

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет
Кафедра ядерної фізики

На правах рукопису

Галузь знань: 10 «Природничі науки»

Освітня програма - Фізика

Спеціальність - 104 «Фізика та астрономія»

Спеціалізація Ядерна енергетика

Кваліфікаційна робота бакалавра
студента 4 курсу
Галонова Валентина Вікторовича

Науковий керівник
доц. ф.-м. наук
Єрмоленко Руслан Вікторович

Робота заслухана на засіданні кафедри ядерної фізики та рекомендована до захисту
на ЕК, протокол , протокол № _____ від «_____» _____ 2020 р.

Завідувач кафедри

Каденко І. М.

Київ, 2020

ВИТЯГ

з протоколу № _____
засідання Екзаменаційної комісії

Визнати, що студент _____ виконав та захистив кваліфікаційну роботу бакалавра з оцінкою _____
.

Голова ЕК _____

«_____» _____ 2020 р.

Анотація

Гапонов В.В.

Кваліфікаційна робота бакалавра за напрямом підготовки 6.040203 — Фізика, спеціалізація «Ядерна енергетика». — Київський національний університет імені Тараса Шевченка, фізичний факультет, кафедра ядерної фізики. — Київ, 2020.

Науковий керівник: д. ф.-м. н. Єрмоленко Р.В.

Ключові слова: Нейтронно активаційний аналіз, германієвий детектор, метод Монте Карло

Summary

Haponov V.V. "

Qualifying work of the bachelor on a speciality 6.040203 — physics, specialization "Nuclear power". — Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Physics, Department of Nuclear Physics. — Kyiv, 2020.

Research supervisor: Dr. R. Yermolenko.

Key words:.

Зміст

1	Розділ 1	2
1.1	Geant4 MultiThreading	2
1.2	<i>QGSP_BERT</i>	2
1.3	Джерела нейтронів	2
2	Розділ 2	3
2.1	Опис детектора	3
2.2	Опис джерела	4
2.3	Опис коду моделі	4
3	Розділ 3	6
3.1	Опис обробки спектру	6
3.2	Валідація моделі	6
3.3	Аналіз спектрів Ag_3AuS_2	8
3.4	Дослідження $Au(n, \gamma)$ реакцій	10
3.5	Аналіз спектрів $CuFeS_2$	10
3.6	Аналіз спектру U^{238}	11
	Література	12

1 Розділ 1

1.1 Мультипоточність Geant4

1.2 *QGSP_BERT*

QGSP_BERT - ця фізична модель входить в перелік стандартних фізичних моделей розрахункового пакету Geant4. Базується на каскадній моделі Бертіні та враховує реакції для нейтронів менше ніж 20 MeV. Для валідації данної моделі необхідне виконання наступних умов $\frac{\lambda_B}{\nu} \ll \tau_c \ll \Delta t$, λ_B - хвиля де-Бролля для налітаючої частинки, ν - швидкість налітаючої частинки, Δt - час між зіткненнями. Та модель яка лягла в основу коду Geant4 була протестована на частинках з енергіями від 100 MeV до 3 GeV.

1.3 Джерела нейтронів

2 Розділ 2

2.1 Опис детектора

Для моделювання чутливого об'єму був обраний надчистий германій, з діаметром 60.6 міліметрів, та довжиною 56.7 міліметрів. Рис. 2.1 Де-

