

**Отчет о выполнении лабораторной работы 5.5.
"Компьютерная сцинтилляционная γ -
спектрометрия"**

Калашников Михаил, Б03-202

1. Теоретические сведения

Основными процессами взаимодействия гамма-излучения с веществом являются, как было выше указано, фотоэффект, эффект Комптона и образование электрон-позитронных пар. Каждый из этих процессов вносит свой вклад в образование наблюдаемого спектра.

Фотоэффект – процесс взаимодействия гамма-кванта с электроном, связанным с атомом, при котором электрону передается вся энергия гамма-кванта. При этом электрону сообщается кинетическая энергия $T_e = E_\gamma - I_i$, где E_γ – энергия гамма-кванта, I_i – потенциал ионизации i -той оболочки атома. Фотоэффект особенно существен для тяжелых веществ, где он идет с заметной вероятностью даже при высоких энергиях гамма-квантов. В легких веществах фотоэффект становится заметен лишь при относительно небольших энергиях гамма-квантов.

Эффект Комптона – упругое рассеяние фотона на свободном электроне, сопровождающееся изменением длины волны фотона (реально этот процесс происходит на слабо связанных с атомом внешних электронах). Максимальная энергия образующихся комптоновских электронов соответствует рассеянию гамма-квантов на 180° и равна

$$E_{max} = \frac{\hbar\omega}{1 + \frac{mc^2}{2\hbar\omega}}.$$

Процесс образования электрон-позитронных пар. При достаточно высокой энергии гамма-кванта наряду с фотоэффектом и эффектом Комптона может происходить третий вид взаимодействия гамма-квантов с веществом – образование электрон-позитронных пар. Процесс образования пар не может происходить в пустоте, так как в этом случае не выполняются совместно законы сохранения энергии и импульса. В присутствии ядра или электрона процесс образования пары гамма-квантом возможен, так как можно распределить энергию и импульс гамма-кванта между тремя частицами без противоречия с законами сохранения. При этом если процесс образования пары идет в кулоновском поле ядра, то энергия образующегося ядра отдачи оказывается весьма малой, так что пороговая энергия гамма-кванта $E_{пор}$, необходимая для образования пары, практически совпадает с удвоенной энергией покоя электрона $E_{пор} \approx 2mc^2 = 1.022$ МэВ.

2. Экспериментальная установка

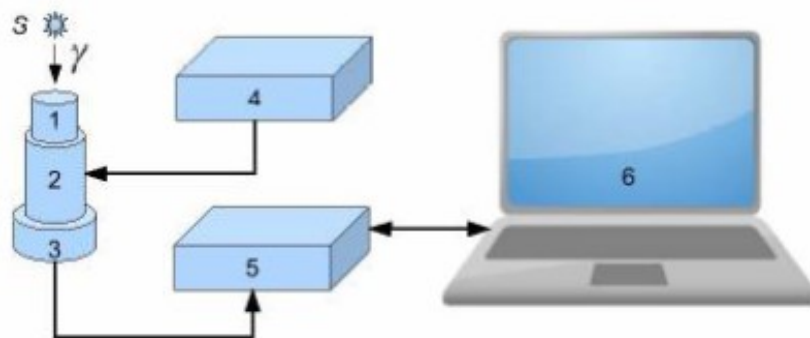


Рис. 1: Принципиальная блок-схема спектрометра. (1 – сцинтиллятор, 2 – ФЭУ, 3 – предусилитель импульсов, 4 – высоковольтный блок питания для ФЭУ, 5 – блок преобразования аналоговых импульсов с ФЭУ в цифровой код (АЦП), 6 – компьютер для сбора данных, их обработки и хранения).

ФЭУ со сцинтиллятором и блоком питания установлены на отдельной подставке. В нашей работе на разных установках (стендах) в качестве сцинтиллятора используются кристаллы NaI(Tl) с размерами $\varnothing 45 \times 50$ мм и $\varnothing 20 \times 25$ мм.

3. Проведение эксперимента

Проведем последовательные измерения спектров каждого из предоставленных образцов. Будем накапливать измерения в течение 600 секунд. После этого аналогично проведем измерения фонового излучения.

