

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА

~~Фізичний~~ Фізичний
факультет Кафедра
ядерної ~~фізики~~ 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
Гапонова Валентина Вікторівна

Науковий керівник
~~докт.~~ канд. ф.-м. наук
Єрмоленко Руслан Вікторович

Робота заслухана на ~~засіданні~~ 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 захи-
стив кваліфікаційну роботу бакалавра з оцінкою _____

Голова ЕК _____

« ____ » _____ 2020 р.

Анотація

Гапонов В.В. "Дослідження можливості застосування нейтронно активаційного аналізу для пошуку корисних копалин в глибинах океану"

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.

Сьогодні дуже гостро ~~ставиться~~ставиться питання нестачі ресурсів, на ~~данний~~даний момент, вже вдалося досить точно знаходити та підтверджувати родовища на поверхні. Але згідно прогнозам цих родовищ вистачить не надовго, тому було звернено увагу на океани, які досіх пір повністю не дослідженні. Враховуючи умови проведення дослідження, для вирішення поставленої задачі був обраний нейтронно-активаційний аналіз. Ця робота проводилась надихаючись проектом "SABAT"[посилання] метою якого було створення системи пошуку відходів на дні Балтійського моря. Відповідно роботу можна розбити на такі етапи: вибір ~~найбільш підходящих~~ мінералів для тестування методу, моделювання геометрії за допомогою коду GEANT4, валідація моделі, аналіз отриманих ~~даних~~даних. За основні матеріали для дослідження були обрані $CuFeS_2$, Ag_3AuS_2 , U^{238} . Для валідації моделі відбувався набір спектру $C_4H_8Cl_2S$. Всі етапи були виконані, та також був проаналізований фоновий спектр ~~за відсутності мішені~~, для виявлення недоліків, та встановлення подальшого плану дій. **Ключові слова:** Нейтронно активаційний аналіз, HPGe, GEANT4, $CuFeS_2$, Ag_3AuS_2 , U^{238} , $C_4H_8Cl_2S$, SABAT

Formatted: Russian

Formatted: Russian

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 Вступ	2
2 Розділ 1	3
2.1 <i>QGSP_BERT</i>	3
2.2 Мультипоточність Geant4	4
2.3 Джерела нейтронів	5
3 Розділ 2	6
3.1 Геометрії моделювання	7
3.2 Чутливий об'єм детектора та захист	9
3.3 Код моделі	10
4 Розділ 3	12
4.1 Опис обробки спектру	12
4.2 Валідація моделі	13
4.3 Дослідження (n, γ) реакцій, Au та Cu	15
4.4 Аналіз спектрів Ag_3AuS_2	17
4.5 Аналіз спектрів $CuFeS_2$	18
4.6 Аналіз спектру U^{238}	19
5 Висновки	21
6 Додатки	22
Література	25

1 Вступ

З розвитком технологій та промисловості, забрудненням навколишнього середовища, ростом популяції населення, все частіше починає підніматись питання ~~нестані~~ вичерпання природних ресурсів. Особливо гостро це торкається ~~невідновлюваних невідновлюваних природних природних ресурсів ресурсів~~. З кожним роком ви-черпаних родовищ стає все більше. Так, наприклад, по оцінкам "Рим-ського клубу" ~~занає~~^[посилання] ~~запасів аномінієвих алюмінієвих~~ руд вистачить на 55 років, міді - 49 років, заліза - 173 роки, свинцю - 64 роки, хрому - 154 роки. Це змушує шукати нові родовища.

Formatted: Russian

Formatted: Russian

З іншого боку 3/4 поверхні планети вкриті океанами, а по різних даним дослідженню від 5% до 7% дна. Океанічне ~~дно~~^{яке} має плоский або горбистий рельєф, та в основному від 3,5 - 6 кілометрів ~~в~~ глибини~~и~~, але зустрічаються глибоководні жолоби до 11 кілометрів в глибину, їх най-більше Тихому океані.

~~Зарахунок~~^{За рахунок} досить складних умов і високого тиску, стандартні методи ~~аналізу~~^{аналізу} мінеральних порід за допомогою габаритного ~~обладнання~~^{обладнання} є дуже складними, а в деяких місцях такий ~~етап~~^{етап} пошуку родовищ як ~~буріння~~^{буріння} опорних та параметричних свердловин є не можливим.

На основі проекту SABAT (Stoichiometry Analysis By Activation Techniques) ^[посилання] - за мету в якому було поставлено пошук небезних речовин на дні Балтійського моря з використання нейтронно активаційного аналізу для неінвазивного дослідження об'єкту. Я допустив можливість використа- ння данного методу дослідження для отримання більш розгорнутої ін- формації про океанічне дно.