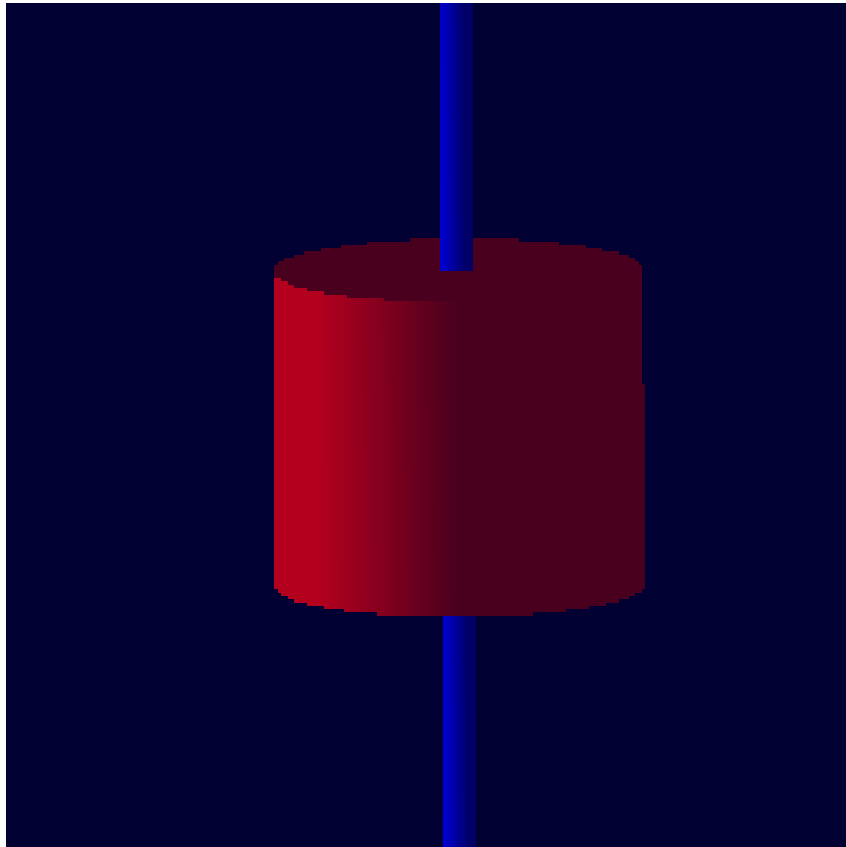


Рис. 2.1: Форма чутливого об'єму

тектор буде розміщений поряд з джерелом нейтронів високих енергій, 14.5 MeV. Тому детектор був розміщений у трьох шаровий захист. Рис. 2.2 В захисті використовується Бор для поглинання теплових нейтронів, так як вся детекторна система буде знаходитися під водою, то нейтрони від джерела будуть втрачати енергію при пружному розсіянні на водню.

Опис реакцій на захисті – та сповільнювачі

Для поглинання теплових нейтронів перед чутливим об'ємом детектора був обраний B^{10} . Використовується в ТВЕЛ-ах для контролю кіль-

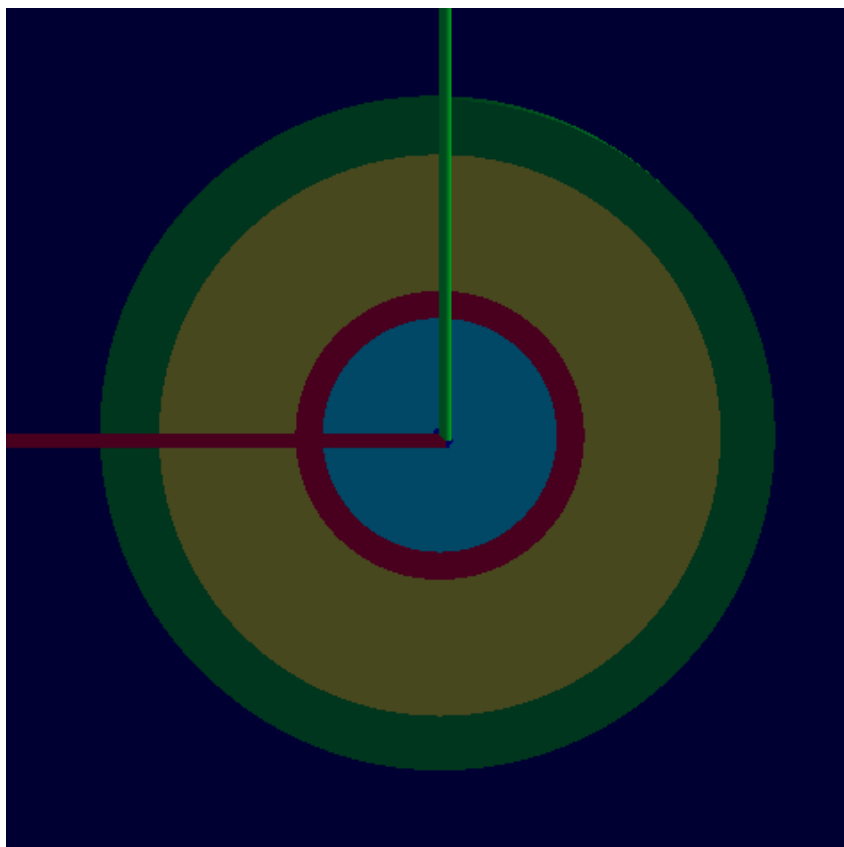


Рис. 2.2: Захист детектора, Al - зелений товщина 2 см., В - жовтий товщина 5 см., Pb - червоний товщина 1 см. Блакитний шар повітря

кості теплових нейтронів в активній зоні реакторної установки ВВЕР.

