

НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



ФЯЛ-02

**УМК «НЕКОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ ФОТОНОВ (γ -
КВАНТОВ) НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ. ЭФФЕКТ
КОМПТОНА»
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ВЕРСИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С ПК.**

Тула, 2015 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

УМК «НЕКОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЙЯНИЕ ФОТОНОВ (Г-КВАНТОВ) НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ. ЭФФЕКТ КОМПТОНА»

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ВЕРСИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С ПК.

Цель работы: Экспериментальное подтверждение закономерностей эффекта Комптона и определение комптоновской длины волны электрона с помощью учебно-моделирующего комплекса.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Введение.

Эффект Комптона относится к числу классических экспериментов, выявивших корпускулярную природу электромагнитного излучения и в итоге подтвердивших корпускулярно-волновую двойственность. Классическая электродинамика после работ Максвелла, казалось, однозначно утвердила волновую природу электромагнитного излучения. Огромное число опытов по дифракции и интерференции света неоспоримо подтверждали это. Однако, после открытия рентгеновских лучей и продвижения исследований в область их более жесткого излучения, возникла принципиально новая ситуация, указавшая на то, что свет высокой частоты (рентген, γ -кванты) обладает явно выраженными свойствами частиц (корпускул).

В 1922 - 1923 г. американский физик А.Комптон, исследуя рассеяние рентгеновского излучения на легких элементах, установил, что рассеянные лучи, наряду с излучением первоначальной длины волны λ_0 , содержит также лучи с большей длиной волны λ . Разность $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ зависела только от угла рассеяния φ между направлением рассеянного рентгеновского излучения и первоначальным пучком, не испытанным рассеяния.

Следуя рассмотрению классической электродинамикой процесса взаимодействия электромагнитной волны с веществом, необходимо изучить поведение электрона в волне. Последний, если он вначале был свободен и покоился, начинает колебаться в ней и, как электрически заряженная частица, сам испускает электромагнитное излучение. Если бы этот электрический диполь оставался на месте, то он излучал бы волну с той же частотой, что и падающая волна. Однако световое давление заставляет двигаться с ускорением свободный электрон. В этом случае внешнее излучение как бы догоняет движущийся электрон и относительно него рассеивающая волна имеет большую длину волны. Расчет доплеровского смещения для этого случая приводит к формуле

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{E\lambda_0}{mc^2}(1 - \cos\varphi) \quad (1.1)$$

где E - энергия, полученная от падающего света, m - масса электрона, c - скорость света, а φ - угол, под которым находится наблюдатель относительно направления первоначального пучка света.

Как видно, эта формула содержит зависимость от угла φ , наблюдаемого в опыте Комптона.

Однако, в отличие от полученной в эксперименте величины $\Delta\lambda$, являющейся постоянной величиной для данного угла φ , в формуле (1.1), она должна постоянно возрастать со временем, поскольку частица получает энергию, и кроме того должна зависеть от интенсивности падающей волны, поскольку от нее зависит сила давления, а следовательно и скорость электрона.

Указанные противоречия были разрешены Комптоном, когда он в модели взаимодействия рассмотрел электромагнитное излучение (в данном случае жесткое рентгеновское излучение) как поток частиц (фотонов или квантов излучения), обладающих импульсом $\vec{p} = \hbar \cdot \vec{k}$.

Краткая теория эффекта Комптона.

Эффектом Комптона называется упругое рассеяние коротковолнового электромагнитного излучения (рентгеновского и γ -излучения) на свободных (или слабосвязанных) электронах вещества, сопровождающееся увеличением длин волн.

Комптон-эффект наблюдается при рассеянии излучения малых длин волн – рентгеновского и γ -излучения. Эксперимент, проведенный Комптоном, состоял в следующем. Рентгеновское излучение от рентгеновской трубки (РТ) падало на мишень – рассеивающее вещество (РВ), а рассеянные под углом φ кванты регистрировались с помощью рентгеновского спектрометра (РС) (1.1). ПИ – исходная (прямая) траектория излучения, РИ – луч рассеянного излучения.

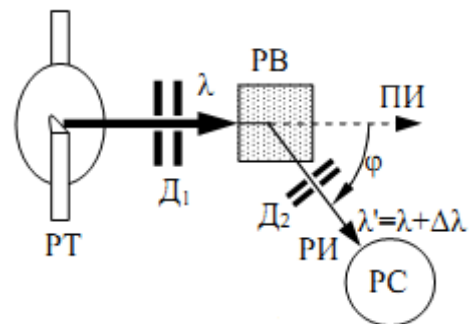


Рис. 1.1

Наблюдаемое изменение длины волны $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ не зависит от длины волны падающего света, а определяется лишь φ углом между направлением падающего пучка и направлением рассеянного излучения.

Графики интенсивностей падающего и рассеянного излучения изображены на рис. 1.2. С увеличением угла φ обычно интенсивность несмещенной компоненты падает, а смещенной – растет.

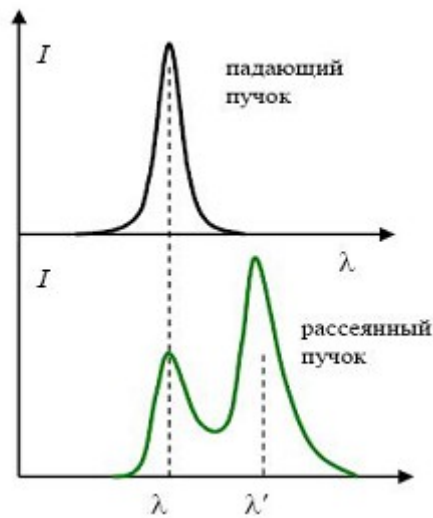


Рис. 1.2

В квантовой теории эффект Комптона выглядит как упругое столкновение двух частиц – налетающего фотона и покоящегося электрона. В каждом акте столкновения соблюдаются законы сохранения энергии и импульса. Фотон передает часть своей энергии и импульса электрону и изменяет направление движения – рассеивается. Уменьшение энергии фотона и означает увеличение длины волны рассеиваемого света. Электрон, получивший от фотона энергию и импульс, приходит в движение – испытывает отдачу. Направления движения частиц после столкновения и их энергии определяются законами сохранения энергии и импульса. Т. к. при рассеянии фотонов высокой энергии электрон отдачи может приобрести значительную скорость, необходимо использовать релятивистские соотношения.

В атомах легких элементов энергия связи электрона (энергия ионизации) порядка 10 эВ, что примерно в тысячу раз меньше энергии рентгеновского фотона ($\hbar\omega \approx 10$ кЭв). Поэтому электроны мишени в этих опытах можно считать практически свободными.

Рассмотрим упругое столкновение двух частиц – налетающего фотона, обладающего импульсом $p_\phi = \frac{h\nu}{c}$ и энергией $E_\phi = h\nu$, с покоящимся свободным электроном (энергия покоя электрона $E_e = mc^2$, где m – масса покоя электрона, см рис. 1.3).

