

Обработка данных в Общем ядерном практикуме с помощью программы "Origin"

О. И. Василенко д.ф.-м.н, профессор
1952-2011

Олег Иванович мечтал об оформлении работы,
сдаваемой студентом в практикуме, подобно
научной статье

Московский государственный университет,

Физический факультет, кафедра Общей ядерной физики



Аннотация

Дано описание математической обработки данных измерений и форм представления результатов выполнения задач Общего ядерного практикума физического факультета МГУ с использованием программы Origin.

Содержание

1	Введение	1
2	Обработка данных в задаче № 6 "Определение эффективного сечения взаимодействия γ -квантов с веществом методом поглощения"	2
3	Обработка данных в задаче № 2 "Радиоактивность, альфа-распад, взаимодействие альфа-частиц с веществом"	3
3.1	Построение градуировочной кривой	3
3.2	Обработка данных измерений пробега α -частиц в воздухе	8
4	Обработка данных в задаче № 7 и №15 "Деление ядер"	12

1 Введение

Умение обрабатывать данные становится обязательным элементом культуры современного человека. Этому способствуют всеобщая компьютеризация, рост образованности населения, практика учёта и финансового анализа и др. Не последнюю роль играет быстрое распространение цифровых фото- и видео-данных, позволяющих редактировать изображения. Естественно, что наибольшие потребности и возможности для работы с данными существуют в науке. Создано большое количество программ, облегчающих получение информации из первичных данных, для чего используются их визуализация и математическая обработка. Некоторые из этих программ узко специализированы, другие, такие как Origin, носят более универсальный характер. Разнообразие сочетается с общностью многих базовых элементов, обусловленной единством используемых математических методов обработки и ставших стандартными требованиями к возможностям и интерфейсу

программ. Освоение пользователем конкретной программы сопровождается усвоением и общих принципов обработки данных, что позволяет при необходимости со сравнительно меньшими усилиями научиться работе с другими типами данных и программами их анализа.

Целью Общего ядерного практикума физического факультета МГУ является знакомство студентов с разными типами радиоактивности, искусственной радиоактивностью, делением ядер, взаимодействием частиц с веществом, свойствами элементарных частиц и др. Физическое разнообразие представленных задач сопровождается относительным единством в методах обработки получаемых экспериментальных данных.

Данное руководство не является учебным пособием по Origin. Его задача состоит в

- указании последовательности действий, с помощью которых можно правильно обработать данные;
- приведении примеров оформления результатов.

2 Обработка данных в задаче № 6 "Определение эффективного сечения взаимодействия γ -квантов с веществом методом поглощения"

1. Создайте проект. В столбец $A(X)$ окна данных *Data1* введите данные о толщине поглотителя, в столбец $B(Y)$ — соответствующие значения интенсивности потока γ -квантов.
2. Выделите столбец $B(Y)$, щёлкнув на $B(Y)$ правой кнопкой. Командой *Column* → *Set Column Values* откройте окно, позволяющее изменять данные. Сотрите информацию в нижнем поле. В выпадающем списке данных выберите $col(B)$. Вычтите фон: $col(B) - фон$ и нажмите *OK*.
3. Командой *Column* → *Add New Columns* добавьте новый столбец $C(Y)$. Выделите новый столбец и преобразуйте его в столбец данных статистических ошибок $ln(col(B))$ с помощью команды *Column* → *Set Column Values*. В списке доступных функций преобразования данных, выберите $sqrt()$ и нажмите *Add Function*, в списке данных выберите $col(B)$ и нажмите *Add Column*. Переместите курсор в начало формулы, добавьте $1/$, чтобы получилось $1/sqrt(col(B))$, и нажмите *OK*.
4. Снова выделите столбец $C(Y)$ и командой *Column* → *Set as Y Error* пометьте его как *Y Error*.
5. Выделите столбец $B(Y)$, щёлкнув на $B(Y)$ правой кнопкой. Преобразуйте интенсивность в её логарифм командой *Column* → *Set Column Values*. В появившемся окне *Set Column Values* сотрите информацию в нижнем поле. Нажав на стрелку, откройте выпадающий список доступных функций преобразования данных, выберите $ln()$ и нажмите *Add Function*. В выпадающем списке данных выберите $col(B)$ и нажмите *Add Column*. В нижнем поле появится закон преобразования данных столбца $B(Y)$ — $ln(col(B))$. Нажмите *OK* и данные столбца $B(Y)$ в окне данных *Data1* преобразуются в их логарифмы.

Теперь постройте график зависимости интенсивности γ -квантов от толщины поглотителя в полулогарифмическом масштабе. Способ построения описан в разделе "Обработка данных в задаче № 2. Построение градуировочной кривой". Выберите все данные окна *Data1* и командой *Plot* \rightarrow *Scatter* постройте график из экспериментальных точек.

Проведите через эти точки прямую командой *Analysis* \rightarrow *Fit Linear*. В окне *Results Log* в нижней части экрана (окно можно вызвать командой *View* \rightarrow *Results Log*) показаны параметры прямой, включая тангенс угла наклона B и его ошибку. B есть линейный коэффициент поглощения τ (см. описание задачи № 6), зная который можно найти эффективное сечение ослабления σ γ -излучения и далее энергию γ -квантов.

3 Обработка данных в задаче № 2 "Радиоактивность, альфа-распад, взаимодействие альфа-частиц с веществом"

3.1 Построение градуировочной кривой

1. **Добавление столбцов.** Первоначально, при создании нового проекта, поля листа данных (Worksheet) содержат два столбца: $A(X)$ и $B(Y)$, описывающих зависимость X от Y . Дополнительные столбцы добавляются командой *Column* \rightarrow *Add New Columns*.
Добавьте ещё пять столбцов, появится таблица, содержащая семь столбцов с именами $A(X), B(Y), C(Y), D(Y), E(Y), F(Y), G(Y)$.
2. **Разметка столбцов и внесение данных.**
 - (a) Внесите в столбец $A(X)$ данные о номерах каналов, соответствующих максимумам пиков от известных источников.
 - (b) Внесите в столбец $B(Y)$ данные об ошибках определения пиков (полуширины пиков на амплитудных спектрах). Обозначьте командой *Column* \rightarrow *Set as X Error* столбец, как $X Error$, его заголовок изменится на $B(xEr\pm)$.
 - (c) Внесите в столбец $C(Y)$ данные об энергиях, соответствующих пикам.
 - (d) Обозначьте командой *Column* \rightarrow *Set as X* столбцы $D(Y)$ и $F(Y)$ как X . Названия столбцов изменятся на $D(X2), E(Y2), F(X3), G(Y3)$.
 - (e) Командой *Column* \rightarrow *Set Column Values* внесите в столбцы $D(X2)$ и $E(X2)$ значения $col(A) + col(B)$ и $col(A) - col(B)$ соответственно, а в столбцы $E(Y2)$ и $G(Y3)$ — значения $col(C)$. Последнее можно также сделать копированием и вставкой данных столбца $C(Y)$.
3. **Выбор данных.** Для построения графика необходимо выбрать соответствующие данные. Для выбора всех данных поместите курсор в правый нижний угол белого прямоугольника, расположенного вверху слева над номерами строк (курсор приобретет вид стрелки, направленной вниз вправо), и щёлкните левой кнопкой. Для отмены выбора щёлкните в верхнем левом углу прямоугольника. Можно также щёлкнуть на названии последнего выбираемого столбца при нажатой клавише Shift или отметить нужные данные при