$B^{10}(n, \alpha\gamma)Li_3^7$, Переріз захоплення нейтрона B^{10} $\sigma = 3320$ барн. Енергія

γ - частинки 480 кеВ

Fano factor Ge = 0.13 Для утворення пари 3.62 eВ = 300 К

2.2 Опис джерела

2.3 Опис коду моделі

Цілью було написати максимально зручний код для набору спектрів за різних умов та на різних мішеннях, тому були створені абстрактні класи для створення геометричних об'єктів. Для зручності створення матеріалів були створенні структури. Та для пришвидшення роботи були всі можливі константи ініціалізувалися на етапі компіляції. Для полег-

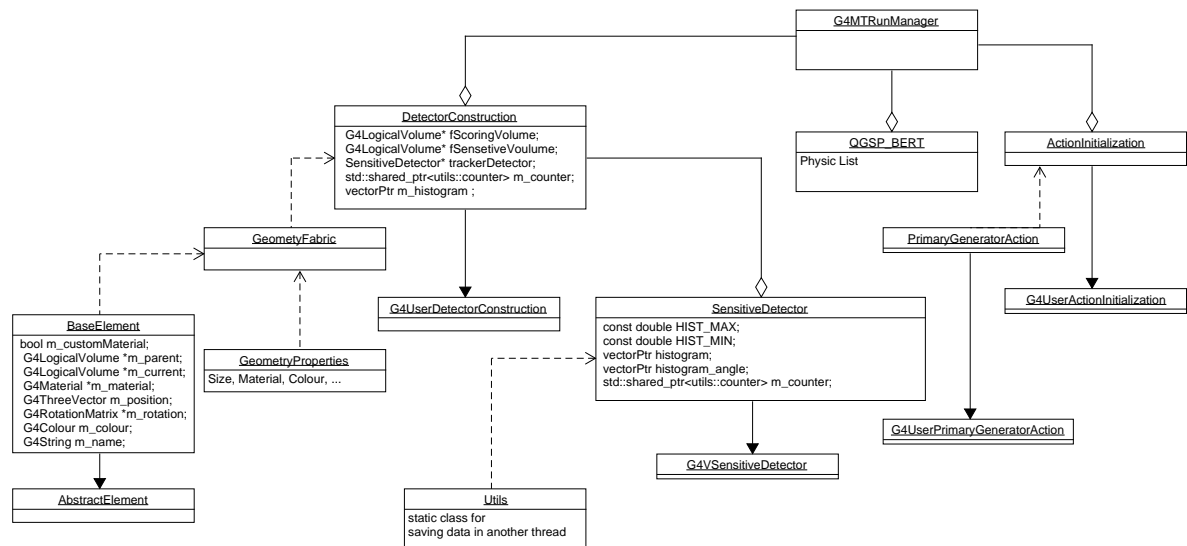


Рис. 2.3: Діаграма класів коду моделі

шення контролю над пам'яттю використовувалися розумні вказівники C++ 14 стандарту. Архітектура коду моделювання зображена на Рис. 2.3

3 Розділ 3

3.1 Опис обробки спектру

В результаті моделювання, чутливим об'ємом набирались апаратні спектри, для чутливого об'єму було встановлено 16384 біни. Далі для наближення спектру до реального, була проведення його сглажування за наступної формулою $\Delta E = 2.36\sqrt{F\frac{w}{E}}w$, ΔE - енергія на один бін, F - Фано фактор, w - кількість енергії на утворення пари, та пронормований на кількість нейтронів з джерела. Так як для спрощення побудови джерела в моделі, використовувалась спрощена геометрія, а генерація нейтронів відбувалась майже строго у заданому напрямку. Так як джерело нейтронів вважалось ізотропним, то загальна кількість частинок розраховувалась наступною формулою $4\pi n = N$, де N - це загальна кількість частинок.