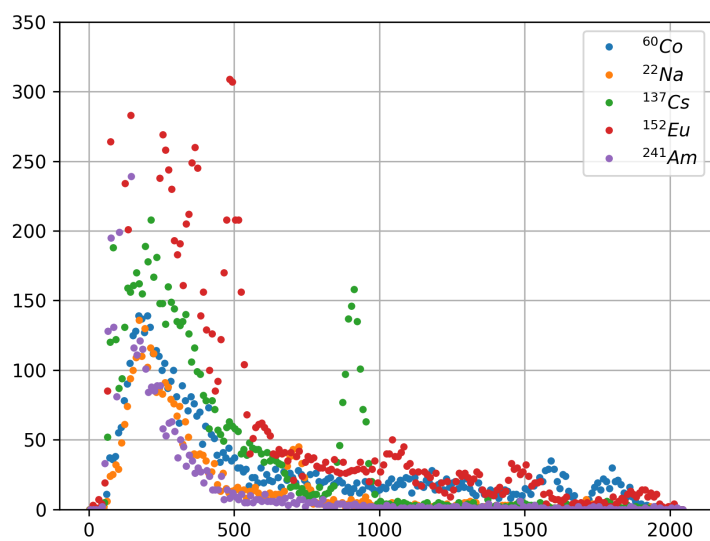


Рис. 2: Спектр излучения образцов

Далее в работе будет приведено более подробное рассмотрение каждого из полученных спектров.

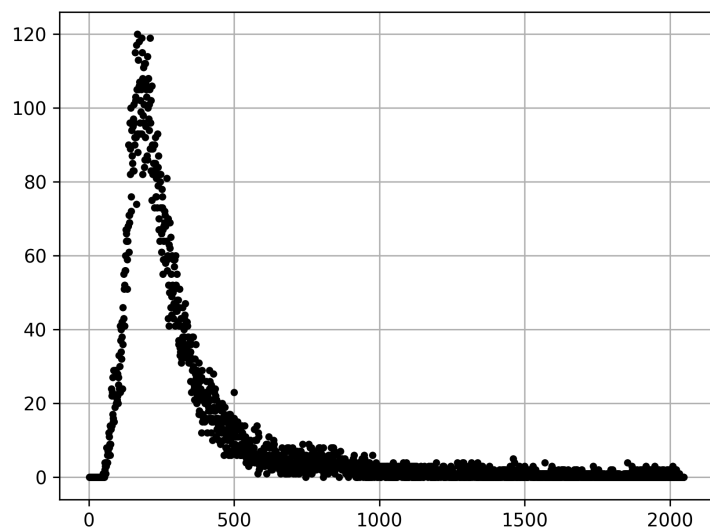


Рис. 3: Спектр фонового излучения

Как можно видеть, правая часть спектра фонового излучения является равномерной и не имеет резких скачков.

4. Обработка результатов

Приступим к определению положений фотопиков образцов.

4.1. ^{60}Co

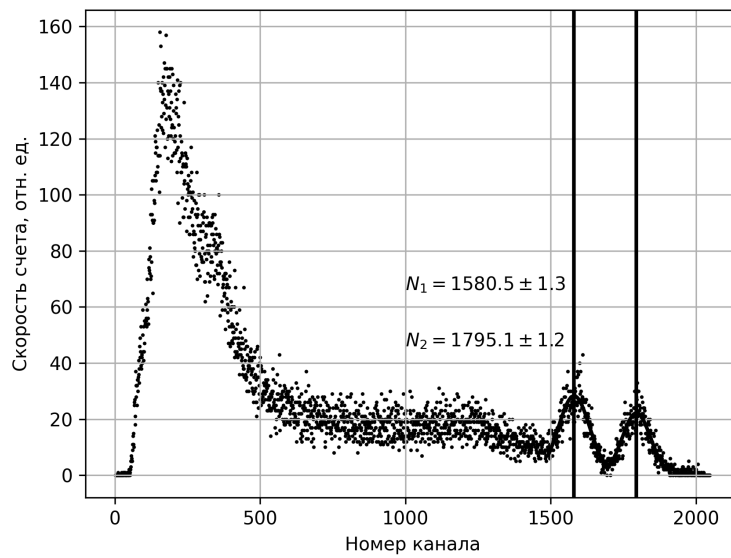


Рис. 4: Спектр излучения ^{60}Co

В спектре кобальта-60 присутствуют два фотопика с энергиями $E_1 = 1.1732$ МэВ и $E_2 = 1.3325$ МэВ.