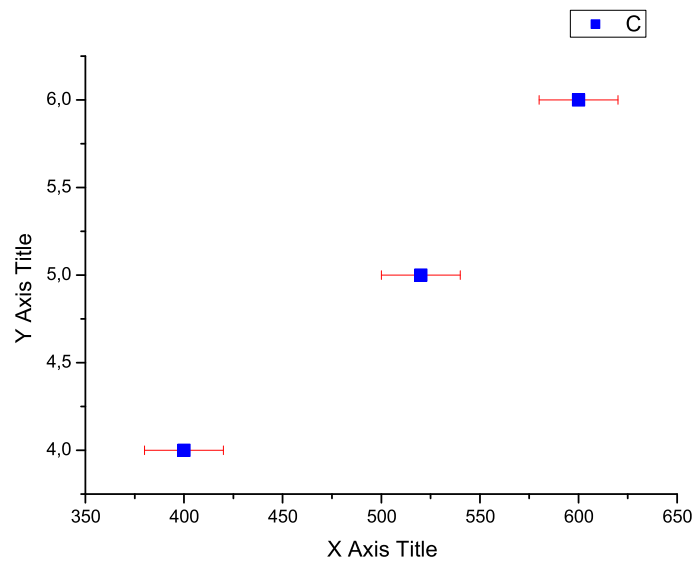


Рис. 1: Зависимость между номерами каналов и энергией для известных источников. Экспериментальные точки с ошибками, равными полуширинам пиков амплитудного спектра*.

нажатой левой кнопке. Выбор отдельных столбцов возможен при нажатой клавише Control.

4. **Построение графика.** Выберите столбцы $A(X)$, $B(xEr\pm)$, $C(Y)$. При выбранных данных график строится командой *Plot* → *PlotStyle*. Постройте график экспериментальных точек с ошибками (рис. 1) с помощью команды *Plot* → *Scatter*, которая также доступна из контекстного меню, вызываемого правым щелчком на выбранном листе данных .
5. **Построение области интерполяции.**

Добавление второго слоя графика. Добавьте в построенный график второй слой командой *Tools* → *Layer*. В окне *Layer* выберите символ графика с вертикальной левой и горизонтальной нижней осями и закройте окно. На графике вверху слева появится второй значёк слоя с цифрой 2. Значёк активного слоя имеет чёрный номер, неактивного — белый.

Синхронизация осей слоёв. Щёлкните на значке слоя 2 правой кнопкой и выберите *Layer Properties*. В открывшемся окне щёлкните слева на *Layer2* и потом справа на *Link Axes Scales*. Выберите *Link to Layer1*. В открывшихся опциях *X Axis Link* и *Y Axis Link* выберите *Straight (1 to 1)* и закройте окно.

Выбор данных и построение графика. Снова выберите слой 2, щёлкните на графике правой кнопкой и выберите *Layer Contents*. В появившемся окне *Layer2* в *Available Data* выберите *data1_e* и с помощью ⇒ скопируйте данные в *Layer Contents*. Аналогично поступите с данными *data1_g* и нажмите *OK*. На графике появятся границы области интерполяции, внутри которой с

* Олег Иванович как “махровый” теоретик, специалист по многомерным черным дырам и гафниевым бомбам, в этом месте, как нормальный человек, ошибается. Разрешение установки на положении пика сказывается лишь при малой статистике. Подробнее читайте: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/statistic/peack.htm>

заданной (выбором величин ошибок) вероятностью проходит градуировочная кривая (рис. 2). Области экстраполяции при необходимости можно построить с помощью инструмента *Line Tool* из *ToolBar*.

6. Параметры графика можно менять в окне **Plot Detail**, вызываемом командой *Format* → *Plot*, не закрывая окна (*Apply*). Окно **Plot Detail** можно также вызвать из контекстного меню, открываемого правым щелчком в области графика.
7. Оформление осей вызывается командами вида *Format* → *Axes* → *X Axis* или из контекстного меню, вызываемого правым щелчком на оси (*Axis*) или её названии (*Properties*). В окне **Axis** оси выбираются щелчком на них в разделе *Selection*.

Проверьте номера каналов, соответствующих пикам от неизвестных источников на их амплитудных спектрах. Если они выходят за пределы, показанные на построенном графике, увеличьте диапазон значений на осях (*Axis : Scale : From...To*). **Внимание!** Изменение масштабов на осях после проведения построения приведет к перемещению экспериментальных точек, в то время как остальные элементы графика останутся на своих местах.

8. **Построения для определения энергий неизвестных источников.** Отметьте на границах области ошибок градуировочной кривой диапазон номеров каналов (границы полуширин) для пиков неизвестных источников. Для этого выберите инструмент *Draw data* из *ToolBar*, нажав на кнопку с изображением точек, указатель мыши приобретёт крестообразный вид. Нажмите левую кнопку мыши, появится окно с информацией о координатах указателя. Переместите указатель в нужную позицию и нажмите *Enter*, позиция будет отмечена точкой.

Через отмеченные точки проведите вертикальные и горизонтальные линии до пересечения с координатными осями. Для этого в окне **Plot Detail** в списке элементов соответствующего слоя выберите данные *DrawN : A(X), B(Y)*, после чего слева выберите *Drop Lines* и отметьте пункты *Horisontal* и *Vertical*, далее выберите *Style Dash* и нажмите *Apply*. Для устранения символа точки выберите пункт *Symbol* и опцию *Size 0*.