3.2 Валідація моделі

Для підтвердження можливості проведення наборів на моїй моделі був набраний спектор для Гірчичного газу. Рис. 3.1. Та порівняний з отриманим спектром в статті [\[1\]](#) У висновках до проведеної роботи в данній статті було вказано, що най більш вираженими і чіткими були лінії Cl 7,42 7,80 8,58 MeV, також було вказано ряд ліній які їм не вдалося валідувати (перекласти "лінії") На Рис. 3.2 - зображені піки 7.42 та 7.80 MeV Рис. 3.3 - 8.58 MeV

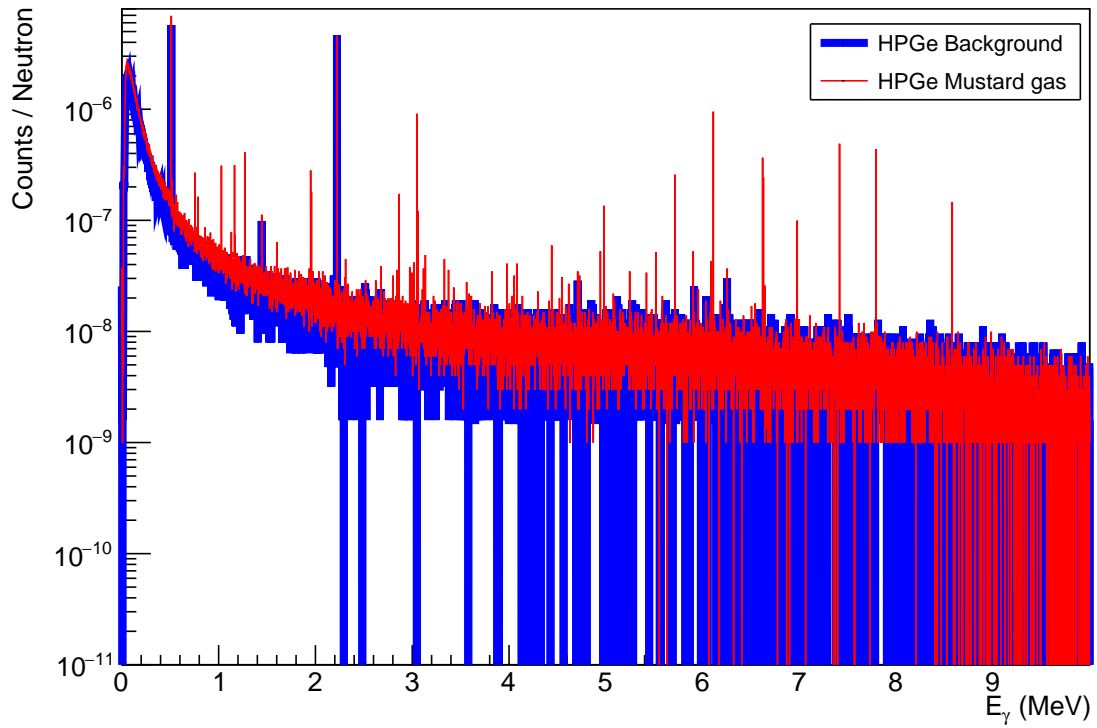


Рис. 3.1: Червоним - представлений спектр для Гірничного газу. Синім - фону

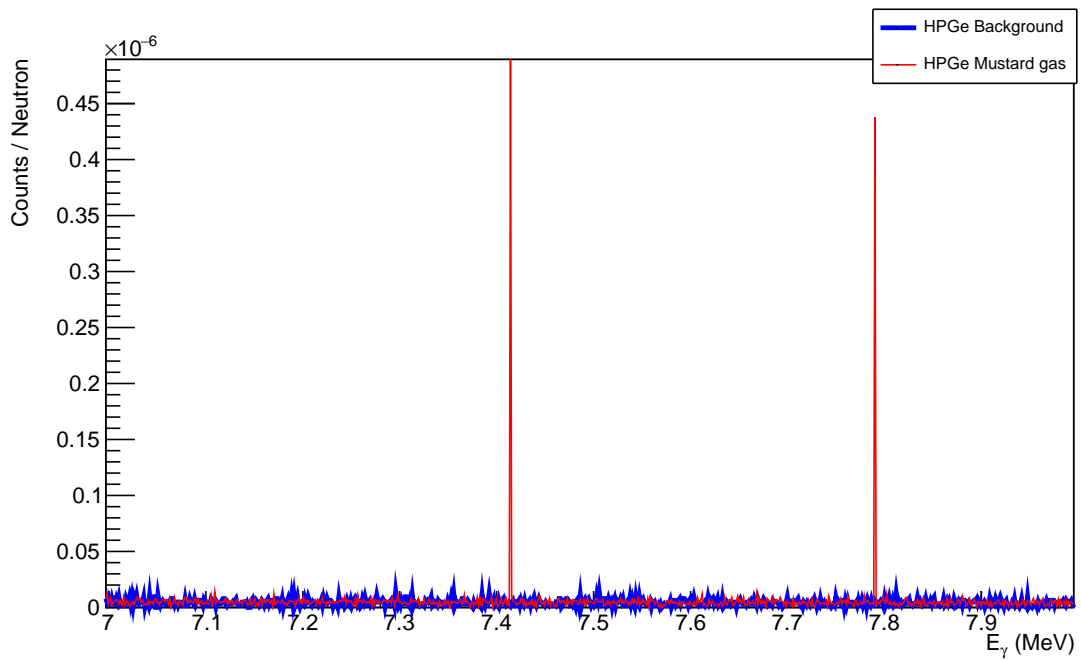


Рис. 3.2: Червоним - представлений спектр для Гірничного газу. Синім - фону

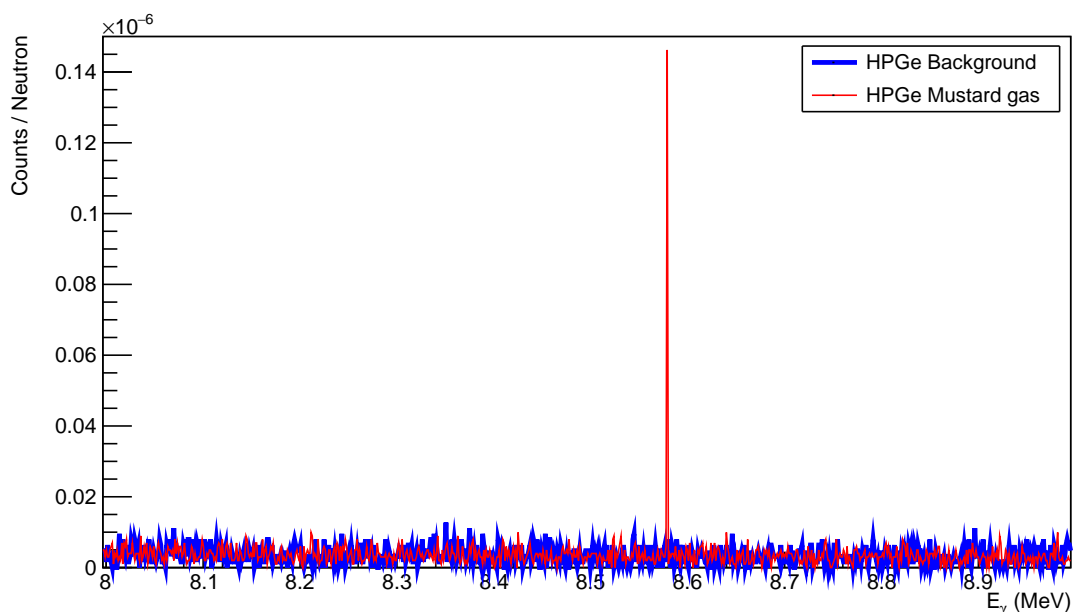


Рис. 3.3: Червоним - представлений спектор для Гірчичного газу. Синім - фону

3.3 Аналіз спектрів Ag_3AuS_2

За матеріал було обрано ютенбогардтит Ag_3AuS_2 - родовища з даними мінералами були знайдені на камчатці поблизу побережжя. Данний мінерал відноситься до рідкисних золотоносних руд, зустрічається в природі у твердому стані. Був знайдений на Камчатських родовищах. Рис. 3.4 Данний спектор і фон були набрані при опроміненні нейтронами з джерела максимальної енергією 14.5 MeV Для порівняння було проведено опромінення за допомогою нейтронів енергією 8.5 та 2.8 MeV. Рис. 3.5 Піки по близу 3, 4 і 5 MeV майже не втратили інтенсивності тому саме вони були взяті в подальшу обробку. На данному графіку був взятий фон з опромінення 14.5 MeV нейтронами. Рис. 3.5

