

Ионизационная регистрация. К этому методу относится обнаружение рентгеновских лучей и измерение их интенсивностей при помощи следующих приборов:

- а) ионизационной камеры;
- б) пропорционального усилителя;
- в) пропорционального счетчика;
- г) счетчика Гейгера.

Действие этих детекторов основано на ионизации рентгеновским излучением атомов газа, наполняющего приборы. Перечисленные выше четыре ионизационных прибора могут иметь одинаковое устройство. Их наружный электрод - катод представляет собой полый цилиндр, чаще всего заземленный. Внутренний электрод - анод просто нить, располагаемая по оси катода. Различные типы ионизационных приборов отличаются лишь режимом питания, характером ионизационных токов и способом их регистрации. Эти приборы позволяют проводить измерения в интервале интенсивностей, в сотни раз превосходящем интервал интенсивности фотографического метода. И чувствительность этих приборов значительно выше чувствительности фотопленки.

Сцинтилляционный счетчик. Сцинтилляционный счетчик состоит из сцинтилляционного кристалла и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Квант рентгеновского излучения, попадая в кристалл и поглощаясь одним из его атомов, выбивает из него быстрый электрон. Последний, двигаясь в кристалле, ионизует и возбуждает его атомы на протяжении всего своего пути до почти полной потери энергии. Через очень короткий промежуток времени ($\sim 10^{-8}$ с) возбужденные атомы высвечиваются,

испуская фотоны видимого или ультрафиолетового света, которые затем попадают на фотокатод умножителя. Сцинтилляционный счетчик в настоящее время является одним из наиболее совершенных приборов для измерения слабых рентгеновских источников. Однако существенным недостатком сцинтилляционного счетчика является наличие значительного фона, влияние которого можно устранить лишь при измерении излучения с длиной волны не более $6-10 \text{ \AA}$. Поэтому в области мягких рентгеновских лучей сцинтилляционный счетчик уже неприменим.

Фотоэлектронный умножитель. Непосредственная регистрация излучения в области мягких рентгеновских лучей возможна специальными фотоэлектронными умножителями. Катод и диоды таких ФЭУ обладают незначительной работой выхода при достаточно высоком коэффициенте вторичной эмиссии. Они изготавливаются из металлов и сплавов, подвергнутых особой поверхностной термообработке - так называемой «активизации».

Узкий интервал регистрируемого рентгеновского излучения и значительный фон умножителя несколько ограничивают применение этого прибора для регистрации излучения.

Кристаллический счетчик. Для измерения рентгеновских лучей используют некоторые полупроводниковые монокристаллы, обнаруживающие при облучении их рентгеновскими лучами значительную фотопроводимость. При попадании в такой монокристалл отдельного кванта

рентгеновских лучей он поглощается одним из атомов с выбрасыванием быстрого фотоэлектрона. Движение последнего в решетке кристалла сопровождается возбуждением многих атомов, в результате чего внешние электроны их забрасываются в полосу проводимости. Происходит резкое кратковременное локальное изменение концентрации электронов в полосе проводимости и общее сопротивление кристалла меняется. Если на две противоположные стороны кристалла нанесены проводящие слои и на них подана разность потенциалов от источника постоянного напряжения, то в результате поглощения кванта ток через кристалл резко возрастет. Этот импульс (тока) может быть измерен после многократного усиления. Описанная система называется кристаллическим счетчиком. Существенным недостатком этого метода является то, что регистрация импульсов требует применения довольно-таки громоздкой и сложной электронной аппаратуры.

Фотоэлементы. Для измерения интенсивности достаточно сильного прямого пучка первичных рентгеновских лучей можно использовать фотоэлементы. Для этого их поверхность покрывают светосоставом, люминесцирующим под действием рентгеновских лучей.

Калориметрический метод. Этот метод может быть использован для измерения энергии рентгеновских лучей в абсолютных единицах. Рентгеновские лучи, попадая на специальное калориметрическое тело, нагревают его. По

степени нагревания этого тела можно судить о поглощенной энергии.

Два последних метода являются очень грубыми и их применение крайне ограничено.

2. Схема эксперимента.