9. Используйте инструмент *Screen Reader* из *ToolBar* для определения энергий с ошибками, соответствующих α -частицам неизвестных источников (рис. 3). График не должен содержать неиспользуемых участков градуировочной кривой, иначе рабочий участок будет слишком мелким. На рис. 3 правая область экстраполяции не используется и не показана.
10. Дополнительные текст, линии, стрелки и т.п. добавляются с использованием инструментов из *ToolBar*. Знак \pm в режиме текстового набора вводится командой $\backslash(177)$. Оформите кириллическим шрифтом заголовки и названия осей (*Format* → *Axis Titles* → *X Axis Title*). Частота меток на осях регулируется командой (*Format* → *Axis Tics Label : Scale : Major(Minor) Tics*) (рис. 3).

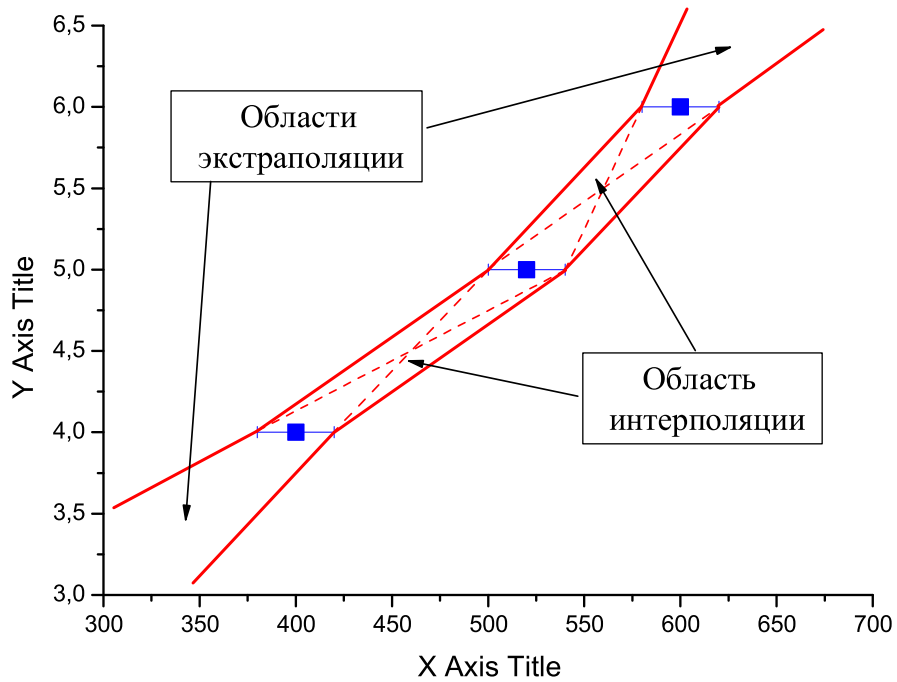


Рис. 2: Область, в пределах которой с вероятностью, заданной ошибками, может проходить градуировочная кривая. Стрелками указаны область интерполяции, расположенная между экспериментальными точками, в которой точность определения энергии по номеру канала максимальна, и области экстраполяции, расположенные вне опорных точек, в которых точность быстро уменьшается по мере удаления от последних. Для включения в график областей экстраполяции диапазон значений, отображаемый на осях, был увеличен.

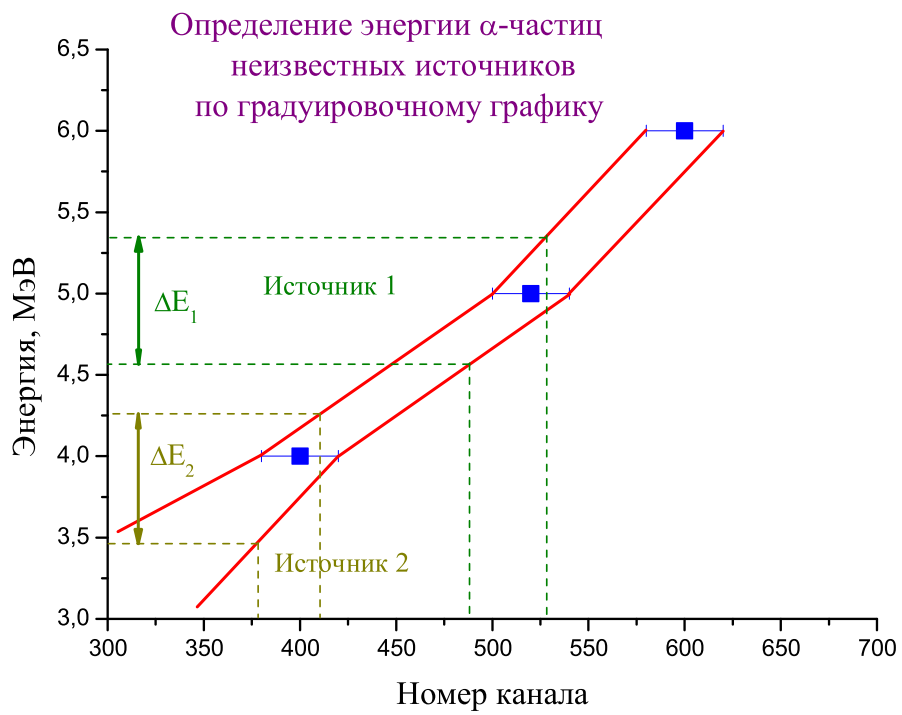


Рис. 3: Определение энергий α -частиц неизвестных источников.

3.2 Обработка данных измерений пробега α -частиц в воздухе

1. Создайте новый проект с листом данных, состоящим из трёх столбцов: $A(X)$ — расстояние между источником и детектором; $B(Y)$ — интенсивность потока α -частиц; $C(yEr\pm)$ — ошибка интенсивности.
2. Выделите все данные и постройте (*Plot* \rightarrow *Scatter*) график экспериментальных точек (рис. 4).

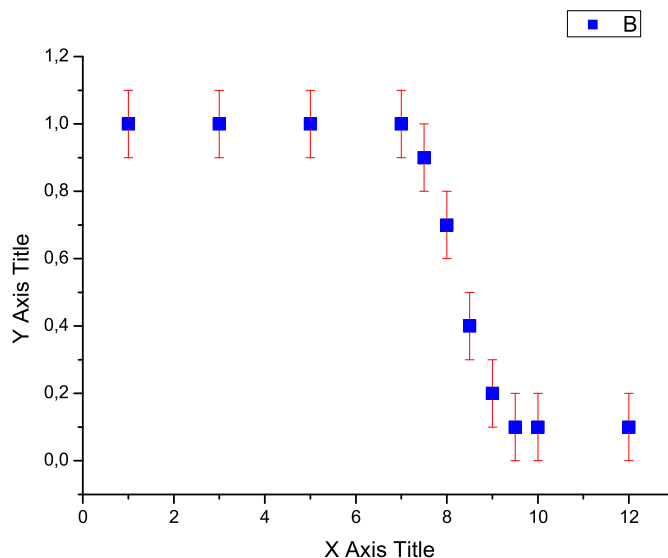


Рис. 4: Зависимость интенсивности потока α -частиц I от расстояния между источником и детектором x . Данные эксперимента.