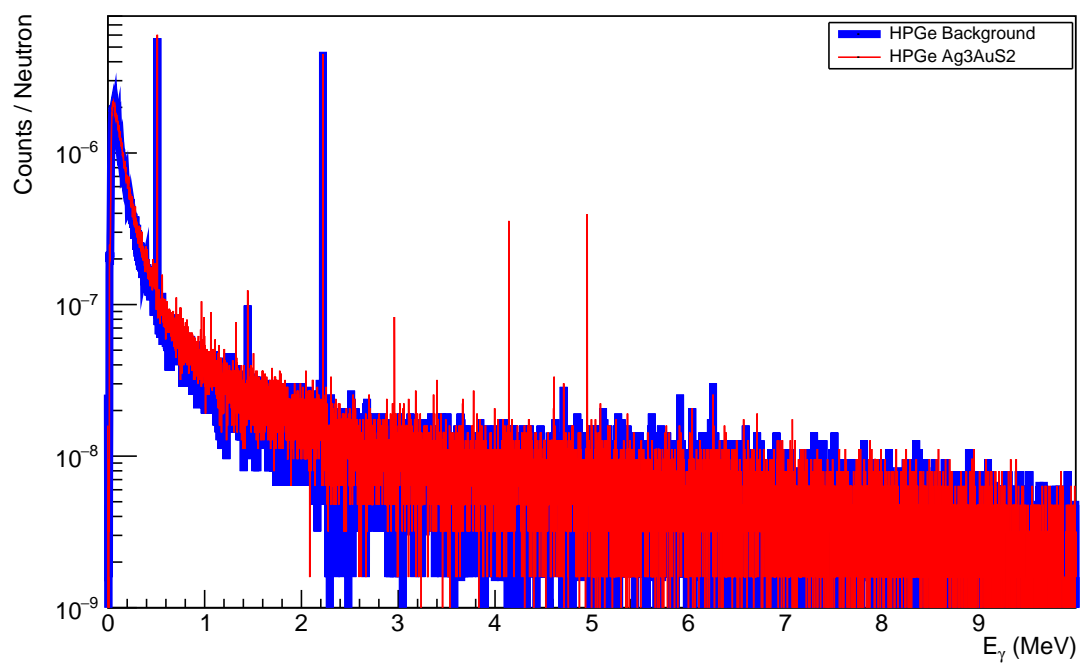


Рис. 3.4: Червоним - представлений спектор для Ag_3AuS_2 . Синім - фону

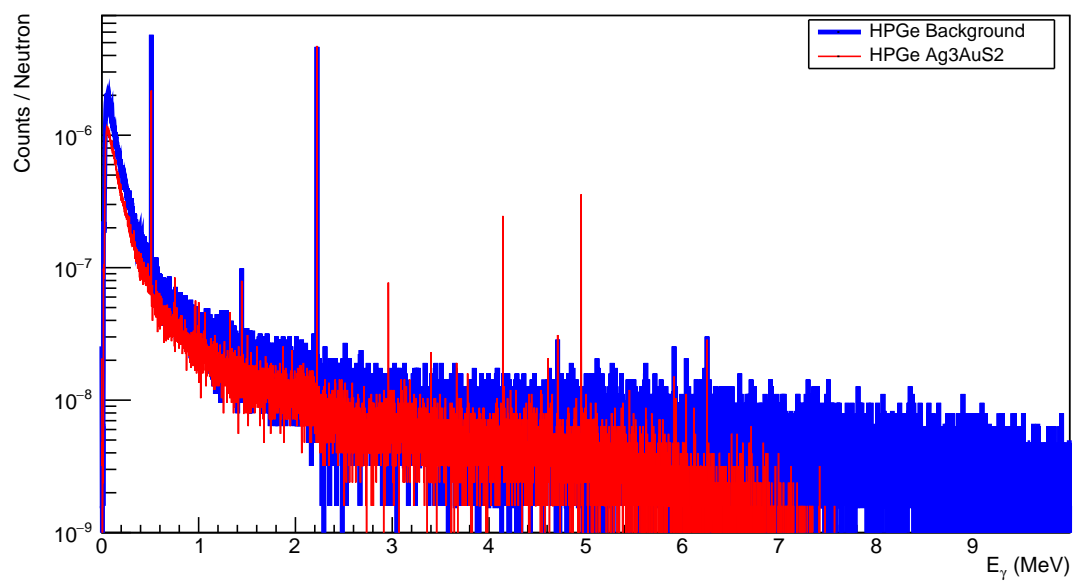


Рис. 3.5: Червона - лінія спектру, набраного за опромінення нейтронами 8.5 MeV