Эксперимент в основном заключается в проверке соотношения (11). В работе используется установка, блок-схема которой представлена на рис. 4. Первичное излучение (4) от радиоактивного источника (1) через коллиматор (2) в свинцовой защите (3) попадает на исследуемый образец (5). Возникающее

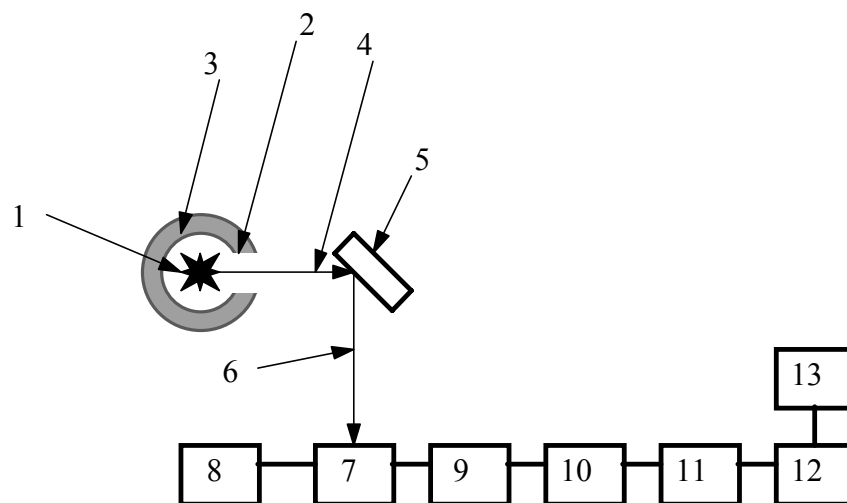


Рис.4. Блок-схема установки: 1-источник излучения; 2-коллиматор; 3-защита; 4-первичный пучок γ – квантов; 5-исследуемый образец; 6-характеристическое излучение; 7-детектор; 8-высоковольтный выпрямитель; 9-эмиттерный повторитель; 10-предусилитель; 11-амплитудный анализатор; 12-компьютер; 13-монитор.

при этом характеристическое рентгеновское излучение (6) попадает на детектор (7) (пропорциональный счетчик). Импульсы со счетчика через эмиттерный повторитель (9) и предусилитель (10) попадают на анализатор импульсов (11) и далее на компьютер (12) и монитор (13). Напряжение на счетчик подается от выпрямителя.

Источник γ – квантов и характеристического излучения. В данной работе используется характеристическое излучение, получаемое от исследуемого образца под действием падающих на него частиц. Для того, чтобы не возникло тормозного излучения, в качестве бомбардирующих частиц были выбраны γ -кванты. Процесс фотопоглощения возможен только в том случае, когда энергия γ -кванта $h\nu$ равна или больше энергии E_i ионизации одной из внутренних оболочек атома, и наиболее вероятен при $E_i \approx h\nu$. Кроме того, желательно, чтобы источник γ -квантов излучал кванты, энергия которых была бы достаточна для возбуждения внутренних оболочек атомов возможно большего числа элементов. Этим условиям удовлетворяет ^{109}Cd , излучающий γ -кванты энергии 22 кэВ. Кванты такой энергии могут возбудить K -серии у ряда широко распространенных элементов со средним атомным номером (Fe, Cu и др.) L -серии у тяжелых элементов (Pb, W и др.). В последнем случае энергии γ -квантов (22 кэВ) не хватает для возбуждения K -серии. Одновременно возникающие в первом случае линии L -серии (Fe, Cu и др.) не будут регистрироваться детектором, поскольку энергия квантов, соответствующих

линиям L -серии элементов со средними атомными номерами мала, меньше порога чувствительности пропорционального счетчика.