3. Продифференцируйте (*Analysis* \rightarrow *Calculus* \rightarrow *Differentiate*) график экспериментальных точек (рис. 5).
4. Откройте окно проекта (*View* \rightarrow *Project Explorer*). Оно появится внизу экрана и в нём показаны параметры окон всех составляющих проекта — их имена, типы, представления и др. Любое из окон составляющих проекта можно скрыть. Для этого в окне проекта правым щелчком на значке окна составляющего откройте контекстное меню и выберите *Hide Window*. Окна можно восстанавливать — *Show Window* и стирать — *Delete Window*.

Скройте окно данных пробега **Data1**.

5. График **DerivPlot1** имеет неудовлетворительный вид, преобразуем его, изменив знак координаты Y и стиль. Сотрите **DerivPlot1**. В окне проекта откройте лист данных дифференцирования **Derivative1**. Правым щелчком на заголовке столбца $Data1B(Y)$ [*Derivative of Data1_B*] откройте контекстное меню и щёлкните на *Set ColumnValues*. В выпадающем меню *Add Column*

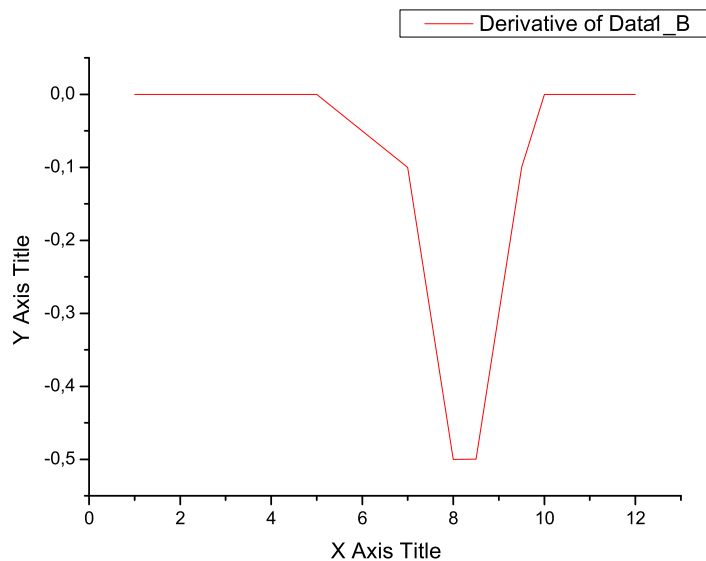


Рис. 5: Результат дифференцирования графика экспериментальных точек пробега α -частиц.

выберите $Col(Data1B)$ и нажмите на *Add Column*. В белом поле ввода появится $Col(Data1B)$, поставьте перед ним знак минус и нажмите ОК. В результате все данные столбца $Data1B(Y)$ [*Derivative of Data1_B*] изменят знак.

Выделите все данные листа **Derivative1 — Derivative of Data1_B** и постройте новый график результатов дифференцирования экспериментальных точек (*Plot* \rightarrow *Scatter*). На этот раз он имеет нужный вид (рис. 6).

- Теперь объединим два построенных графика, разместив их в разных слоях (*Layers*) одного графика.

Скройте **Derivative1** и **Graph2**. Вернитесь к графику пробегной кривой **Graph1** (рис. 4). В верхнем левом углу белого поля виден значок с цифрой 1, обозначающей номер единственного слоя графика. Добавьте второй слой (*Tools* \rightarrow *Layer*). В появившемся окне **Layer** нажмите значок с выделенной правой вертикальной осью и закройте окно. На графике появятся справа ось Y и слева сверху значок с цифрой 2, соответствующий новому слою.

- Новый слой пока пуст, заполним его. Двойным щелчком на значке "2" откройте окно **Layer2**. В разделе *Available Data* выберите *derivative1data1b* — данные результатов дифференцирования, нажав \Rightarrow , скопируйте их в раздел *Layer Contents* и нажмите ОК. Результаты дифференцирования появятся на графике (рис. 7).

- Проведём через экспериментальные точки кривые (рис. 8). Размещение данных в разных слоях позволяет обрабатывать их по отдельности.

Выделите слой данных пробега, щёлкнув на значке "1" и постройте пробегную кривую (*Analysis* \rightarrow *Fit Sigmodial*). Выделите слой данных дифференцирования "2" и постройте кривую Гаусса (*Analysis* \rightarrow *Fit Gaussian*). Кривую

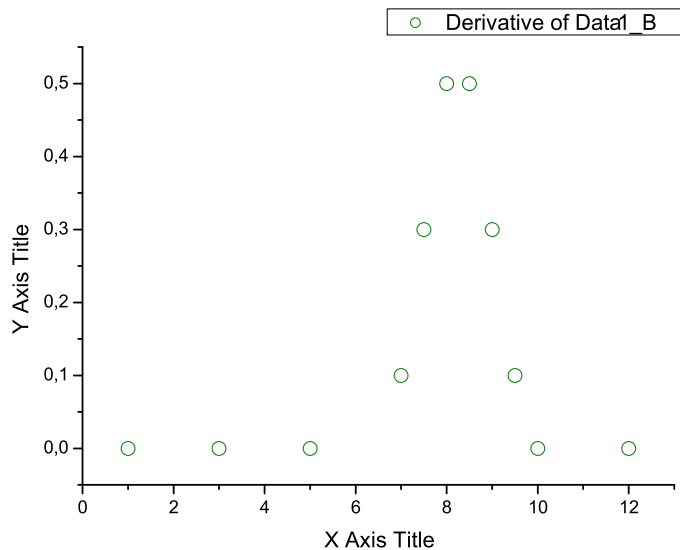


Рис. 6: Результат дифференцирования графика экспериментальных точек пробега α -частиц после изменения знака данных dI/dx .

можно сделать более гладкой (*Analysis* \rightarrow *Smoothing* \rightarrow ...).

В общем случае аппроксимационная кривая строится следующим способом.

