

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Лабораторная работа 5.5.5
« γ -спектроскопия»

Шумаков Иван Игоревич
студент группы Б01-009
3 курс ФРКТ

г. Долгопрудный
2022 г.

Цель работы: Определение энергии и интенсивности дискретных гамма-линий от различных гамма-источников и их идентификация.

В работе используются: Различные материалы, детектор.

1 Теоретические сведения

Основная задача спектрометрических измерений заключается в определении энергии, интенсивности дискретных гамма-линий от различных гамма-источников и их идентификации. Основными процессами взаимодействия гамма-излучения с веществом являются фотоэффект, эффект Комптона и образование электрон-позитронных пар. Каждый из этих процессов вносит свой вклад в образование наблюдаемого спектра. Образуясь при этих процессах электроны испытывают большое количество неупругих соударений с молекулами и атомами среды. Неупругие соударения могут сопровождаться как ионизацией, так и возбуждением молекул или атомов среды. В промежуточных же стадиях (при переходах возбужденных молекул или атомов в основное состояние, при рекомбинации электрических зарядов и т.п.) в веществе возникают кванты света различных длин волн, присущих данному веществу. При **фотоэффекте** кинетическая энергия электрона $T_e = E_\gamma - I_i$, где I_i — энергия ионизации i -той оболочки атома. Фотоэффект особенно существенен 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. Наряду с фотоэффектом, при котором вся энергия гамма-кванта передается атомному электрону, взаимодействие гамма-излучения со средой может приводить к его рассеянию, т.е. отклонению от первоначального направления распространения на некоторый угол. При **эффекте Комптона** происходит 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 2π и равна

$$E_{cmax} = \frac{\hbar\omega}{1 + \frac{m_e c^2}{2\hbar\omega}} \quad (1)$$

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. При этом если процесс образования пары идет в кулоновском поле ядра или протона, то энергия образующегося ядра отдачи оказывается весьма малой, так что пороговая энергия гамма-кванта, необходимая для образования пары, практически совпадает с удвоенной энергией покоя электрона $E_0 = 2m_e c^2 = 1,022 \text{ МэВ}$. Появившийся в результате процесса образования пар электрон теряет свою энергию на ионизацию среды. Таким образом, вся энергия электрона остается в детекторе. Позитрон будет двигаться до тех пор, пока практически не остановится, а затем аннигилирует с электроном среды, в результате чего появятся два гамма-кванта. Т.е., кинетическая энергия позитрона также останется в детекторе. Далее возможны три варианта развития событий: а) оба родившихся гамма-кванта не вылетают из детектора, и тогда вся энергия первичного гамма-кванта останется в детекторе, а в спектре появится пик с $E = E_\gamma$; б) один из родившихся гамма-квантов покидает детектор, и в спектре появляется пик, соответствующий энергии $E = E_\gamma - E_0$, где $E_0 = m_e c^2 = 511 \text{ кэВ}$; в) оба родившихся гамма-кванта покидают детектор, и в спектре появляется пик, соответствующий энергии $E = E_\gamma - 2E_0$, где $2E_0 = 2m_e c^2 = 1022 \text{ кэВ}$; Таким образом, любой спектр, получаемый с помощью гамма-спектрометра, описывается несколькими компонентами, каждая из которых связана с определенным физическим процессом. Как описано выше, основными физическими процессами взаимодействия гамма-квантов с веществом являются фотоэффект, эффект Комптона и образование электрон-позитронных пар, и каждый из них вносит свой вклад в образование спектра. Помимо этих процессов, добавляются эксконента, связанная с наличием фона, пик характеристического излучения, возникающий при взаимодействии гамма-квантов с окружающим веществом, а также пик обратного рассеяния, образующийся при энергии квантов $\gamma \gg mc^2/2$ в результате рассеяния гамма-квантов на большие углы на материалах конструктивных элементов детектора и защиты. Положение пика обратного рассеяния определяется по формуле (E — энергия фотопика):

$$E_{\text{обр}} = \frac{E}{1 + \frac{2E}{mc^2}} \quad (2)$$

Энергетическим разрешением спектрометра называется величина

$$R_i = \frac{\Delta E_i}{E_i} \quad (3)$$

т.е. отношение ширины пика полного поглощения (измеренной на полувысоте) к регистрируемой энергии пика поглощения. Это значение $E_i \propto \bar{n}_i$ — числу частиц на выходе ФЭУ. При этом $\Delta E_i \propto \sqrt{\bar{n}_i}$