Детектор. В качестве детектора в лабораторной работе служит пропорциональный счетчик, который предназначен для регистрации и спектрального анализа рентгеновского излучения в диапазоне энергий 5-35 кэВ. В этом диапазоне лежат K -серии большого числа широко распространенных в природе элементов и линии L -серии тяжелых элементов. Однако таким счетчиком нельзя регистрировать рентгеновские кванты L -серии легких элементов. Питание пропорционального счетчика и регистрация импульсов с него требует сложной и громоздкой аппаратуры. Пропорциональный счетчик представляет собой, по существу, ионизационную камеру с газовым усилением и называется пропорциональным потому, что амплитуды возникающих во внешней цепи импульсов пропорциональны числу пар ионов, создаваемых частицами, пролетающими через рабочий объем счетчика. Пропорциональный счетчик выполнен в виде герметически замкнутой камеры с двумя электродами. Положительным электродом служит цилиндрический стержень или тонкая нить, а отрицательным электродом (катодом) - коаксиальный цилиндр. Ионизирующая частица, двигаясь в счетчике, создает на своем пути некоторое количество пар ионов N_0 , пропорциональное ее ионизирующей способности, длине пути, природе и давлению газа в счетчике. После прохождения частицы (рентгеновского кванта) через рабочий объем пропорционального счетчика в нем возникает вспышка несамостоятельного газового разряда. Образующееся в

разряде число ионов может во много раз превышать начальное число N_0 . Отношение полного числа образующихся ионов к N_0 называется коэффициентом газового усиления. При этом на сопротивлении R , включенном последовательно с анодом (рис. 5), возникают электрические импульсы с амплитудой $10^{-4} - 10^{-1}$ В, которые усиливаются усилителем и подаются на регистрирующее устройство (РУ). Так как разрешение используемого в задаче счетчика $\approx 20\%$, то с его помощью невозможно разрешить отдельные линии K -серии. Поэтому **в лабораторной работе линии $K_{\alpha 1}$, $K_{\alpha 2}$, $K_{\beta 1}$, $K_{\beta 2}$ и другие не разрешаются и регистрируются как одна линия K -серии.** Но поскольку в K -серии наиболее интенсивными являются линии $K_{\alpha 1}$ и $K_{\alpha 2}$ (на них приходится более 80% излучения серии), то в лабораторной работе фактически регистрируются только эти линии серии. Из соотношения (5) следует, что постоянные A и σ в формуле (11) для линий $K_{\alpha 1}$ и $K_{\alpha 2}$ примерно одинаковы. Поэтому даже в условиях, когда в опыте линии $K_{\alpha 1}$ и $K_{\alpha 2}$ не разрешаются, можно экспериментально проверить справедливость соотношения (11) для этих линий.

В L -серии $L_{\alpha 1}$ и $L_{\alpha 2}$ линии расположены очень близко друг к другу, а линии $L_{\beta 1}$, $L_{\beta 3}$, $L_{\beta 4}$ для элементов с $Z > 40$ группируются около $L_{\beta 1}$. Каждая группа линий $L_{\alpha 12}$ и $L_{\beta 134}$ обладают своими, приблизительно одинаковыми для линий в

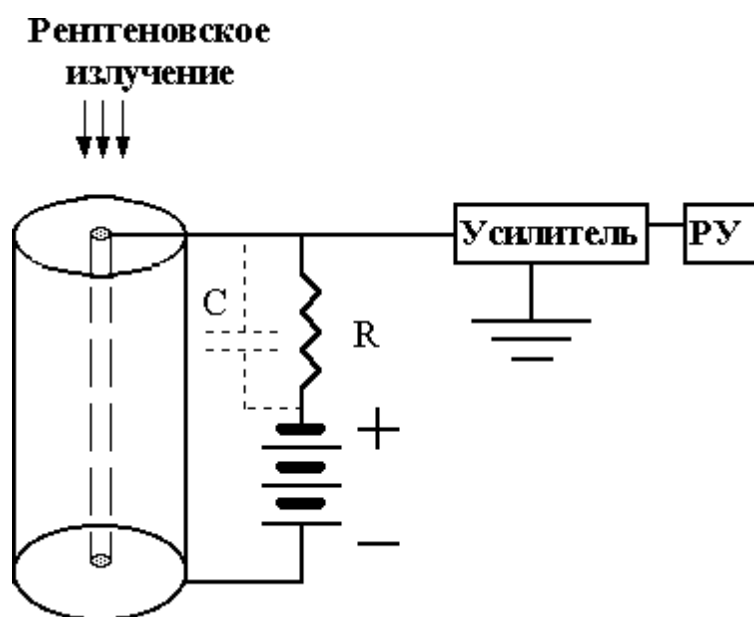


Рис. 5. Схема пропорционального счетчика.