- Сотрите в окне проекта построенную кривую Гаусса.
- Откройте (*Analysis* \rightarrow *Non – linear Curve Fit*) окно диалога **Non-linear Curve Fitting: Fitting Session**.
- Выбор аппроксимирующей функции. Выберите *Function* \rightarrow *Select* и в окне **Non-linear Curve Fitting: Select Function** в разделе *Category* выберите *Origin Basic Functions* и в разделе *Function* — *Gauss*. В нижнем разделе *Area version of Gaussian Function*, переключаясь между *Equation* и *Sample Curve*, изучите свободные параметры, входящие в функцию аппроксимации.
- Установка связи между переменными и данными. Выберите *Action* \rightarrow *Dataset*. В окне **Non-linear Curve Fitting: Select Dataset** в разделе *Variables* выберите *y*, а в разделе *Available Datasets* — данные *derivative_1data1b*, нажмите *Assign*. В разделе *Variables* будет показана связь, установленная между переменными и данными.
- Графический вид аппроксимирующей функции. Выберите *Action* \rightarrow *Simulate*. В окне *#Points* введите 1000, чтобы график функции был гладким.
- Задание начальных значений параметров функции. Выберите *Action* \rightarrow *Fit*. В окне **Non-linear Curve Fitting: Fitting Session** в столбце *Value* присвойте параметрам функции Гаусса начальные значения, которые можно примерно определить из построенного графика производной, и разрешите их менять, поставив метки в столбце *Vary*.
- Итерационная процедура построения функции. Нажимайте *1 Iter.* и на-

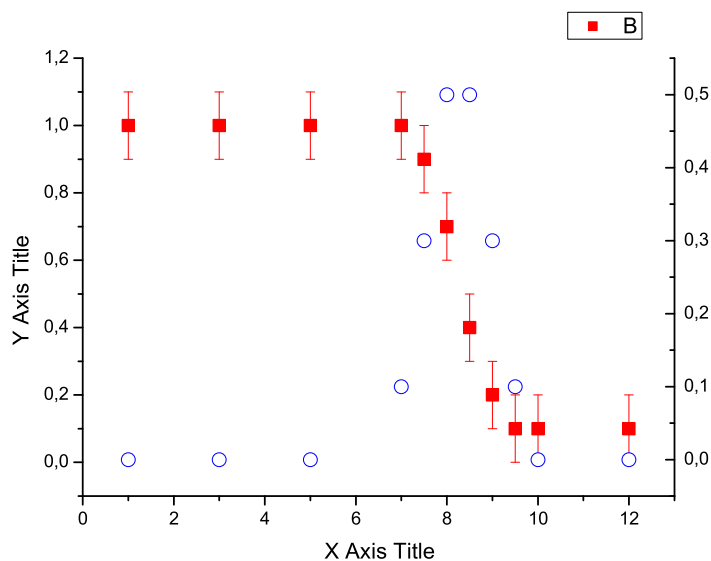


Рис. 7: График, объединяющий данные пробега и результат их дифференцирования.

блюдайте, как будут последовательно уточняться значения параметров в столбце *Value* и меняться форма кривой на графике **Graph1**. Когда изменения станут незаметны, нажмите *Done*, данные дифференцирования будут аппроксимированы Гауссовой кривой (рис. 8).

9. Правым щелчком в свободной области графика откройте контекстное меню и выберите *Plot Detail*, откроется окно **Plot Detail**. В его левой части раскройте структуры слоёв. Отдельные элементы слоёв можно стирать (правый щелчок, *Delete*, *Apply*). Выбирая данные, можно менять их параметры (цвет и форму) и, нажимая *Apply*, наблюдать результаты изменений, не закрывая окна **Plot Detail**.
10. Высоту графиков в слоях можно менять, масштабируя их оси *Y* (*Format* → *Axes* → *Y Axis : Scale : From...To*). Сделайте графики равными по высоте, чтобы с помощью одной горизонтальной линии на полувысоте определить величину пробега R_α (расстояние, на котором поглощается половина частиц) и его ошибку ΔR_α (полуширина дифференциальной кривой). Проведите линии, обозначьте оси, создайте заголовок и график приобретёт законченный вид (рис. 9).

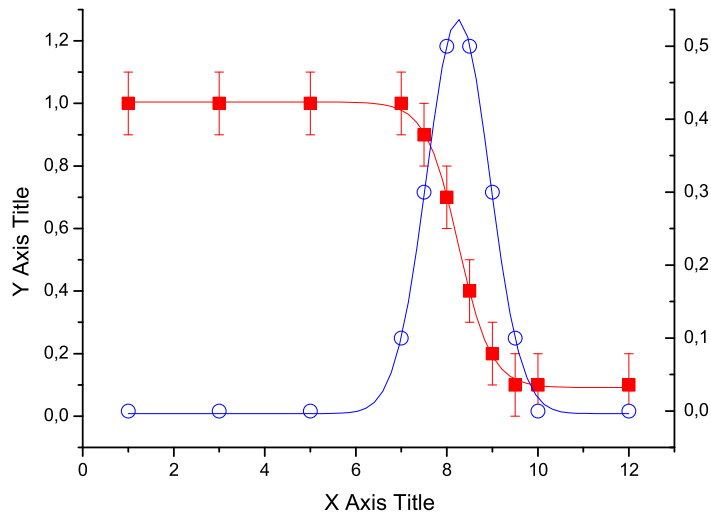


Рис. 8: Аппроксимация данных пробега и дифференцирования

4 Обработка данных в задаче № 7 и № 15 "Деление ядер"

Построение градуировочной кривой описано выше в разделе 3.1 на с. 3. Рассмотрим обработку данных спектра деления урана-235 тепловыми нейтронами (спонтанного деления Cf-252), определение положения пиков и их полуширин.

1. Ввод данных. Создайте новый проект. Импортируйте (*File* → *Import* → *Single ASCII*) данные амплитудного спектра осколков деления урана (калифорния). В столбце $A(X)$ должны разместиться номера каналов, в столбце $B(Y)$ — число частиц.
2. Ошибки числа частиц. В лист данных добавьте (*Column* → *Add New Columns*) третий столбец $C(Y)$. Скопируйте данные столбца $B(Y)$ в столбец $C(Y)$. Преобразуем данные столбца $C(Y)$ в информацию о статистической среднеквадратичной ошибке числа частиц N , равной \sqrt{N} . Выделите столбец $C(Y)$ и откройте (*Column* → *Set Column Values*) окно **Set Column Values**. В выпадающем меню *Add Column* выберите $Col(C)$ и нажмите на *Add Column*. В белом поле ввода появится $Col(C)$, преобразуйте его в $\sqrt{Col(C)}$ и нажмите ОК. В результате все данные столбца $C(Y)$ преобразуются в данные ошибок.
3. Выделите столбец $A(X)$ и обозначьте его (*Column* → *Set as X*), как данные X . Аналогично обозначьте $B(Y)$, как Y , и $C(Y)$, как $Y Error$.
4. Выделите весь лист данных и постройте (*Plot* → *Scatter*) график амплитудного спектра (рис. 10).