4.2. ^{22}Na

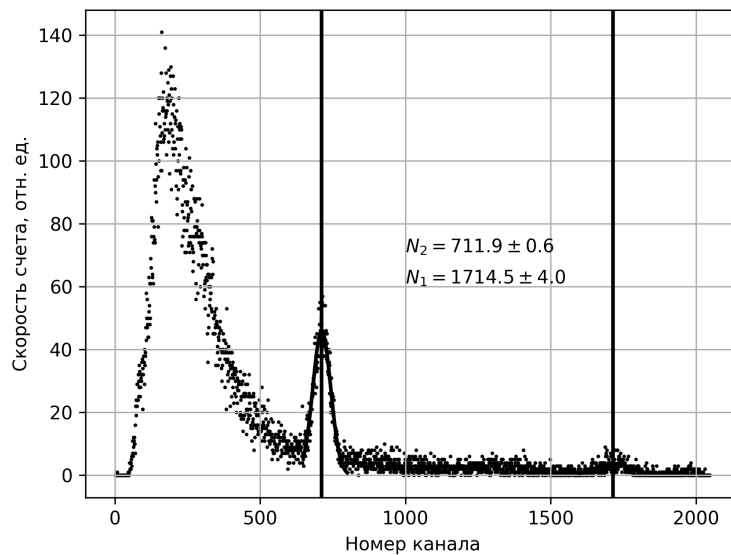


Рис. 5: Спектр излучения ^{22}Na

В спектре натрия-22 присутствуют два фотопика с энергиями $E_1 = 1.274$ МэВ и $E_2 = 0.511$ МэВ.

4.3. ^{137}Cs

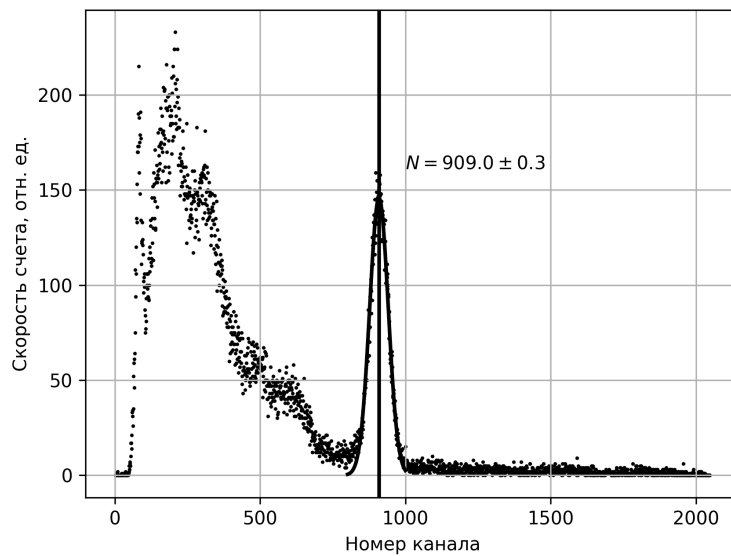


Рис. 6: Спектр излучения ^{137}Cs

В спектре цезия-137 присутствует фотопик с энергией $E = 0.6617$ МэВ.

4.4. Калибровка

После обработки всех элементов с известными положениями пиков проведем калибровку энергетической шкалы. Проведем прямую через полученные точки чтобы получить зависимость вида $N = aE + b$.