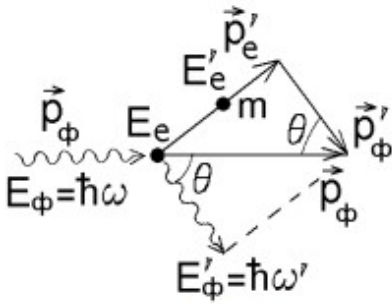


Рис. 1.3

Перейдем в систему отсчета, в которой частица с массой m , на которой происходит рассеяние, покоилась перед столкновением с фотоном (рис. 1.3). $E_e = mc^2$, $\vec{p}_e = 0$ и E'_e , p'_e – энергия и импульс частицы до и после столкновения. $E_\phi = \hbar\omega$, $p_\phi = E_\phi/c$ и $E'_\phi = \hbar\omega'$, $p'_\phi = E'_\phi/c$ – энергия и импульс фотона до и после столкновения.

Выразим из законов сохранения энергии и импульса

$$E_e + E_\phi = E'_e + E'_\phi; \quad \vec{p}_\phi = \vec{p}'_e + \vec{p}'_\phi$$

величины энергии и импульса частицы после соударения:

$$E'_e = mc^2 + \hbar\omega - \hbar\omega';$$

$$(p'_e)^2 = (p_\phi)^2 + (p'_\phi)^2 - 2p_\phi p'_\phi \cos \theta = \left(\frac{\hbar\omega}{c}\right)^2 + \left(\frac{\hbar\omega'}{c}\right)^2 - 2\frac{\hbar\omega\hbar\omega'}{c^2} \cos \theta$$

(использовали теорему косинусов для треугольника с углом θ , образованного импульсами частиц на рис. 1.3).

Подставляя эти величины в формулу связи релятивистского импульса и энергии частицы $(E'_e)^2 = (cp'_e)^2 + m^2c^4$, получим после сокращения одинаковых слагаемых уравнение

$$2\hbar(\omega - \omega')mc^2 = 2\hbar\omega\hbar\omega'(1 - \cos \theta).$$

Разделив обе части этого уравнения на $\hbar mc \omega \omega' / \pi$ и учитывая связь частоты и длины волны $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$, $\lambda' = \frac{2\pi c}{\omega'}$, приходим к формуле Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \Lambda(1 - \cos \theta), \quad (2.1)$$

где величина $\Lambda = \frac{2\pi\hbar}{mc}$ называется комптоновской длиной волны частицы с массой m .

Формула (2.1) выражает суть эффекта Комптона: при рассеянии на угол θ длина волны фотона возрастает на величину $\Delta\lambda$. Энергия рассеянного фотона, соответственно, оказывается меньше энергии фотона, падающего на частицу: $\hbar\omega' < \hbar\omega$.

На рис. 1.4. приведены результаты исследования рассеяния монохроматических рентгеновских лучей (линия K_{α} молибдена) на графите. Кривая а) характеризует первичное излучение. Остальные кривые относятся к разным углам рассеяния θ , значения которых указаны на рисунке. По оси ординат отложена интенсивность излучения, по оси абсцисс — величина, пропорциональная длине волны. Р — несмещенная компонента, М — смещенная компонента.

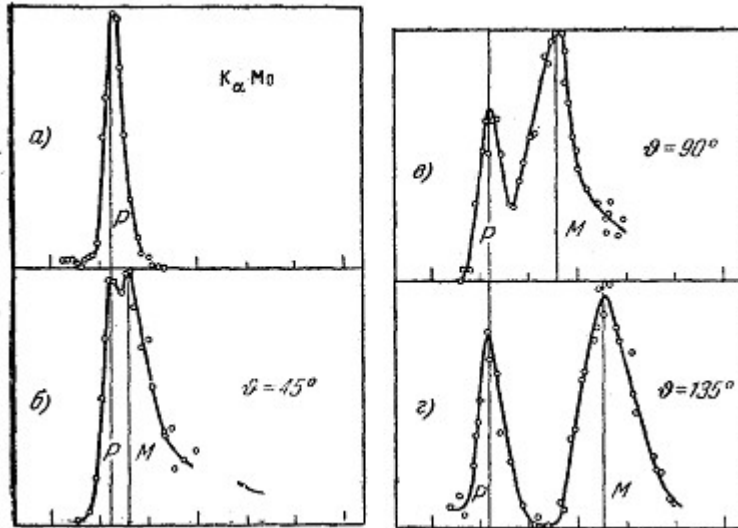


Рис. 1.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Методика эксперимента.

Учебный Моделирующий Комплекс (УМК) – это действующая модель сложной экспериментальной (научной) установки. В ней отсутствует радиоактивный источник излучения, а все результаты эксперимента содержатся в базе данных микропроцессора, полученной из экспериментов на научных установках.

На рис. 2.1 изображена блок-схема установки УМК «Эффект Комптона».

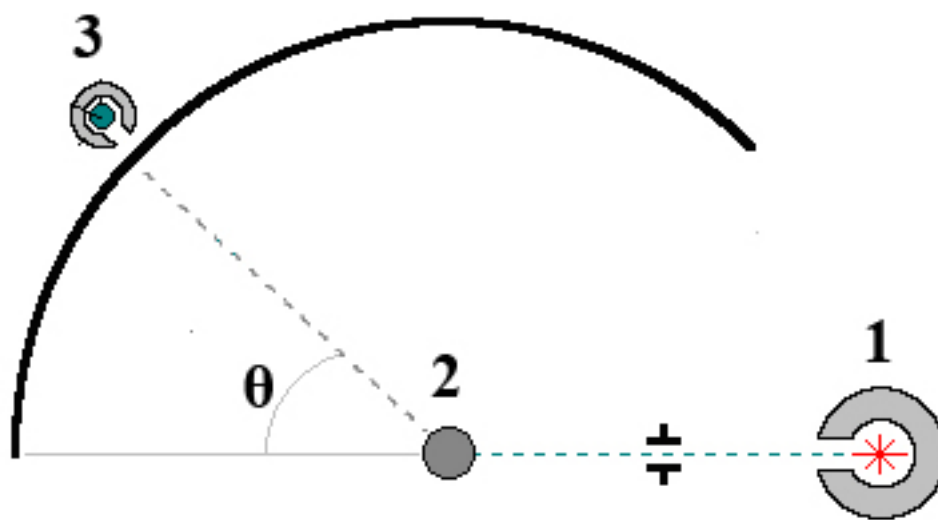


Рис. 2.1. Блок-схема учебной установки 1 – контейнер с радиоактивным источником ^{137}Cs (модель) с коллиматором; 2 – рассеиватель – стильбен либо похожее по свойствам органическое вещество, 3 – набор из 10 датчиков для каждого угла рассеяния (0° — 90°), моделирующих сцинтилляционный γ -спектрометр, расположенных по радиусу вокруг рассеивателя 2.

Изотоп ^{137}Cs подбирается из расчета, чтобы энергия γ -квантов, равная 662 кэВ, лежала в таком диапазоне, в котором другими эффектами взаимодействия γ -квантов в веществе рассеивателя (фотоионизация, рождение электронно-позитронных пар) можно было бы пренебречь.