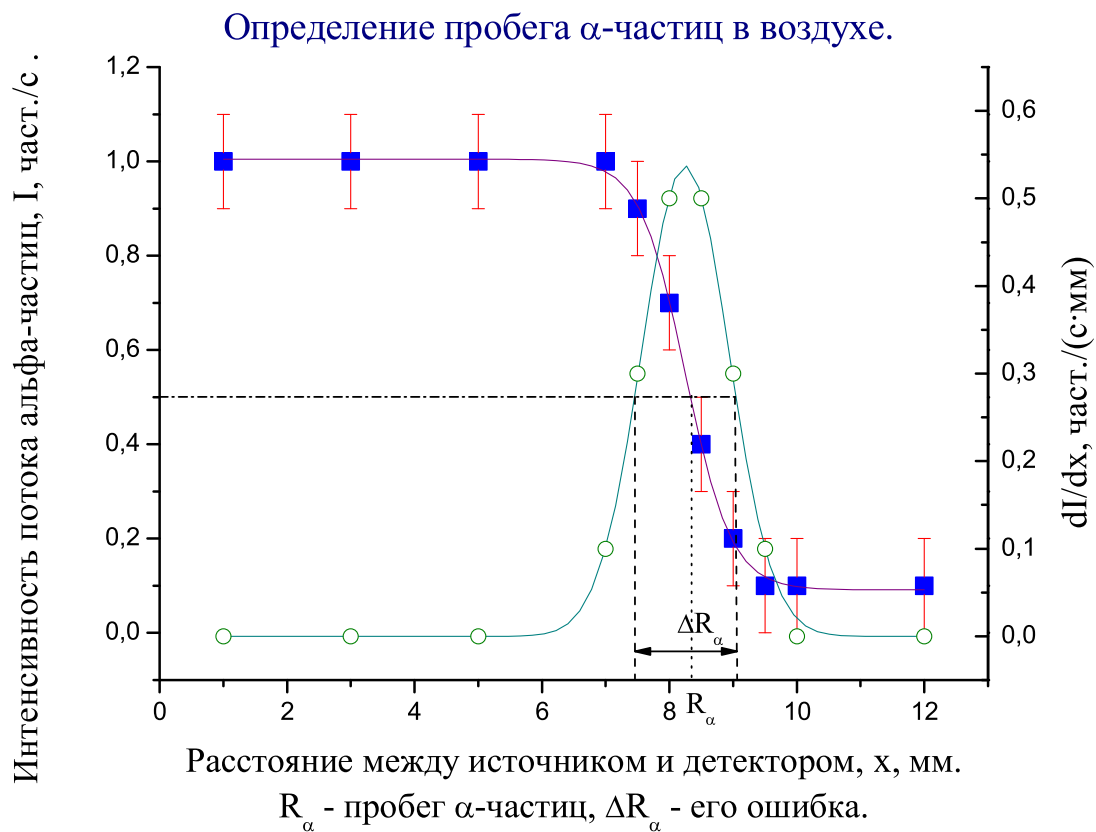


Рис. 9: Окончательный вид графика, включающего пробегную кривую, результат её дифференцирования и построения для определения пробега и его ошибки.

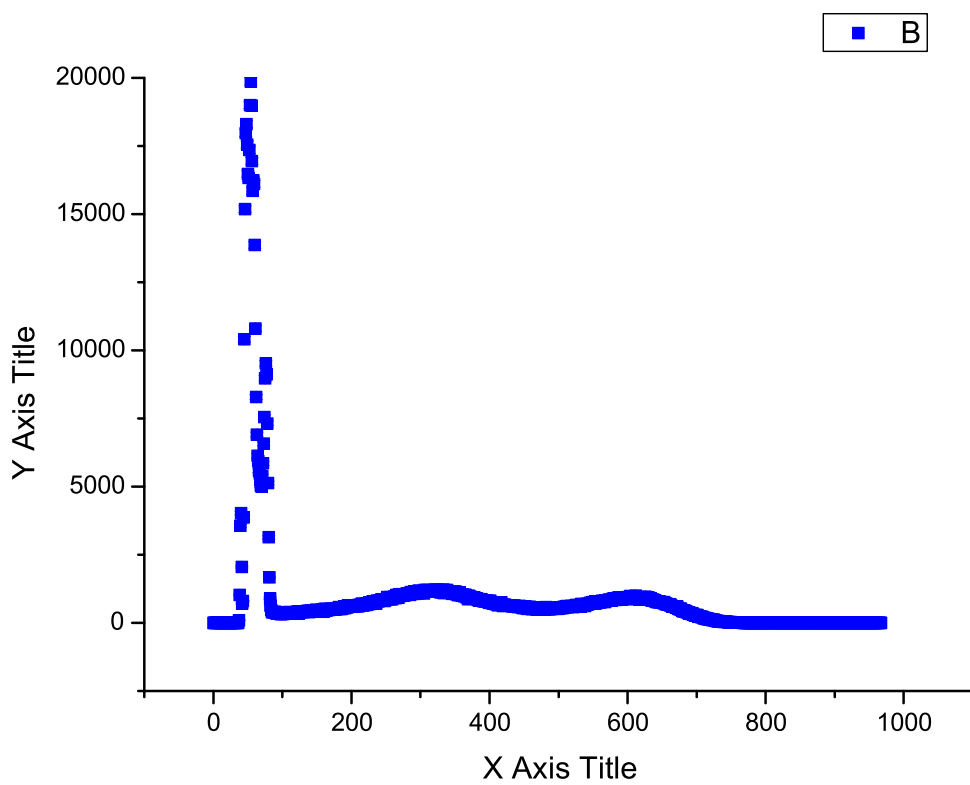


Рис. 10: Амплитудные спектры осколков деления урана-235 тепловыми нейтронами и альфа-частиц, испускаемых ураном-234. Экспериментальные точки.