— ширина пика пропорциональна среднеквадратичной флуктуации, которая равна корню из числа частиц. Таким образом, наша формула (3) примет вид

$$R_i = \frac{\text{const}}{\sqrt{E_i}} \quad (4)$$

2 Ход работы

В ходе работы были получены спектры материалов:

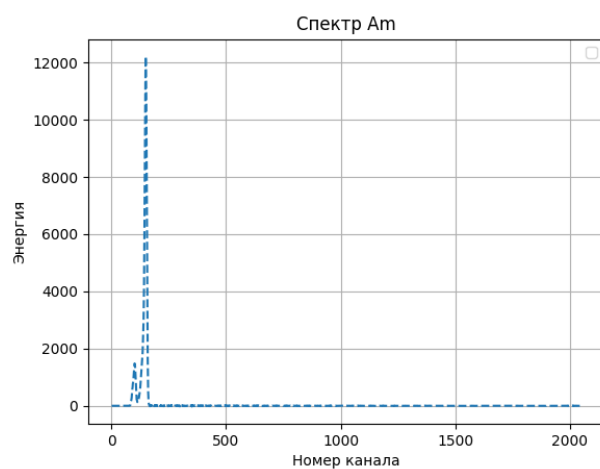


Рис. 1. Спектр Am

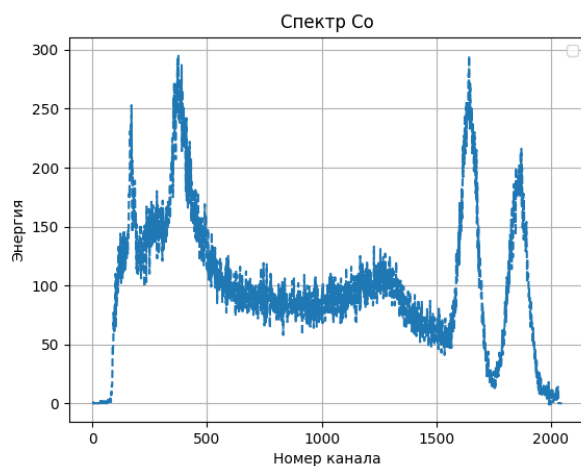


Рис. 2. Спектр Co

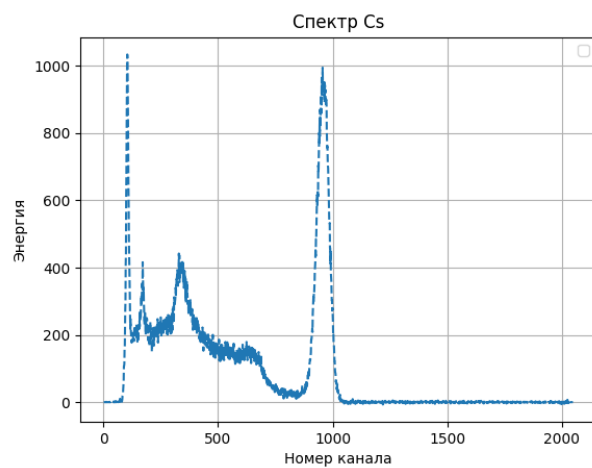


Рис. 3. Спектр Cs

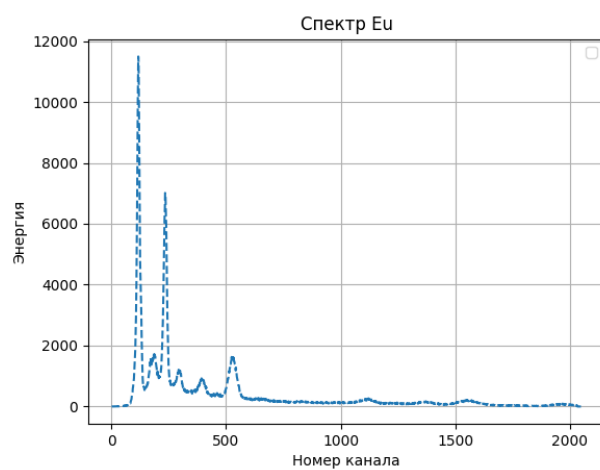


Рис. 4. Спектр Eu