Рассеиватель представляет собой органическое вещество стильбен, состоящее из атомов углерода и водорода. Поскольку энергия связи внешних электронов этих атомов мала (потенциал ионизации водорода 13,6 эВ и первый потенциал ионизации углерода 11,6 эВ), то при энергии γ -квантов 0,6-0,7 МэВ внешние электроны можно рассматривать как свободные. Эффект рассеяния на всем атоме (когерентное рассеяние) при данных условиях эксперимента будет мал и несмещенная компонента в рассеянных лучах практически не будет наблюдаться.

На одинаковом расстоянии по радиусу от рассеивателя расположена система датчиков — «регистраторов» гамма-квантов, моделирующих работу гамма-спектрометра для каждого из угла рассеяния в диапазоне 0° — 90° .

Сцинтилляционный спектрометр работает следующим образом. Гамма-квант, попадая в специально подобранное вещество сцинтиллятора (NaI), эффективно поглощается, производя фотоионизацию. Поскольку энергия γ -кванта значительно превышает энергию ионизации электрона $\hbar\omega \gg E_{\text{ион элек.}}$, то практически вся энергия γ -кванта переходит в кинетическую энергию ионизированного электрона, которая, в свою очередь, целиком затрачивается на оптические переходы атомов и тормозное излучение электрона в веществе сцинтиллятора. Свет люминисцентных вспышек попадает на фотокатод ФЭУ и усиливается. При этом оказывается, что **амплитуда электрического импульса** с фотоумножителя **пропорциональна энергии** первичного γ -кванта. Таким образом это устройство одновременно определяет и энергию и число γ -квантов, попавших в сцинтиллятор, тем самым давая возможность найти распределение γ -квантов по энергии, т.е. спектр.

Зарегистрированные и усиленные электрические импульсы специальным устройством - амплитудным анализатором - распределяются по каналам таким образом, что в данный канал попадают электрические импульсы только определенной амплитуды (энергии). На рис. 2.2 представлены спектры таких импульсов. По оси абсцисс отложены каналы (условные единицы, их можно перевести в длину волны либо энергию излучения), а по оси ординат - число импульсов, попавших в данный канал.

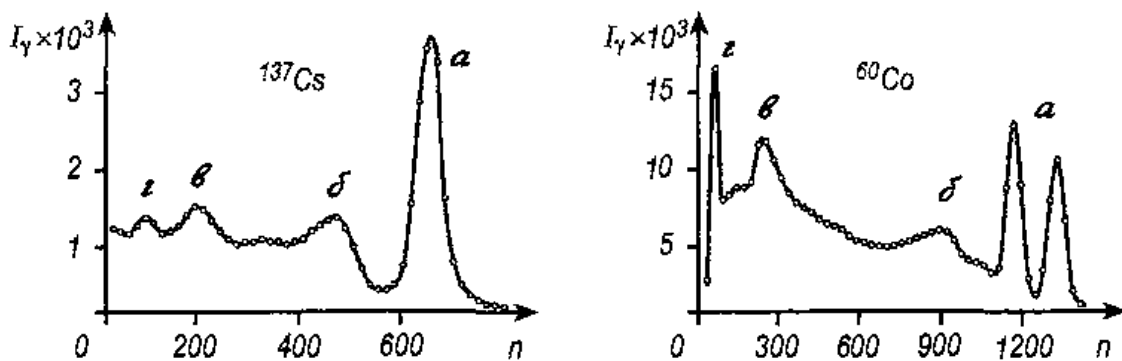


Рис. 2.2 Спектры γ -лучей препаратов ^{137}Cs ($E_\gamma=662$ кэВ) и ^{60}Co ($E_{\gamma_1}=1173$ кэВ и $E_{\gamma_2}=1332$ кэВ), измеренные с кристаллами NaI(Tl)

Наиболее выделяется в этих спектрах пик А (у препарата ^{60}Co этот пик расщеплен, т.к. изотоп испускает гамма-кванты с энергиями 1173,2 кэВ и 1332,5 кэВ). Это - так называемый "пик полного поглощения" или фотопик. Фиксируя этот пик, мы определяем максимальную энергию γ -кванта.

Непрерывное распределение импульсов меньших амплитуд создается электронами отдачи при комптоновском рассеянии γ -квантов в сцинтилляторе с последующим вылетом γ -квантов из кристалла (б). Согласно теории комптон-эффекта распределение электронов отдачи характеризуется возрастанием их числа вблизи граничной энергии. Это соответствует широкому максимуму в

комптоновском распределении. Происхождение другого максимума («пик обратного рассеяния») связано с регистрацией γ -квантов, рассеянных на большие углы (150° — 180°) в окружающей защите (в). Из теории комптон-эффекта следует, что положение этого пика слабо зависит от энергии падающих γ -квантов и для γ -излучения радиоактивных источников до 3000 кэВ положение пика обратного рассеяния соответствует энергии электронов отдачи 70-400 кэВ.

При применении кристаллов NaJ и CsJ в области энергий падающих γ -квантов ниже 300 кэВ в спектре бывает виден *пик вылета*, связанный с выходом рентгеновских квантов йода из кристалла. Рентгеновские кванты йода образуются в результате появления вакансии на *K-оболочке* атома йода при фотопоглощении. Если рентгеновские кванты образовались вблизи поверхности кристалла, имеется определенная вероятность их вылета из кристалла и вспышка, соответствующая полному поглощению, ослабляется. Положение пика вылета соответствует энергии $E_\gamma - E_K$ ($E_K = 28,5$ кэВ — энергия K-рентгеновских лучей йода).

При энергии γ -лучей больше 1022 кэВ в аппаратурном спектре появляются дополнительные пики, соответствующие вылету из кристалла одну или двух аннигиляционных γ -квантов (при $E_\gamma > 1022$ кэВ начинается процесс образования пар электрон-позитрон). Эти пики соответствуют энергиям: $E_1 = E_\gamma - 511$ кэВ и $E_2 = E_\gamma - 1022$ кэВ.

Как правило, радиоактивные источники окружены защитой, чаще всего свинцовой. При попадании γ -излучения или заряженных частиц, на материал защиты в ней возникает характеристическое рентгеновское излучение. Для свинца энергия этого излучения составляет 75 кэВ (K-рентгеновское излучение). Если не принято специальных мер, в аппаратурном спектре появляется пик, соответствующий этой энергии (γ).

В спектре ^{60}Co присутствует так называемый *пик суммы*, "Энергия" пика суммы соответствует суммарной энергии испускаемых гамма-квантов, одновременно попавших в сцинтиллятор ($E_{\text{сумм}} = 1173$ кэВ + 1332 кэВ = 2505 кэВ). Интенсивность пика суммы заметно слабее интенсивности пиков полного поглощения.

Таким образом спектр, получаемый на сцинтилляционном спектрометре имеет довольно сложный характер, так как на него накладываются кривые таких процессов, как пик обратного комптоновского рассеяния, пики рентгеновского излучения, которые образуются при выбивании γ -квантами электронов из внутренних оболочек атомов свинца защиты или при многократном рассеянии в ней γ -квантов. Все эти пики малоинтенсивны и положение их определяется с небольшой точностью.