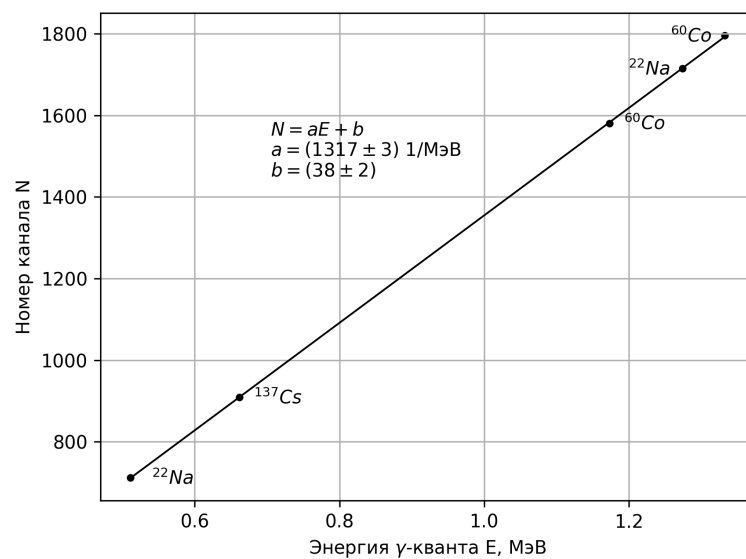


Рис. 7: Калибровочная прямая

4.5. ^{152}Eu

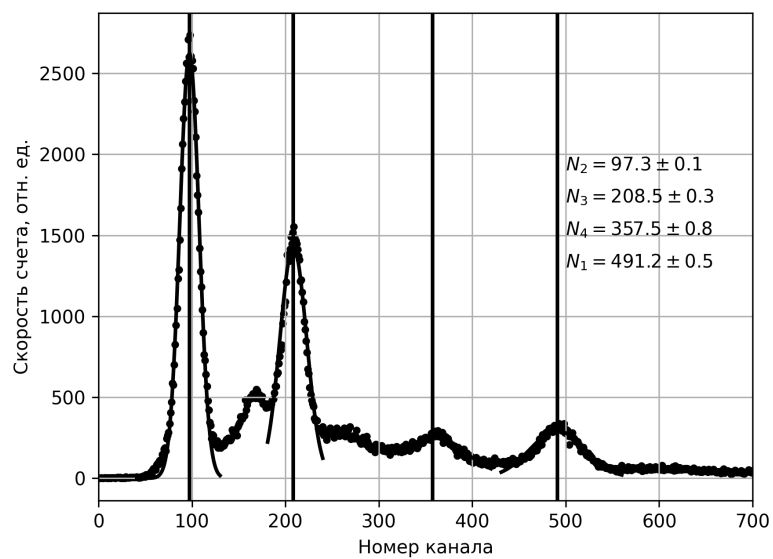


Рис. 8: Спектр излучения ^{152}Eu

В спектре европия-152 удалось выделить четыре пика.

4.6. ^{241}Am

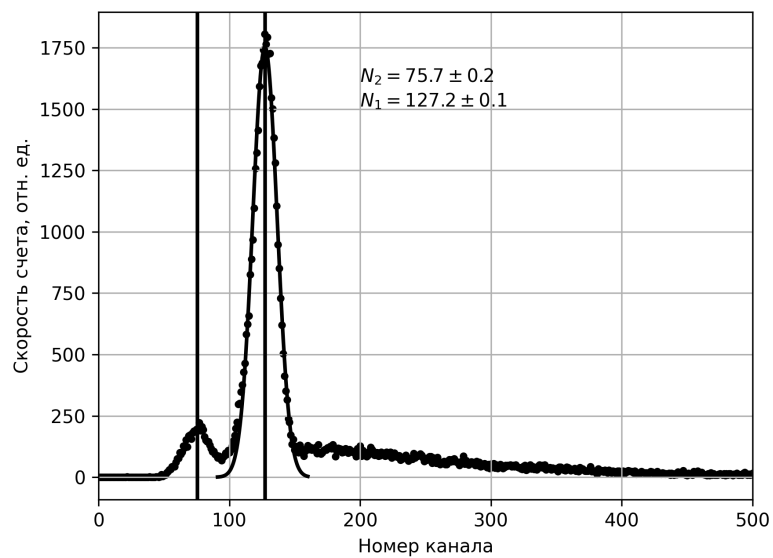


Рис. 9: Спектр излучения ^{241}Am

В спектре америция-241 удалось выделить два пика.