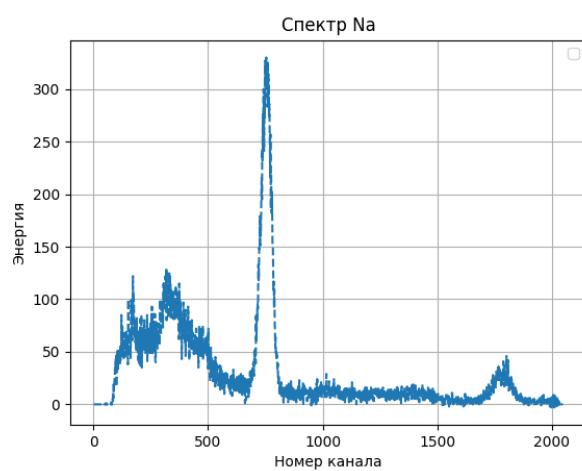


Рис. 5. Спектр Na

Am

При α -распаде америция происходит испускание мягких γ -квантов:

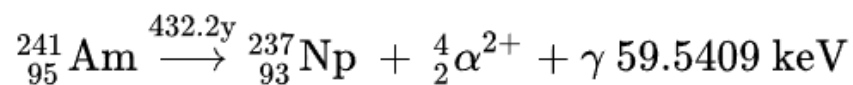


Рис. 6. Распад америция

Таким образом пику на 94 канале соответствует квант 59 кэВ.

Co

Для кобальта характерны фотопики на энергиях 1.33 мэВ и 1.17 мэВ. Им соответствуют каналы 1856 и 1638.

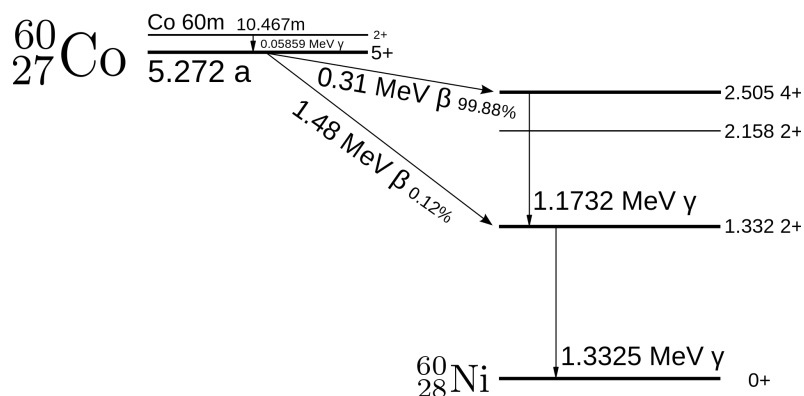


Рис. 7. Уровни кобальта

Cs

Фотопик цезия имеет энергию 0.66 мэВ. Ему соответствует 953 канал.