Вид спектра, получаемый от источника ^{137}Cs с энергиями наиболее характерных пиков, получаемый при отсутствии рассеяния (в положении детектора $\theta=0$), приведен на рис. 2.3.

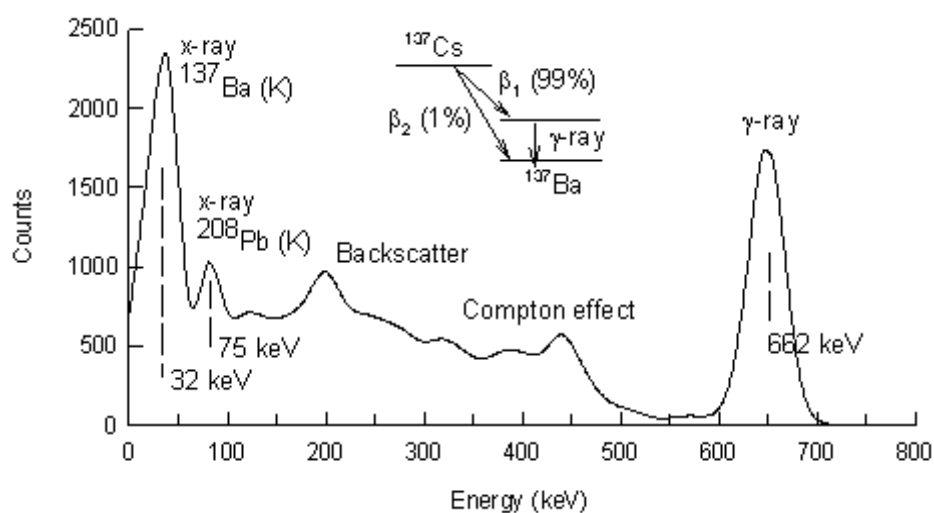


Рис. 2.3

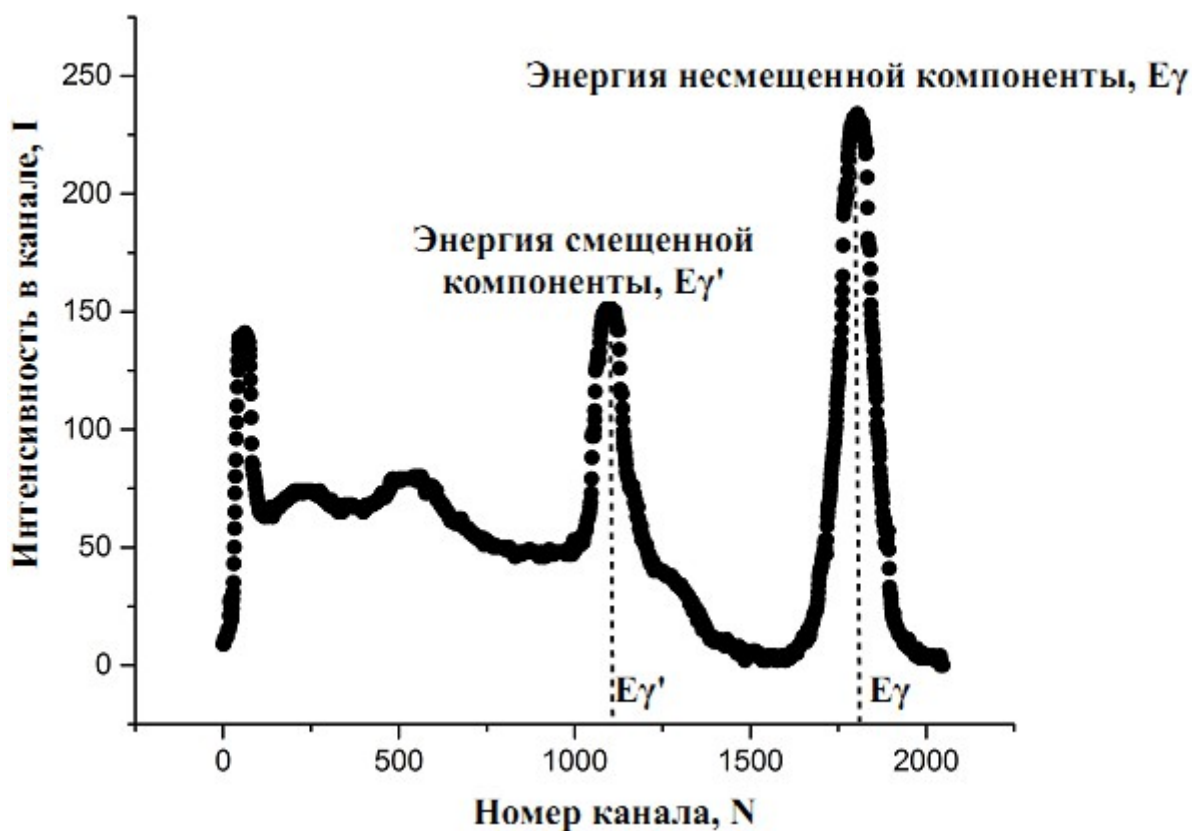


Рис. 2.4

На рис. 2.4 приведен спектр рассеяния, получаемый на УМК ФЯЛ-02 от препарата ^{137}Cs в положении детектора 60° . Показаны пики, соответствующие энергиям несмещенной E_γ и смещенной $E_{\gamma'}$ компонент.

Приборы и оборудование.

Лабораторная работа по изучению эффекта Комптона выполняется на УМК ФЯЛ-02 (рис. 3.1), имеющим сопряжение с ПК, но допускающим ручной (автономный) режим работы. Все параметры эксперимента, установленные и измеренные значения параметров выводятся в соответствующие окна программы - оболочки для работы с установкой – LabVisual 2.5 и дублируются на ЖКД LCD дисплее учебной установки. Лабораторный комплекс может работать как в сопряжении с ПК, так и в ручном режиме работы, для которого не требуется наличие компьютера.

Соединение прибора с ПЭВМ для версии LabVisual-3 осуществляется через LAN (Ethernet) порт ПК (через сетевую карту).

Учебная установка состоит из двух блоков: 1) ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ и 2) БЛОКА ДАТЧИКОВ С ОБРАЗЦОМ, соединяемых между собой специальным кабелем из комплекта. ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ может подключаться к ПЭВМ через LAN (Ethernet) порт ПК (через сетевую карту).

По радиусу на одинаковом расстоянии от «РАССЕИВАТЕЛЯ» расположены детекторы, моделирующие работу гамма-спектрометра. На их поверхности имеются светодиоды, фиксирующие «включение» того или иного датчика, что соответствует готовности к измерениям в соответствующем угле рассеяния.



Рис. 3.1

Программная часть.

Подготовка к работе.

Учебная установка может работать как в автономном (ручном) режиме, без использования ПК, так и в автоматизированном режиме с персональным компьютером.