4.7. Сводная таблица

Источник	N	ΔN	E, МэВ	ΔE , МэВ	R
^{60}Co	1580	127	1.17	0.10	0.082
^{60}Co	1795	114	1.33	0.09	0.065
^{22}Na	1715	143	1.27	0.11	0.085
^{22}Na	712	73	0.511	0.05	0.11
^{137}Cs	909	75	0.661	0.06	0.086
^{152}Eu	491	70	0.344	0.05	0.15
^{152}Eu	97	24	0.045	0.02	0.41
^{152}Eu	208	34	0.129	0.03	0.20
^{152}Eu	357	87	0.243	0.07	0.27
^{241}Am	127	22	0.068	0.02	0.24
^{241}Am	75	26	0.029	0.02	0.68

Спектры европия-152 и америция-241 можно найти в интернете и сравнить значения энергий фотопиков. У европия-152 действительно существуют пики на 40 кэВ, 344.2785 кэВ, 244.6975 кэВ, 121.7817 кэВ (<https://www.gammaspectacular.com/blue/eu152-spectrum>). У америция-241 существуют хорошо известные пики на 59.6 кэВ и 26.3 кэВ (<https://www.gammaspectacular.com/blue/am241-spectrum>).

4.8. Энергетическое разрешение

Проверим зависимость $R = \frac{C}{\sqrt{E}}$. Для этого отложим экспериментальные точки в осях R^2 от $1/E$.

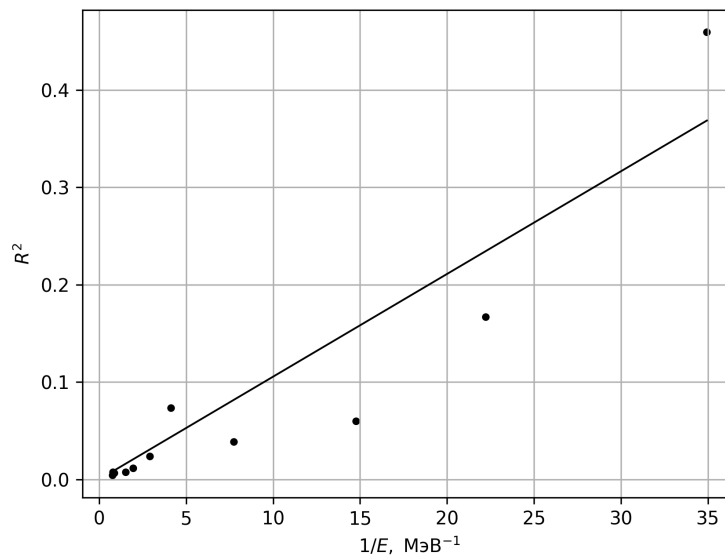


Рис. 10: График зависимости $R^2 = 1/E$

Проведем через точки прямую вида $y = kx$. Получим, что постоянная $C \approx (0.011 \pm 0.01) \text{ МэВ}^{-1/2}$