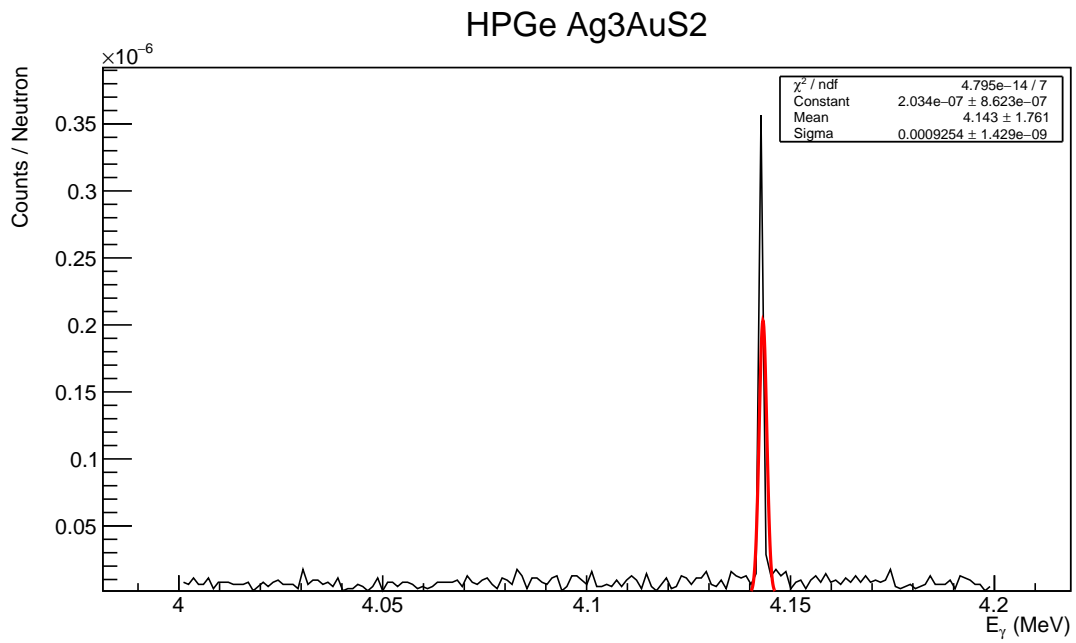


Рис. 3.6: Пік поблизу 4 MeV

3.4 Дослідження $Au(n, \gamma)$ реакцій

3.5 Аналіз спектрів $CuFeS_2$

Даний мінерал являється основною складовою мідної руди, спектор для нього представлений на Рис. 3.7 В високо енергетичній частині спе-