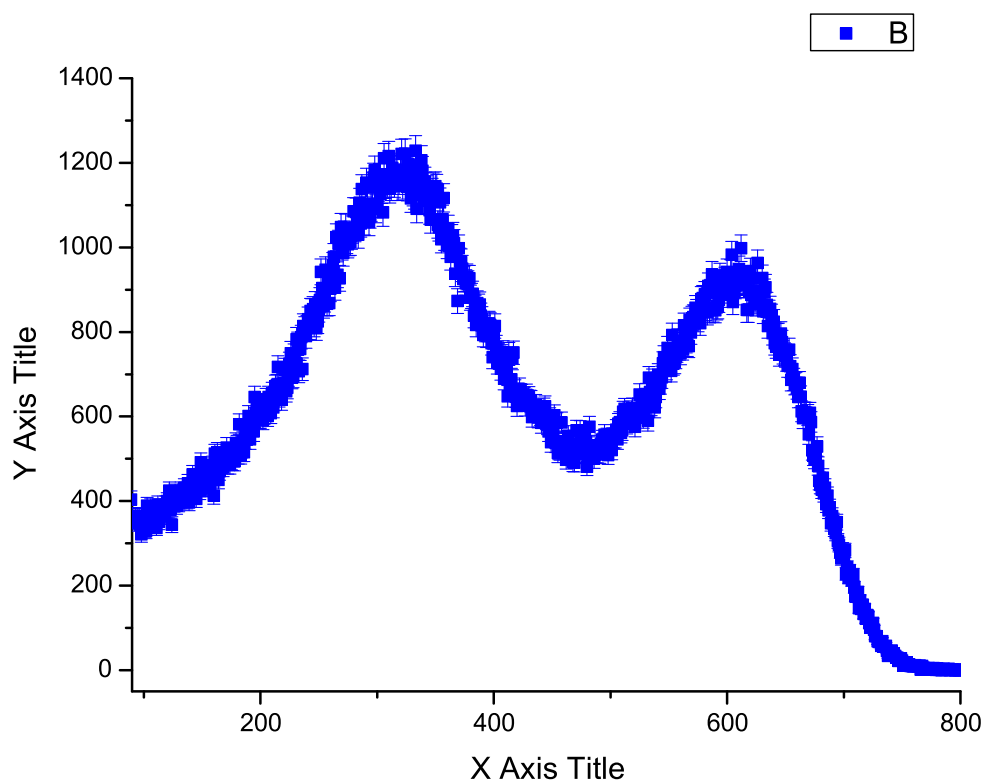


Рис. 11: Амплитудный спектр осколков деления урана-235 тепловыми нейтронами. Экспериментальные точки.

5. Спектр альфа-частиц сейчас не нужен, а его показ делает вид спектра осколков малоинформативным. Командой *Format* → *Axis* → *X Axis : Scale : From...To : Apply* установите диапазон значений на оси *X*, исключая спектр альфа-частиц. Не закрывая окна, в разделе *Selection* выберите *Vertical* и отрегулируйте масштаб по оси *Y* (рис. 11).
6. Символы на графике 11 сливаются, уменьшим их размеры. Правым щелчком в свободной области графика откройте контекстное меню и выберите *Plot Detail*, откроется окно **Plot Detail**. В его левой части раскройте структуру единственного слоя *Layer 1*. Выбирая его данные, можно менять их параметры (цвет и форму) и, нажимая *Apply*, наблюдать результаты изменений, не закрывая окна **Plot Detail**. Выберите данные точек и уменьшите их размер. Выберите данные ошибок и установите *Cap Width* равным нулю. График преобразится (рис. 12).
7. Построим кривую, аппроксимирующую спектр как сумму двух распределений Гаусса. Это делается командой *Analysis* → *Fit Multi-peaks* → *Gaussian*. В окне **Number of Peaks** поставьте 2, в окне **Initial half width estimate** — примерную полуширину. Двойными щелчками ставшим крестообразным ука-

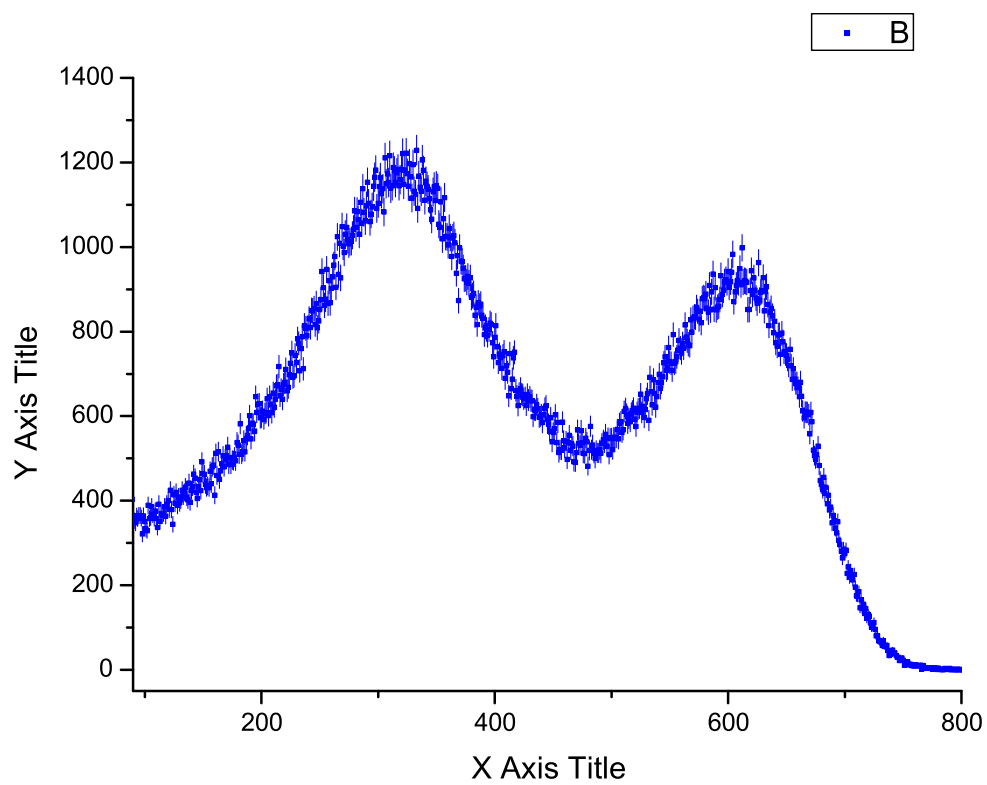


Рис. 12: Амплитудный спектр осколков деления урана-235 тепловыми нейтронами. Экспериментальные точки.

затем отметить максимумы пиков. На графике появятся (рис. 13) кривые аппроксимации, их параметры и огибающая спектра.

8. Пики спектра можно обрабатывать и по отдельности. Для этого выберите инструмент *DataSelector* из панели *Tools*. Поочерёдно захватите правый и левый маркеры и установите их на границах диапазона данных пика. Размеры маркеров можно менять, нажимая клавишу *Space*. Командой *Analysis* → *Fit Gaussian* постройте кривую Гаусса, аппроксимирующую пик. Формула и параметры аппроксимации содержатся в окне *Results Log* (*View* → *Results Log*), расположенном внизу экрана.
9. Оформите график (рис. 14) с использованием инструментов из *ToolBar* и используйте его и данные аппроксимации для определения энергии осколков деления с помощью градуировочной кривой (см. раздел 3.1 на с. 3).