группе, постоянными A (см. ф-лу (11)) и σ . На эти линии приходится более 80% излучения L -серии, причем из них наиболее интенсивными являются $L_{\alpha 1}$ и $L_{\beta 1}$ (более 60% излучения серии). Кванты $L_{\alpha 1}$ и $L_{\beta 1}$ линий для тяжелых элементов отличаются друг от друга на 20% (см.[2]). Поэтому эти линии (точнее, группы линий $L_{\alpha 12}$ и $L_{\beta 134}$) для тяжелых элементов разрешаются применяемым в лабораторной работе пропорциональным счетчиком. Для питания пропорционального счетчика используется высоковольтный выпрямитель.

Регистрирующее устройство. Регистрирующее устройство состоит из электронного устройства, представляющего собой амплитудный дискриминатор в виде 10-разрядного АЦП, обеспечивающего разбивку спектра на 1024 канала (емкость

каждого канала $\sim 2^{16}$), компьютера и монитора. Таким образом, данное электронное устройство обеспечивает:

- а) преобразование импульсов тока ФЭУ в импульсы напряжения, достаточные для срабатывания амплитудного анализатора;
- б) автоматический отбор импульсов, принадлежащих интервалу амплитуд $V_n \div V_{n+1}$ для каждого канала (в случае нахождения дифференциального спектра).

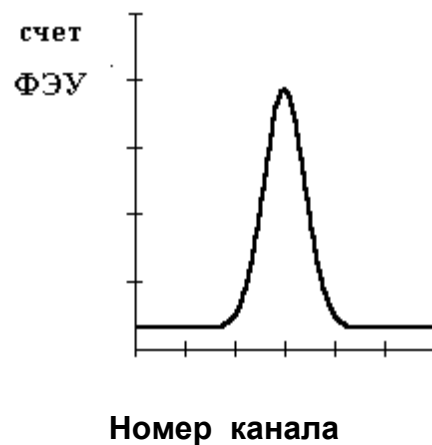


Рис. 6. Дифференциальный спектр импульсов ^{109}Cd .

Камера. Для удобства эксплуатации и по соображениям техники безопасности радиоактивный источник, исследуемые образцы, счетчик и эмиттерный повторитель помещены в специальной камере (см. рис. 7).

Камера изготовлена из дюралюминия и имеет двойные стенки и дно, внутри которых помещен свинцовый лист толщиной в 3 мм. Сверху камера закрыта свинцовым стеклом. Радиоактивный источник помещен в свинцовый цилиндрический контейнер с коллиматором на боковой поверхности. Рядом с контейнером расположены облучаемые образцы и счетчик.

Контейнер и счетчик могут одновременно вращаться и имеют три фиксированных положения. В первом положении излучение от источника через диафрагму попадает на входное окно счетчика. Во втором - коллиматор и входное окно счетчика повернуты к исследуемому образцу. В третьем положении коллиматор закрыт. Исследуемые образцы укреплены по два на каждой из боковых сторон шестигранной призмы. Призма перемещается вдоль контейнера с источником и вращается вокруг своей оси, давая возможность облучить любой из укрепленных на ней образцов. Вращение контейнера с источником и счетчика, а также перемещение и поворот призмы осуществляется ручками, расположенными снаружи камеры.