Для сопряжения работы учебной установки с персональным компьютером используется специально разработанный протокол передачи данных LabVisual, разделяющий байты управления и байты данных. Для визуализации принятых данных служит программа-оболочка LabVisual для ФЯЛ-02. Установка подключается к LAN (Ethernet) порту ПК (сетевая карта) компьютера при помощи специального соединительного кабеля.

Программа LabVisual может успешно работать как на компьютерах под управлением ОС Windows так и на компьютерах под управлением ОС Linux. При этом достаточно установить драйвера используемой сетевой карты.

В комплекте с лабораторной установкой поставляется ПЭВМ с предустановленным дистрибутивом среды LabVisual 3 и установленным и настроенным программным обеспечением (всё предустановленное программное обеспечение поставляется согласно лицензии GNU GPL v2 и является свободным и бесплатным, если не оговорено обратное).

После загрузки программной среды (~ 1 мин.) автоматически запустится программа оболочка LabVisual для работы с экспериментальной установкой. Если программа не запустилась автоматически, на виртуальном рабочем столе следует дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на ярлык LabVisual. При этом должно открыться главное окно программы-оболочки LabVisual для работы с экспериментальной установкой (рис. 4.1).

Программа LabVisual имеет интуитивно понятный, дружелюбный пользовательский интерфейс, однако при первом включении необходимо выполнить первичную настройку на стороне ПК.

Для установки соединения ПЭВМ с лабораторной установкой через порт LAN (сетевая карта ПК) необходимо предварительно выполнить процедуру настройки сетевой карты компьютера. IP адрес устройства (учебной установки) фиксирован **192.168.0.222**, поэтому для соединения ПК и учебного прибора через LAN необходимо зайти в настройки сетевой карты ПК: ПУСК-НАСТРОЙКА-ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ-СЕТЕВЫЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ, выбрать ПОДКЛЮЧЕНИЕ ПО ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ, и, нажав правую кнопку мыши, войти в меню "СВОЙСТВА".

Выбрать "Протокол версии Интернета 4 TCP/IPv4 и нажать "СВОЙСТВА". В свойствах сетевого соединения установить:

- 1) Использовать следующий IP адрес: 192.168.0.2 (либо любой другой из подсети 192.168.0.xx)
- 2) Маска подсети 255.255.255.0

После предварительной настройки можно подключать прибор к LAN порту ПЭВМ.

Для проверки соединения включите прибор, настройте параметры сетевой карты, подключите прибор к LAN порту ПК и выполните на ПК команду ping 192.168.0.222.

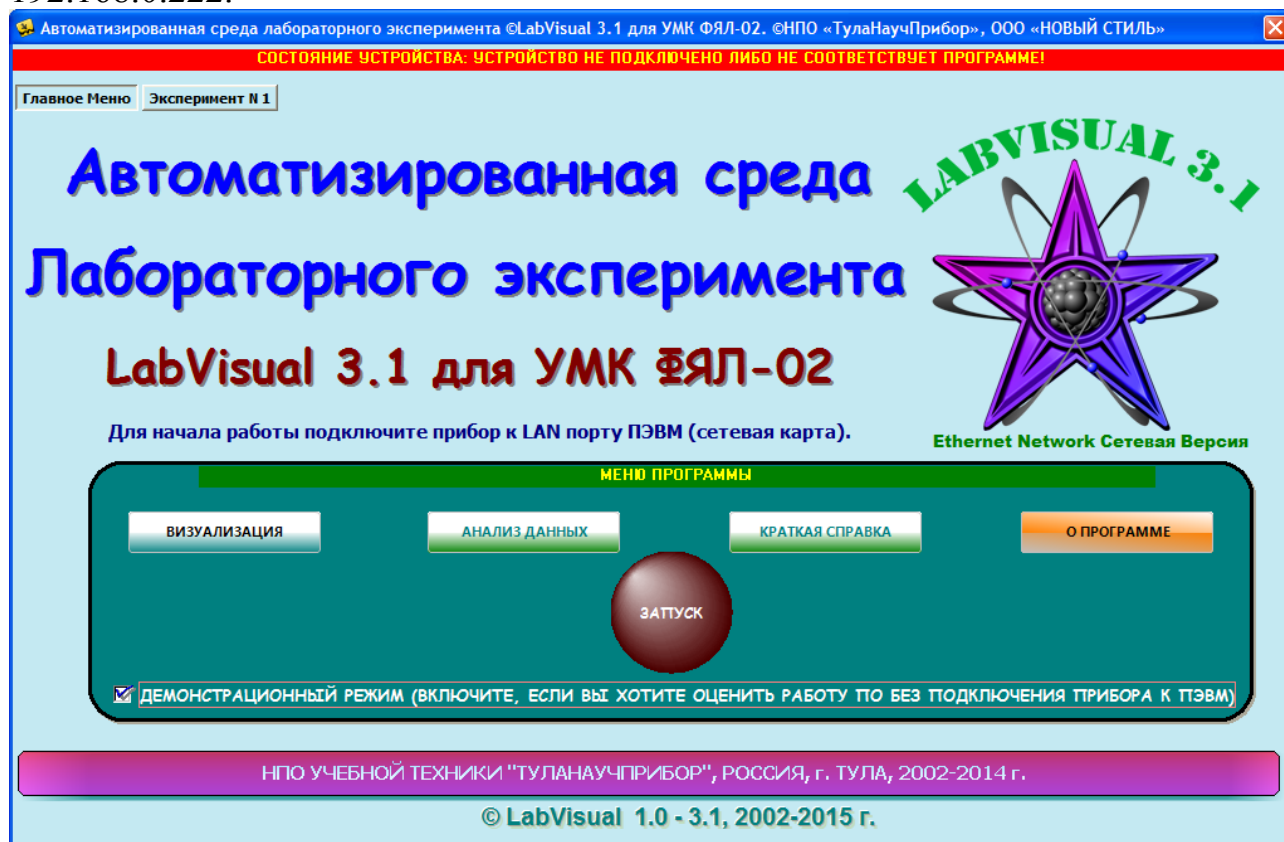


Рис. 4.1. Главное окно программы-оболочки LabVisual для работы с экспериментальной установкой ФЯЛ-02.

После соединения прибора с LAN – портом ПК и выбора опыта, при запущенной среде LabVisual, необходимая подпрограмма для измерения должна запускаться автоматически рис. 4.2.

Для ознакомления с программой в отсутствии учебной установки, можно воспользоваться демонстрационным режимом. Для этого в главном окне программы, при отключенном от ПК приборе, установите галочку «Демонстрационный режим». Появится меню, содержащие наименования экспериментов и позволяющее переключаться между ними для ознакомления с интерфейсом программы — оболочки.

Для выхода их демонстрационного режима, в главном окне программы снимите соответствующий флажок.

Демонстрационный режим доступен только в том случае, если прибор отключен от LAN – порта ПК, в противном случае переключение режимов блокируется.

После запуска программы автоматически включается рабочий режим и ожидается подключение к LAN-порту ПЭВМ.