4.9. Наблюдения на осциллографе

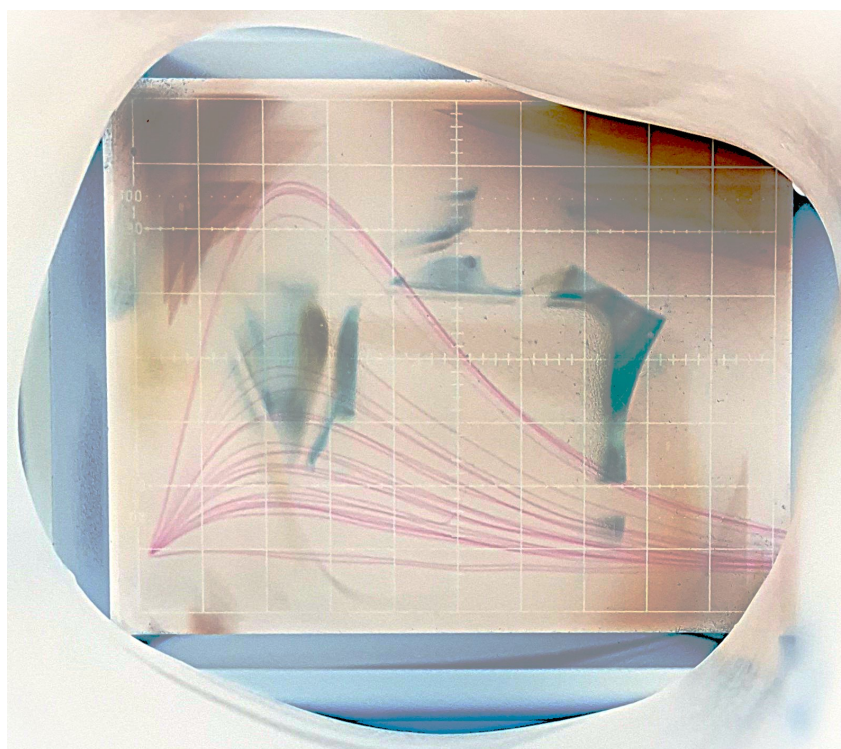


Рис. 11: График зависимости $R^2 = 1/E$

4.10. Пик обратного рассеяния

Данный пик хорошо различим на спектрах только двух образцов: цезия и кобальта (если из спектров вычесть фон).

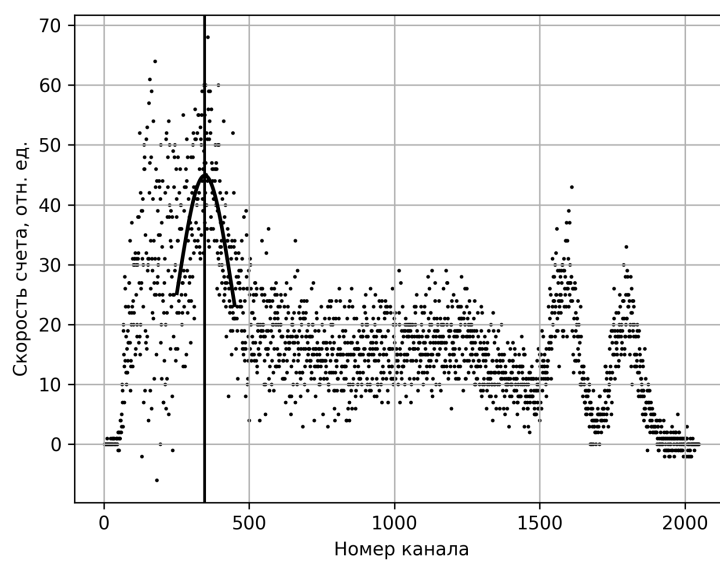


Рис. 12: Спектр излучения ^{60}Co без фона

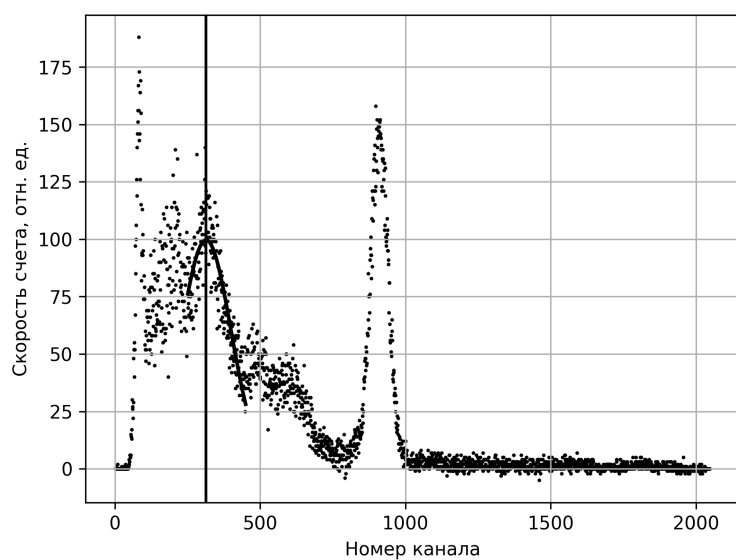


Рис. 13: Спектр излучения ^{137}Cs без фона

Получим энергии 0.235 МэВ и 0.210 МэВ соответственно.