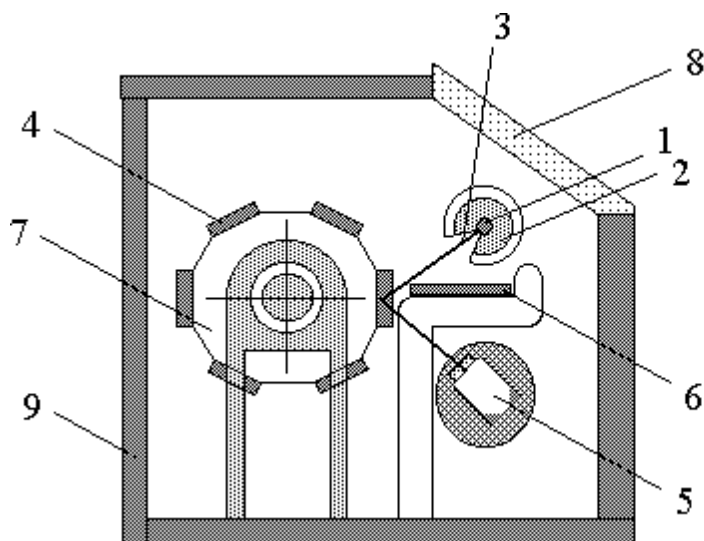


Рис. 7. Камера: 1-источник γ -квантов; 2-контейнер; 3-отверстие в контейнере; 4-образец; 5-счетчик; 6-диафрагма; 7-шестигранная призма; 8-свинцовое стекло; 9-свинцовый лист.

3. Постановка задачи.

В данной лабораторной работе студент должен сделать следующее:

1. Снять дифференциальный спектр прямого пучка γ -квантов, испускаемых радиоактивным источником ^{109}Cd , при попадании их на детектор. Этот спектр используется для градуировки аппаратуры.

2. Снять дифференциальные спектры характеристического рентгеновского излучения, возникающие при попадании пучка γ -квантов от ^{109}Cd на предназначенные для исследования образцы. С их помощью по установленному градуировочному значению определить энергии рентгеновских квантов характеристического излучения.

3. Рассчитать по найденным значениям энергии рентгеновских характеристических квантов λ_i для различных элементов и сравнить свои данные с результатами, полученными по формуле (10).

4. Ошибки эксперимента.

Ошибки при экспериментальном определении значений длин волн характеристического излучения складываются из следующих:

а) среднестатистической относительной ошибки, обусловленной случайным характером радиоактивного распада ядра; она равна $\sqrt{1/N}$, где N - число импульсов данной амплитуды, т.е. она может быть сделана сколь угодно малой;

б) ошибок за счет погрешностей в работе электронной аппаратуры; они обычно малы,

в) ошибки, связанной с недостаточной разрешающей способностью детектора и электронной аппаратуры (в результате чего не разрешаются в отдельности K_α , K_β , K_γ линии);

г) ошибки, вносимой нестабильностью работы пропорционального счетчика.

5. Порядок выполнения работы.

В настоящей задаче при регистрации спектра используется компьютер, поэтому перед началом работы на установке необходимо ознакомиться с функциональным назначением его клавишей (см. Приложение).

1. Включить тумблер и кнопки «сеть» всех приборов. Дать приборам прогреться в течение 5-10 мин.

2. Затем включить тумблер «высокое напряжение» на высоковольтном выпрямителе и поставить его переключатель «напряжение выхода» в положение «вкл.».

3. Направить на пропорциональный счетчик прямой поток γ -квантов от источника ^{109}Cd . Для этого рычаг «прямой поток-отраженный поток-закрыто» на боковой поверхности камеры установить в положение «прямой поток».

4. Снять дифференциальный спектр ^{109}Cd (рис.7).

5. Направить на образцы поток γ -квантов от источника ^{109}Cd . Для этого ручку «прямой поток-отраженный поток-закрыто» на

боковой поверхности камеры установить в положение «отраженный поток». При этом пропорциональный счетчик автоматически ориентируется на поток характеристического излучения от образца.

6. Установить исследуемый образец под пучок γ -квантов от источника ^{109}Cd . Для этого:

-ручкой, расположенной на боковой поверхности камеры, повернуть шестигранную призму с образцами в положение, указанное на лицевой панели камеры;

-рычаг, расположенный на лицевой панели камеры и передвигающий шестигранную призму с образцами, совместить с той колонкой таблицы на панели камеры, где есть обозначение исследуемого образца.

7. Снять дифференциальный спектр характеристического излучения исследуемого образца, при этом более тщательно определить положение максимума кривой.

8. Снять дифференциальный спектр характеристического излучения для остальных исследуемых образцов (время экспозиции для образцов указано в паспорте установки).

9. После окончания работы рычаг «прямой поток-отраженный поток-закрыто», расположенный на лицевой панели камеры, поставить в положение «закрыто» для того, чтобы предотвратить попадание γ -квантов на пропорциональный счетчик.