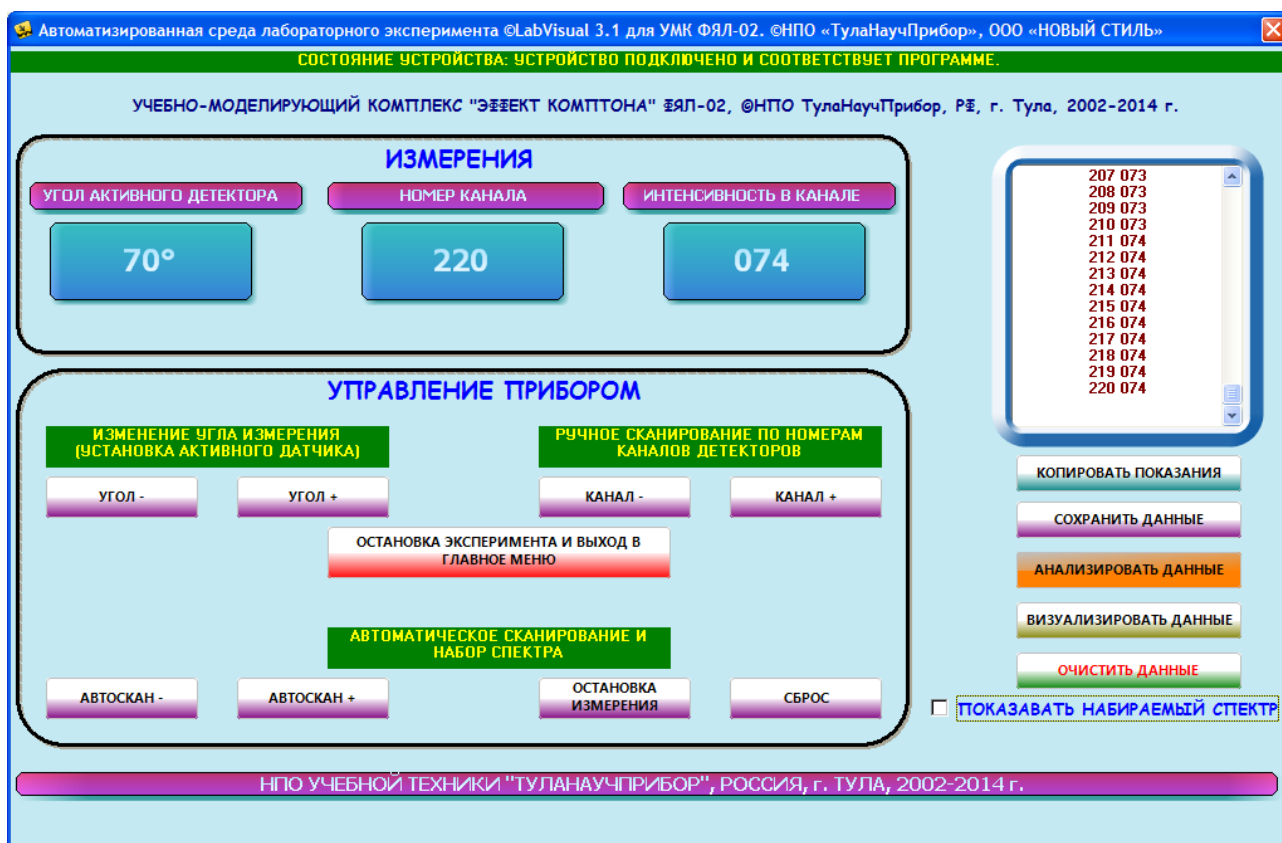


Рис. 4.2. Подпрограмма получения спектров рассеяния.

Для установки активного детектора, расположенного под желаемым углом рассеяния (детектора, с которого будут сниматься показания) следует пользоваться кнопка УГОЛ- и УГОЛ+ программа-оболочки. Для автоматического набора спектра с данного детектора следует нажать кнопку АВТОСКАН+ (для движения в сторону возрастания каналов) либо АВТОСКАН- (для движения в сторону убывания каналов).

Набор спектра осуществляется в диапазоне 0 — 2048 каналов с разрешением, достаточным для визуализации пиков комптоновского рассеяния, начиная со средних углов (30°). Набор спектра осуществляется в течение около 3 минут для каждого угла рассеяния.

Для прерывания измерения (остановки набора спектра) служит кнопка «ОСТАНОВКА ИЗМЕРЕНИЯ». Для сброса номера канала к начальному значению можно воспользоваться кнопкой «СБРОС».

Для полной остановки эксперимента и выхода в главное меню служит кнопка «ОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА». Вернуться к проведению опыта можно из главного меню нажатием кнопки «ЗАПУСК».

При наборе спектра полученные данные автоматически переносятся в текстовое поле программы с возможностью дальнейшего сохранения кнопкой «СОХРАНИТЬ ДАННЫЕ». Можно также установить галочку на пункте «ПОКАЗЫВАТЬ НАБИРАЕМЫЙ СПЕКТР», тогда набираемый спектр от источника будет отображаться в on-line режиме в соответствующем окне

программы в виде графика.

Для визуализации и последующего анализа полученных спектров в программном комплексе LabVisual служат два компонента – упрощенный компонент LabVisual Data Analyzer рис. 4.3, вызываемый кнопкой «ВИЗУАЛИЗИРОВАТЬ ДАННЫЕ» и компонент с функциями сложного математического анализа для подробного анализа экспериментальных данных и построения графиков LabVisual «MagicPlot» рис. 4.4, вызываемый нажатием кнопки «АНАЛИЗИРОВАТЬ».

