вновь в валентную зону, отдав свою энергию кристаллической решетке или освободив ее в виде фотона в результате рекомбинации с дыркой, что является источником сцинтилляций в неактивированном кристалле.

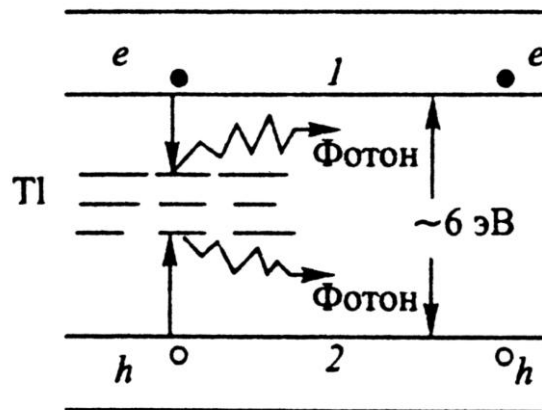
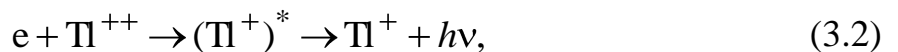
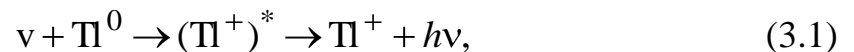


Рис. 3.2

Более вероятным оказывается перескок электронов и дырок не через всю запрещенную зону, а на более близкие энергетические уровни, где расположены ионы Tl^+ . Это приводит, соответственно, к образованию нейтрального атома Tl^0 и иона Tl^{++} . При появлении около Tl^0 или Tl^{++} дырки или электрона вследствие их диффузии в кристалле происходят следующие реакции:



в результате каждой из которых образуется возбужденный ион $(Tl^+)^*$, который переходя в основное состояние (Tl^+) , испускает фотон с энергией hv , равной, примерно 3 эВ, и длиной волны 410–415 нм (сине-фиолетовый свет). Поскольку энергия рентгеновского фотона порядка нескольких тысяч электронвольт, он может при взаимодействии с атомами кристалла-сцинтиллятора привести к появлению тысячи квантов сине-фиолетового света.

Кванты света, излучаемые атомами кристалла, попадают на фотокатод ФЭУ, вызывая за счет внешнего фотоэффекта появление свободных электронов. Фотокатоды ФЭУ делают из материалов, работа выхода для которых меньше энергии квантов излучения, попадающего на фотокатод, но близка к ней. В этом случае вероятность вырывания электронов больше. При включении между катодом и анодом электрического поля ФЭУ регистрирует на выходе импульс тока, который на нагрузочном сопротивлении создает импульс напряжения U_0 , регистрируемый счетной системой. Если использовать только фотокатод, то число электронов, вырываемых с него, невелико и чувствительность счетчика будет мала.

Для увеличения потока электронов в ФЭУ используется явление вторичной эмиссии. Для этого пучок электронов с фотокатода проходит через систему вторичных катодов (динодов), между которыми приложена разность потенциалов, достаточная для вырывания электронов с их поверхности за счет электрического поля. Количество вторичных электронов зависит от материала эмиттера, угла падения первичных электронов и величины разности потенциалов между эмиттерами. Эти параметры выбираются так, чтобы был больше коэффициент размножения $\sigma = n_2 / n_1$, где n_1 – число электронов, падающих на эмиттер, а n_2 – число выбитых из него электронов. Коэффициент размножения σ больше для эмиттеров, сделанных из сплавов, чем для эмиттеров из металлов, и может превышать 10. Каждый ФЭУ характеризуется коэффициентом усиления $K = I / I_{\text{ф}}$, где $I_{\text{ф}}$ – первичный ток электронов, попадающий на первый эмиттер, а I – ток на выходе. Оптимальное значение коэффициента усиления $10^7 - 10^8$. Величина коэффициента усиления зависит от напряжения, приложенного к ФЭУ. Регулируя его, можно в широких пределах менять усиление.

Мертвое время сцинтилляционных счетчиков составляет 1 – 3 мкс, что позволяет доводить скорость счета до 50000 импульсов в секунду.

Особенностью сцинтилляционных счетчиков является пропорциональная зависимость между ионизирующей способностью частицы (а следовательно, ее энергией) и амплитудой импульса напряжения на выходе фотоумножителя U_0 .

Наличие такой зависимости позволяет с помощью амплитудных анализаторов выделять импульсы, отвечающие квантам определенной энергии, т.е. измерять интенсивность излучения, отвечающего определенной длине волны.