ЗАДАНИЕ.

1. Снять дифференциальный спектр прямого потока γ -квантов ^{109}Cd , т.е. зависимость скорости счета (числа

импульсов в 1 секунду).от амплитуды импульсов (от номера канала).

2.По дифференциальному спектру ^{109}Cd проградуировать установку. Для этого при помощи графика спектра ^{109}Cd определить номер канала, соответствующий максимальной интенсивности сигнала (максимальное число импульсов в секунду), приходящийся на энергию γ -квантов в 22 кэВ. Второй опорной градуировочной точкой является ноль, соответствующий первому каналу.

3.Снять дифференциальные спектры характеристического излучения Fe, Ni, Cu, Ga, Ge, Se, Br, Sr, Mo, Ta, W, Hg, Pb, Bi. По дифференциальным спектрам элементов с помощью градуировочных данных определить энергию квантов, рассчитать длины волн наблюдаемого характеристического рентгеновского излучения этих элементов.

4.Зная на основании данных эксперимента длины волн λ_i линий K -серии Fe, Ni, Cu, Ga, Ge, Se, Br, Sr, Mo и линий L -серии Ta,W, Hg, Pb, Bi, построить диаграммы Мозли. Из диаграмм определить постоянные экранирования для линий K - и L -серий и сравнить их с табличными значениями.

5.Объяснить наблюдаемую в эксперименте дублетную структуру спектра характеристического излучения у тяжелых элементов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1

Программа находится в режиме изображения спектра. Слева вверху указаны данные, относящиеся к двум маркерам. Справа

вверху изображены номера каналов и время их работы с момента «старта» по текущий момент. Слева над спектром дано текущее значение «интеграла», т.е. суммы импульсов по всем каналам с 1-го маркера по 2-ой. Справ указан номер изображаемого канала.

В режиме изображения спектра программа реагирует на следующие клавиши:

Shift Tab	-изменение номера изображаемого канала.
Tab	-изменение номера действующего маркера, который может перемещаться вдоль экрана.
PDn	-продолжить
Esc	-выход из Help

2

(← →)	-изменение вдвое масштабов по горизонтали и
(↓↑)	вертикали.
PUp, PDn	-сдвиг окна изображения.
Ctrl→, Ctrl←	-изменение координаты действующего маркера.
INS	-изменение режима изображения спектра (гистограмма или точки).
ENTER	-вход в главное меню. В верхней части экрана в центре появится главное меню.
ESC	-нормальный выход из программы. При этом все параметры изображения спектра сохраняются в файле с расширением. CFG
PDn	-продолжить
Esc	-выход из Help

3

Главное меню. В программе действуют следующие клавиши:

стрелки ↑↓	-изменение команды. Название той команды, которая будет выполняться, закрашено красным.	
ESC	-выход в режим изображения спектра.	
ENTER	-выполнение заданной команды:	
«Старт»	-запуск действующих каналов. При этом обнуляются и запускаются соответствующие счетчики времени, фон номера канала в правом	
	верхнем углу экрана - белый. Программа переходит в режим изображения спектра.	
«Очистить»	-очистение экрана. Программа переходит в режим изображения спектра.	
«Канал»	-программа переходит в меню изменения номера канала и <u>времени экспозиции набора спектра.</u>	
«Вн.устр.»	-программа переходит в меню внешних устройств для сохранения спектров.	
PDn	-продолжить	Esc -выход из Help

5

Меню «Канал» позволяет выбрать один из каналов (или все), на который далее будут действовать функции «Старт», «Стоп» и «Очистить».

В программе используются клавиши:

стрелки ↑↓ -выбор номера канала.

ESC	-вход в главное меню.
ENTER	-изменение времени экспозиции набора.
	Esc -выход из
Help	

ЛИТЕРАТУРА

1. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. - М.: Гос.изд-во физ.мат.литер., 1962, гл.6, §13.
2. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. - М.: Гос.изд-во тех. теор.литер., 1953, гл. 4-7.
3. Соколов А.А., Лоскутов Ю.М., Тернов И.М. Квантовая механика. - М.: Учпедгиз, 1962, §26.