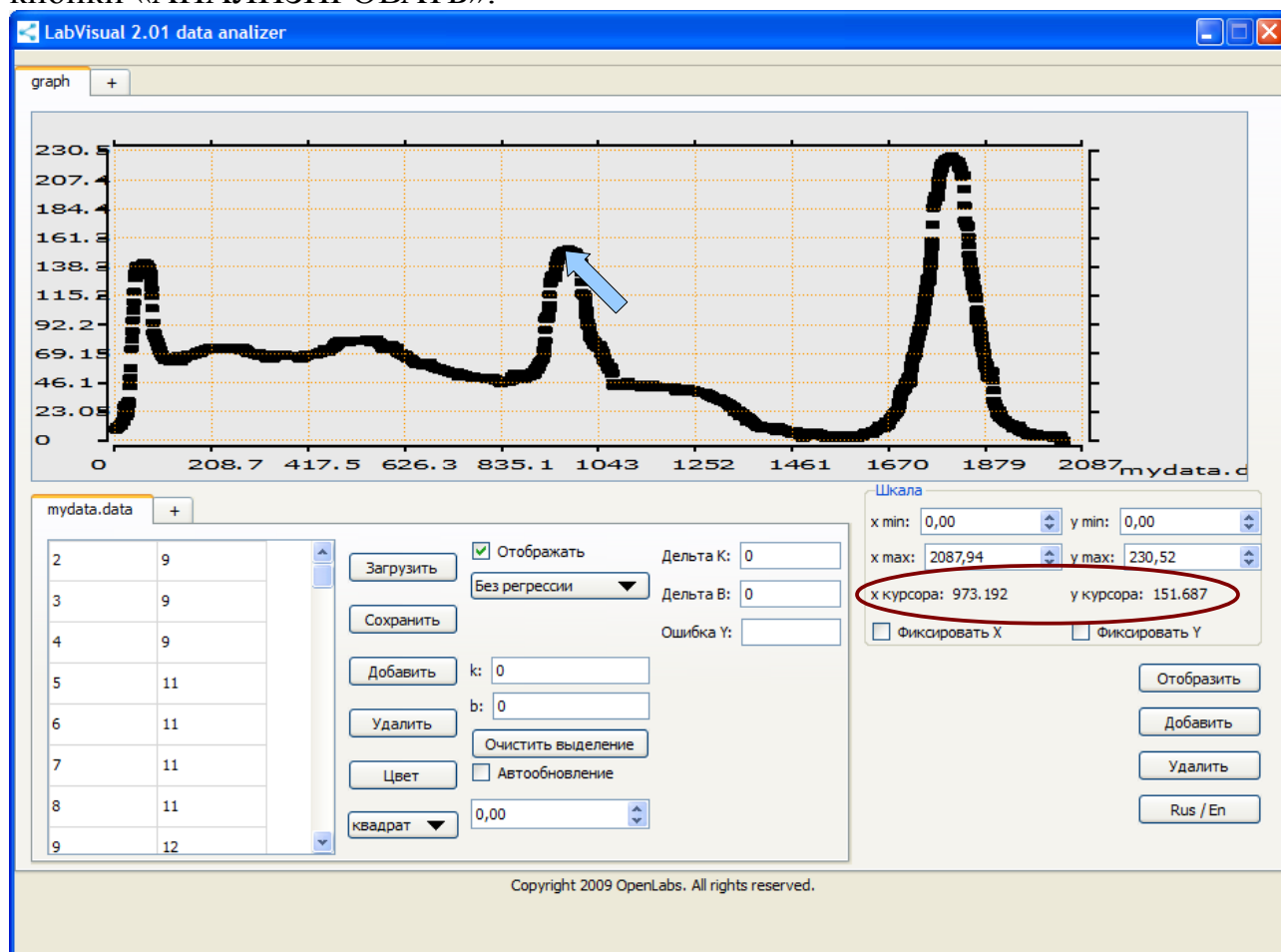


Рис.4.3. Пример работы компонента LabVisual Data Analyzer.

Для загрузки какого-либо файла данных в LabVisual Data Analyzer служит кнопка «ЗАГРУЗИТЬ», для отображения загруженных данных, а также после каких-либо внесенных изменений в график (цвет, символы для отображения и т. д.) следует нажимать кнопку «ОТОБРАЗИТЬ» для перерисовки. Открыв несколько вкладок данных нажатием на вкладку «+» и, загрузив в каждую вкладку данные из сохраненных файлов-данных, можно отобразить на рабочем поле семейство характеристик. Вкладка «+» для графиков служит для создания нескольких рабочих областей графиков, в каждую из которых также можно загрузить данные.

При этом положение центра пика достаточно точно можно найти подводя

курсор мыши к вершине необходимого пика и считывая показания в области X курсора, Y курсора (область выделена на рис. 4.3). В наборе данных, показанных на рис. 4.3 координаты центра пика: X курсора=N канала=973, Y курсора=I интенсивность = 152.

ВНИМАНИЕ! Для работы компонента MagicPlot для анализа данных необходимо установить последнюю версию исполняющей среды Java 7 (Runtime библиотеки виртуальной машины Java).

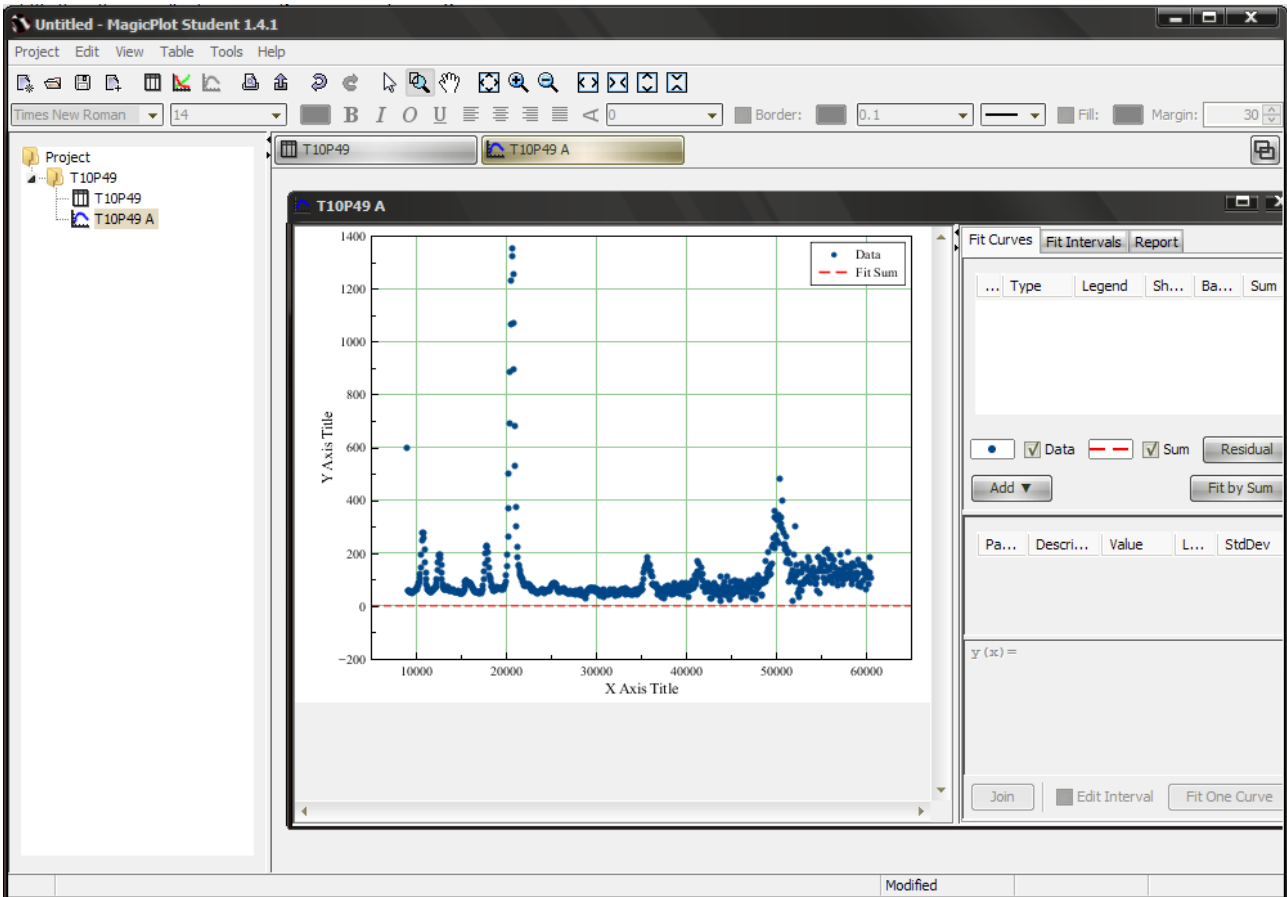


Рис. 4.4. Пример работы компонент MagicPlot для анализа данных, получаемых на лабораторной установке.