Монохроматическое рентгеновское излучение всегда возникает на фоне излучения со сплошным спектром. Хотя интенсивность монохроматического излучения во много раз больше интенсивности сплошного спектра, но и его будет регистрировать счетчик. Амплитуда этих сигналов может быть и меньше, и больше амплитуды основного сигнала и на дифрактограмме давать фон. Для того чтобы убрать фон, для используемых излучения и счетчика снимают зависимость интенсивности сигнала (числа импульсов) от их амплитуды. Эта зависимость будет иметь вид, представленный на рис. 3.3. Шумы с меньшей амплитудой отсекают, вводя так называемое пороговое напряжение ($U_{\text{нижн}}$). Для того чтобы убрать шумы с большей амплитудой, выбирают интервал напряжений между наибольшим значением и пороговым ($U_{\text{верх}}$), так называемое «окно».

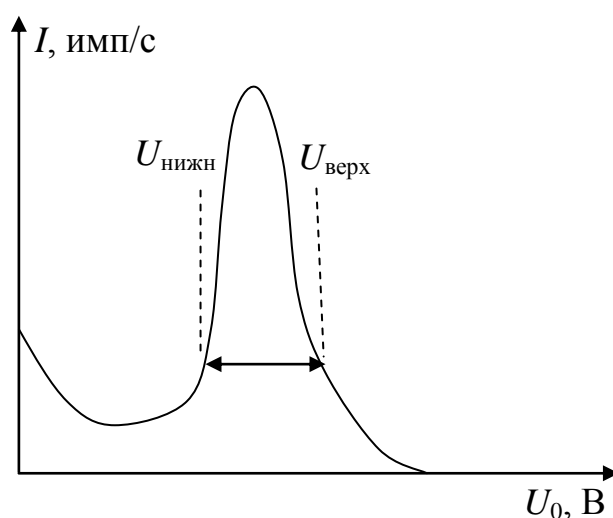


Рис. 3.3

Мертвое время сцинтилляционных счетчиков составляет 1 – 3 мкс, что позволяет доводить скорость счета до 50000 импульсов в секунду.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Изучение физических основ работы и устройства сцинтилляционного счетчика и определение оптимальных режимов его работы

В данной работе предлагается изучить работу сцинтилляционного счетчика, смонтированного на гониометре рентгеновского дифрактометра XRD-7000.

1. Перед началом работы со счетчиком необходимо познакомиться по имеющемуся в лаборатории описанию с устройством дифрактометра XRD-7000 и работой на нем.
2. Выбрать кристаллический образец, который будет играть роль дифракционной решетки.
3. Для наиболее сильной по интенсивности линии образца рассчитать угол, под которым будет наблюдаться эта линия.
4. Подобрать щели, наиболее выгодные для съемки.
5. Выбрать условия съемки (напряжение на трубке, ток через трубку, интервал углов, шаг сканирования).
6. Используя программное обеспечение рентгеновского дифрактометра XRD-7000, определить оптимальные значения напряжения на счетчике, пороговое напряжение и окно.
7. Снять выбранную дифракционную линию образца и определить для нее интенсивность в максимуме и фон.
8. Изменить оптимальное значение напряжения на счетчике, не меняя пороговое значение напряжения и окно, снова снять дифракционную линию образца и определить, какие ее характеристики изменились и как.
9. Не меняя оптимального значения напряжения на счетчике, изменить пороговое значение напряжения и окно, снова снять дифракционную линию образца и определить, какие ее характеристики изменились.
10. Объяснить полученные результаты.

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К КОЛЛОКВИУМУ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Механизмы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом.
2. Какие свойства рентгеновского излучения используются для его регистрации?
3. Суть фотографического метода регистрации.
4. Процессы, происходящие при прохождении рентгеновского излучения через газ в конденсаторе при изменении напряжения между электродами.
5. Принцип работы счетчиков Гейгера-Мюллера и пропорционального.
6. Устройство сцинтилляционного счетчика.
7. Каково назначение кристалла-сцинтиллятора?
8. Суть механизмов, происходящих в кристалле-сцинтилляторе, приводящих к преобразованию рентгеновского излучения в сине-фиолетовый свет.
9. Назначение ФЭУ. Зачем используется явление вторичной эмиссии?
10. От каких параметров счетчика зависит эффективность его работы?

1. Русаков А. А. Рентгенография металлов / А. А. Русаков. М.: Атомиздат, 1977. 480 с.
2. Группен К. Детекторы элементарных частиц / К. Группен. Новосибирск: Сиб. хронограф, 1999. 408 с.
3. Акимов Ю. К. Фотонные методы регистрации излучений / Ю. К. Акимов. Дубна, 2006. 281 с.

Учебное издание

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО СЧЕТЧИКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Составители: **Штольц** Аэлита Константиновна
Чукин Андрей Владимирович
Денисова Ольга Владимировна
Медведев Анатолий Иванович

Редактор *О. В. Байгулова*

Подписано в печать 20.07.2010. Формат 60×84 1/16.
Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 1,16.
Уч.-изд. л. 0,9. Тираж 50 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел УрФУ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
rio@mail.ustu.ru

Ризография НИЧ УрФУ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19