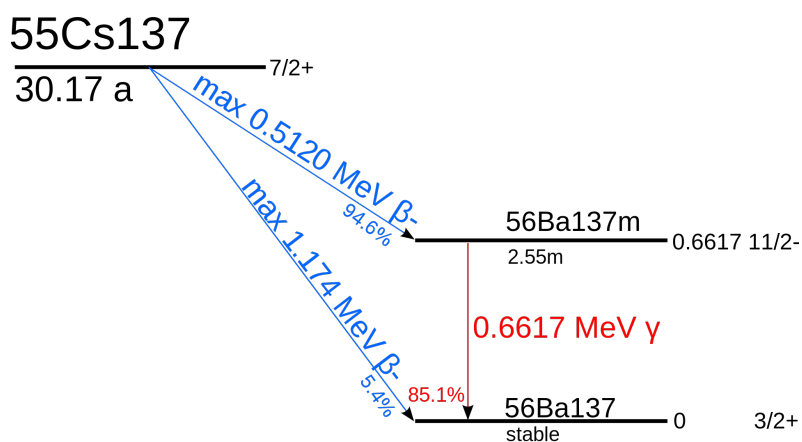


Рис. 8. Уровни цезия

Eu

У европия наблюдается много фото-пигов. Таблица, со всеми линиями спектра европия:

Gammas from ^{152}Eu (13.537 y 6)		
Eg (keV)	Ig (%)	Decay mode
121.7817 3	28.58 6	e+b ⁺
344.2785 12	26.5 4	b ⁻
1408.006 3	21.005 24	e+b ⁺
964.079 18	14.605 21	e+b ⁺
1112.074 4	13.644 21	e+b ⁺
778.9040 18	12.942 19	b ⁻
1085.869 24	10.207 21	e+b ⁺
244.6975 8	7.583 19	e+b ⁺
867.378 4	4.245 19	e+b ⁺
443.965 3	2.821 19	e+b ⁺
411.1163 11	2.234 4	b ⁻
1089.737 5	1.727 6	b ⁻
1299.140 10	1.623 8	b ⁻
1212.948 11	1.422 6	e+b ⁺

Рис. 9. Спектр цезия

Соответствия каналов и фото-пигов:

- 1965 канал - 1.41 мэВ
- 1550 канал - 1.22 мэВ
- 1362 канал - 0.86 мэВ - перепроверить
- 1112 канал - 0.78 мэВ

Na

Фотопик натрия соответствует энергии 1.2 мэВ. В эксперименте это был 1779 канал.

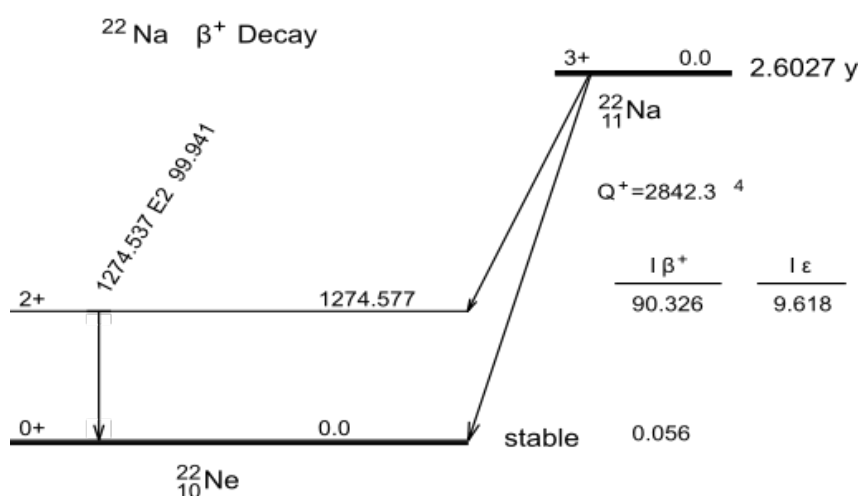


Рис. 10. Спектр натрия

Анализ графиков: 1) Am - альфа распад 94 канал - 59 кэВ (627 эВ на канал) 2) Cs - комптоновское рассеяние на 335 - 638 каналах. фотопик на 953 - переход 0.6 мэВ (629 эВ на канал) 3) Co - два правых пика - 1638, 1856 - 1.17, 1.33 МэВ (716 714 эВ)

Расчет фотопиков: 1) Cs: 953 - 0.66 мэВ 629 эВ/канал 2) Co: 1638 - 1.17 мэВ 714 эВ/канал 3) Co: 1856 - 1.33 мэВ 716 эВ/канал 4) Eu(152): 232 - 151 кэВ 650 эВ/Канал (методом подбора этот пик подходит)