Для импорта данных в подпрограмму — анализатор следует воспользоваться командой Project — Import Text Table. При этом откроется стандартное диалоговое окно выбора файла.

Подготовка к эксперименту.

1. Перед включением установки в сеть проверить целостность всех соединительных сигнальных и сетевых проводов. Все работы по подключению комплекса к компьютеру следует выполнять только при отключенных от сети приборах. Разобраться с принципиальными блок-схемами опытов, в назначении кнопок, переключателей и ручек прибора.
2. Соединить монитор с системным блоком ПЭВМ, подключить клавиатуру и мышь к системному блоку используя стандартные провода для подключения. Подключить системный блок ПЭВМ и монитор к сети ~220 В.
3. Загрузить операционную систему согласно стандартным процедурам загрузки.
4. При необходимости, настроить компьютер для работы с учебной установкой согласно пункту «ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ».
5. Запустить программу LabVisual для работы с учебной установкой для данного эксперимента пользуясь ярлыком на рабочем столе либо другим способом, указанным лаборантом.

**Порядок выполнения.
Проведение эксперимента.**

1. Перед включением следует проверить целостность всех соединительных и сетевых проводов устройств.
2. Включите лабораторный модуль в сеть ~ 220 В. Подключите ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ к БЛОКУ ДАТЧИКОВ прилагаемым кабелем 15 PIN (аналог VGA с полной независимой распайкой всех контактов). Подключите прибор к LAN порту ПК (сетевой карте), если вы планируете работу в автоматизированном режиме.
3. Перевести переключатель СЕТЬ на панели установки в положение «ВКЛ» при этом должен загореться соответствующий сигнальный светодиод. Дать прибору прогреться не менее 2-3 минут.
4. Установить с помощью программа-оболочки или с помощью кнопок управления на учебной установке угол рассеяния 0° для получения спектра ^{137}Cs с одной только несмещенной компонентой.
5. Нажать кнопку АВТОСКАН+ в программе либо сканировать спектр вручную с помощью кнопок управления на учебной установке. Ожидать набора спектра в течение порядка 3 минут.
6. Сохранить спектр для последующего анализа кнопкой «СОХРАНИТЬ ДАННЫЕ» и дать осмысленное название файла (например 0_gradusov.data).
7. Вызвать компонент LabVisual Data Analyzer рис. 4.3 кнопкой «ВИЗУАЛИЗИРОВАТЬ ДАННЫЕ» и загрузить файл данных в программу (кнопки ЗАГРУЗИТЬ — ОТОБРАЗИТЬ).
8. Сняв спектр в этом положении, определяют номер канала пика полного поглощения. Пик полного поглощения ^{137}Cs соответствует 662 кЭВ рис. 2.2, 2.3. Для этого следует подвести курсор мыши к вершине данного пика и считать показания X (номер канала N) и Y (интенсивность в канале) курсора рис. 4.3.
9. Определив номер канала $N_{\text{погл}}$, соответствующего максимуму пика полного поглощения, находим калибровочный коэффициент K (энергия квантов в кЭВ, приходящихся на канал, в предположении, что характеристика прибора линейна):

$$K = \frac{662}{N_{\text{погл}}} \text{ [кЭВ/канал] } \quad (3.1)$$

10. Теперь для перевода значения из номера канала в энергию E_γ γ -квантов следует использовать простую формулу:

$$E_\gamma = K \cdot N \quad (3.2)$$

где N – номер канала, K — найденный калибровочный коэффициент прибора.

11. Следует отметить, что в области углов рассеяния до 20° аппаратные причины (разрешение прибора, геометрия опыта) обуславливают большую ошибку эксперимента (невозможно точно определить центр комптоновского пика рассеяния), поэтому обычно начинать измерения спектров рассеяния следует с углов $\theta > 20^\circ$.
12. Провести набор спектров рассеянных γ -квантов под углами: $\theta = 30^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ (минимально рекомендуемое количество экспериментов).
13. Для каждого полученного спектра рассчитать энергию несмещенной компоненты E_γ и длину волны несмещенной компоненты λ (естественно, следует ожидать, что при любом угле рассеяния энергия и длина волны несмещенной компоненты не изменяются, поэтому следует взять среднее значение по результатам нескольких опытов). Рассчитать энергию E_γ' и длину волны λ' смещенной компоненты в спектрах рассеяния рис. 2.4 для каждого угла. При расчетах центр пика определять как номер канала N аналогично п. 8, затем перевести найденное значение N центра пика в энергию в кЭв согласно формуле (3.2).
14. Все рассчитанные значения занести в таблицу 1

Таблица 1

Угол рассеяния, θ°	Номер канала N несмещенной компоненты (центр пика полного поглощения)	Энергия $E_\gamma = KN$ несмещенной компоненты, кЭв	Длина волны несмещенной компоненты $\lambda = \frac{2\pi\hbar c}{E_\gamma}$, м	Номер канала N' смещенной компоненты	Энергия $E_\gamma' = KN'$ смещенной компоненты, кЭв	Длина волны несмещенной компоненты $\lambda = \frac{2\pi\hbar c}{E_\gamma}$, м	Комптоновский сдвиг из эксперимента, $\lambda' - \lambda$, м
30							
40							
60							

$\langle E_\gamma \rangle = \dots$ кЭв, $\langle \lambda \rangle = \dots$ м, $\langle \Delta \rangle = \dots$ м

15. Для каждого угла рассеяния рассчитать комптоновский сдвиг из найденных экспериментальных спектров и определить комптоновскую длину волны электрона по формуле (2.1). По результатам всех экспериментов вычислить среднее значение $\langle \Delta \rangle$ и сравнить его с табличными данными $\Delta_{\text{табл.}} = 0,00242 \text{ нм} = 2,426 \cdot 10^{-12} \text{ м}$.
16. По окончании работы отключить установку от сети, поставив переключатель «СЕТЬ» в положение «ВЫКЛ» и вынуть сетевую вилку из розетки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется эффектом Комптона?
2. Опишите процесс взаимодействия падающего рентгеновского фотона и свободного электрона вещества.
3. Напишите формулу для эффекта Комптона.
4. Напишите формулу для комптоновской длины волны электрона. Чему она равна?
5. Какие законы сохранения выполняются при взаимодействии фотона с электроном в эффекте Комптона?
6. Напишите закон сохранения энергии и импульса для эффекта Комптона.
7. Чему равно максимальное изменение длины волны рассеянного фотона и когда оно наблюдается?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы: Учебное пособие для физич. спец. вузов. – 3-е изд. стер. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 256 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики в 4-х томах. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: КноРус, 2012. – Т.3. – 368 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, МФТИ, 2006. – Т.5. – 784 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. – 20-е изд., стер. – М.: Изд-во «Академия», 2014. – 560 с.
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики. – 9-е изд., стер. – М.: Изд-во «Академия», 2014. – 720 с.