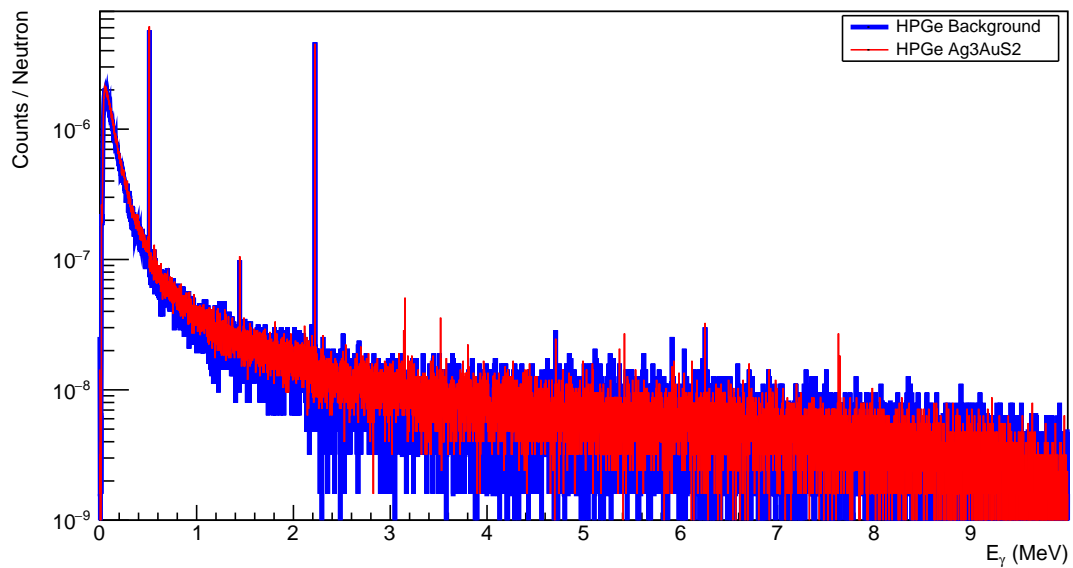


Рис. 3.7: Червоним - представлений спектор для $CuFeS_2$. Синім - фону

ктру можна спостерігати пік для S_2

3.6 Аналіз спектру U^{238}

<Мета набору> Було обрано збіднений уран, з наступним ізотопічним складом 99.27% – ^{238}U , 0.72% – ^{235}U , 0.005% – ^{234}U , У ході набору було отримано наступний спектр Рисю 3.8 На данному спектрі

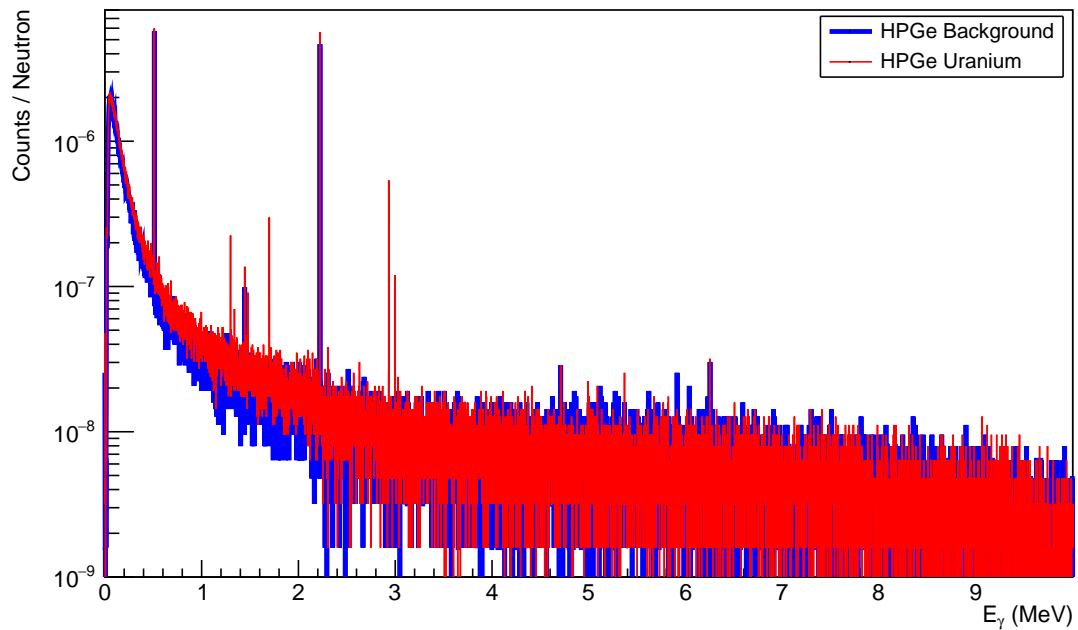


Рис. 3.8: Червоним - представлений спектор для U^{238} . Синім - фону

можна спостерігат

Література

- [1] *R.M. Keyser and T.R. Twomey* - Extended Source Sensitivity and Resolution Comparisons of Several HPGe Detector Types with Low-energy Capabilities
HPGe Detector Types
- [2] *Aatos Heikkinen, Nikita Stepanov Helsinki Institute of Physics, P.O. Box 64, FIN-00014 University of Helsinki, Finland Johannes Peter Wellisch CERN, Geneva, Switzerland* - Bertini intra-nuclear cascade implementation in Geant4 link
- [3] *Ю.В. Сереткин, Г.А. Пальянова Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН* - ИЗОМОРФНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ СЕРЫ СЕЛЕНОМ И МОРФОТРОПНЫЙ ПЕРЕХОД В РЯДУ $Ag_3Au(Se, S)_2$ link
- [4] *В. М. Округин¹, А. У. Ким* О рудах Асачинского золото-серебряного месторождения (Южная Камчатка) link