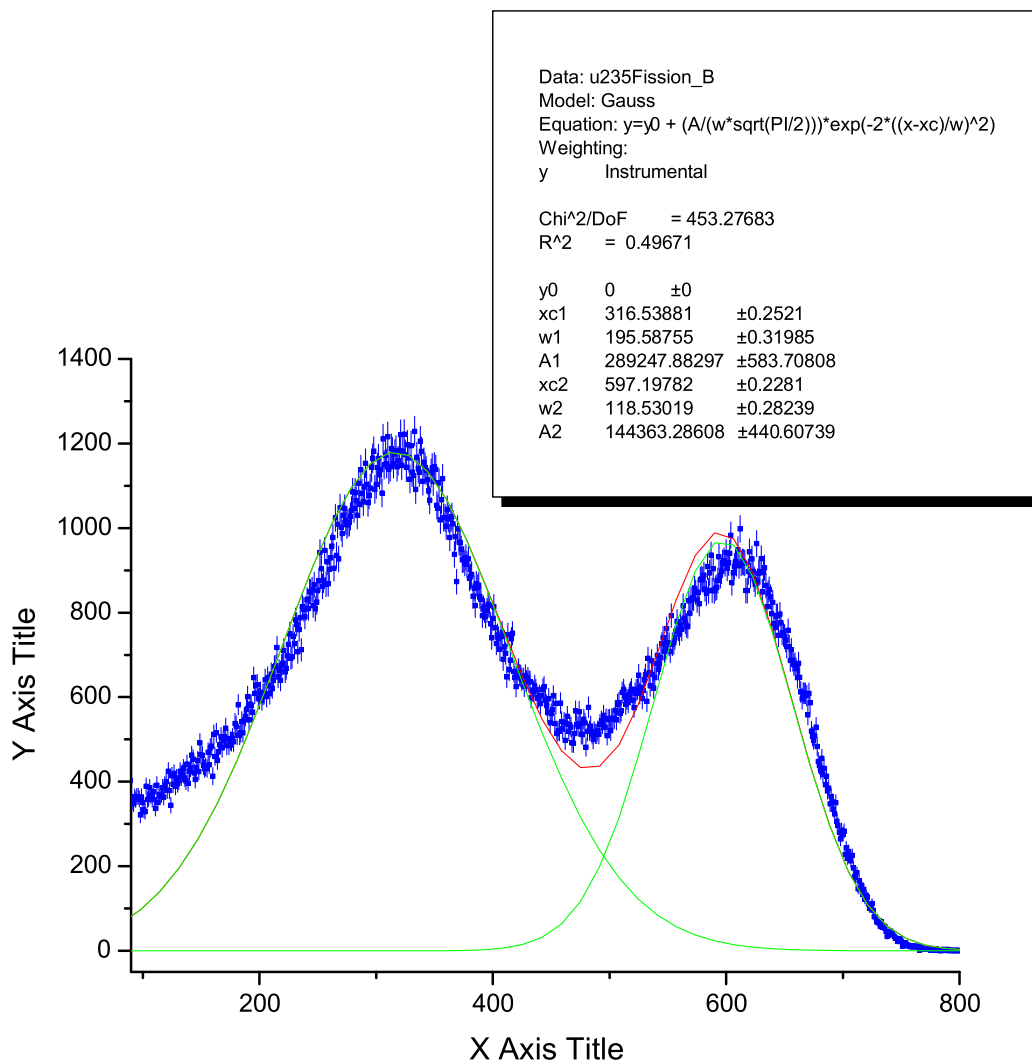


Рис. 13: Амплитудный спектры осколков деления урана-235 тепловыми нейтронами. Экспериментальные точки и аппроксимирующие кривые.

Амплитудный спектр осколков деления урана-234 медленными нейтронами

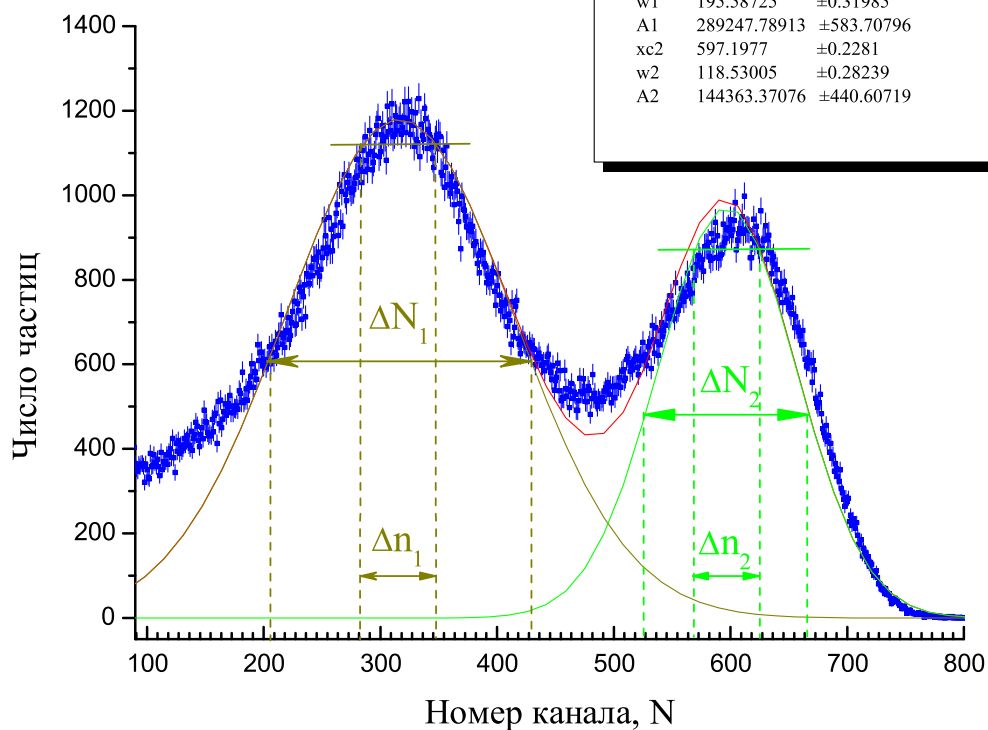


Рис. 14: Пример оформления графика амплитудного спектра осколков деления урана-235 тепловыми нейтронами. Величины $\Delta N_{1,2} = w_{1,2}$ характеризуют амплитудное распределение осколков, связанное с возможностью деления урана разными способами; $\Delta n_{1,2}$ — ошибку в определениях каналов, соответствующих наиболее вероятному способу деления ядер урана.