Formatted: Ukrainian

Formatted: Ukrainian

2 Розділ 1

2.1 Фізична модель QGSP_BERT

QGSP_BERT - ця фізична модель входить в перелік стандартних фізичних моделей розрахункового пакету Geant4. Базується на каскадній моделі Бертіні. Для валідації данної моделі необхідне виконання наступних умов $\frac{\lambda_B}{v} \gg \tau_c \Delta t$, λ_B - хвиля де-Броля для налітаючої частинки, v - швидкість налітаючої частинки, Δt - час між зіткненнями.

Та модель, яка лягла в основу коду, що реалізована в програмному пакеті Geant4 була протестована на частинках з енергіями від 100 MeV до 3 GeV.

В конструкторі данної фізичної моделі ініціалізуються наступні класи фізики:

- G4EmStandardPhysics
- G4EmExtraPhysics
- G4DecayPhysics
- G4HadronElasticPhysics
- *HadronPhysicsQGSP_BERT*
- G4StoppingPhysics
- G4IonPhysics

Кожен з класів наслідується від базового класу фізичної G4PhysicsConstructor.

Подібна архітектура дозволяє не дублювати код, та додавати лише не-об-

хідні процеси для моделювання.

QGSP_BERT_HP - це фізична модель що базується на даній - та має майже той самий перелік інкапсульованих класів, за виключенням наступних двох:

- *G4HadronElasticPhysicsHP*
- *HadronPhysicsQGSP_BERT_HP*

Ця фізична модель була створена для більш точного врахування процесів гальмування нейтронів в речовині, від енергій $E_n = 20$ MeV до $E_n = 0.0025$ eV (теплових). Ця фізична модель була провалідована на експерименті TARC

Тобто данний клас *QGSP_BERT* і *QGSP_BERT_HP* представляють собою інтерфеси ~~із~~ інкапсульованими в нього базовими фізики.
???? не зрозуміле речення.

2.2 Мультипоточність Geant4

Geant4 - написаний на об'єктно орієнтованій мові програмування C++, яка дає можливість використовувати мульти-поточну архітектуру, і отримувати більшу ~~продуктивність~~ продуктивність коду. При переносі процесу в інший потік, під процес бути виділене ядро тільки в тому випадку якщо воно не зай- нете іншим процесом, це призводить до зменшення швидкості виконня при збільшенні кількості потоків.
Речення не зрозуміле. Перефразувати.

При використанні мульти-поточної архітектури обов'язково необхідно дбати про синхронізацію потоків для безпечного виконання коду. Geant4 - використовує *G4MTRunManager* - данний клас наслідується від базового *G4RunManager* - але включає в себе реалізацію пулу потоків, ~~не~~ Це дає змогу контролювати кожен з об'єктів, ~~які~~ що створюється в рамках

пулу, та валідувати їх.

Так як при моделюванні потрібно, щоб кожен запуск відбувався з однаковими параметрами та за тієї ж самої геометрії, необхідно щоб класи інтерфейсу які відповідають за створення даних об'єктів були доступні для всіх об'єктів пулу.

2.3 Джерела нейтронів

Нейтронний генератор це одне з джерел нейтронів, в основі лежить $D(D, n)He^3$, та $D(T, n)He^4$, в реакції с тритієм утворюються нейтрони більш високих енергій, близько 14.2 MeV. Ядра D розганяються ~~від напруженої різниці~~ потенціалів 100-300 кВ і спрямовуються на мішень з тритія чи дейтерія. Максимальний енергетичний вихід даної реакції 18.3 MeV.

В основі ізотопних джерел нейтронів лежить (n, α) (ЩО У ВХІДНОМУ І ЩО У ВИХІДНОМУ КАНАЛІ, ЯКЩО ЦЕ ДЖЕРЕЛО НЕЙТРОНІВ) - реакція, в основному вона Як правило джерело собою представляє запаяну капсулу циліндричної форми, та діє по схожому принципу, як і генератор. Як джерело альфа частинок поміщується ізотопи Pu, Pb, за мішень Be, Li. Такі джерела нейтронів в більшості свої випромінюють нейтрони 2.8 MeV (який спектр ????)

3 Розділ 2 НАЗВА РОЗДІЛУ???

ПОТРІБНО ЗРОБИТИ ВСТУП ПРО ПОСТАНОВКУ ЗАДАЧІ,
РОЗПИСАТИ ГЕОМЕТРІЮ, ОПИСАТИ ВАЛІДАЦІЇ А ВЖЕ ПОТІМ
ПЕРЕХОДИТИ ДО ДОСЛІДЖУВАНИХ РЕЧОВИН

В рамках даного моделювання були розглянуті матеріали розглянуті в Таб. 3.1.

Назва	Хімічна склад	Ізотопний склад
Гірчичний газ	$C_4H_8Cl_2S$	$C^{12}, H^1, Cl^{35}, S^{22}$
Ютенбогардит	Ag_3AuS_2	$Ag^{108}, Au^{197}, S^{32}$
Халькопірит	$CuFeS_2$	Cu^{64}, Fe^{56}, S^{22}
Збіднений уран	U	99.27% U^{238} , 0.7% U^{235} , 0.005% U^{234}

Табл. 3.1: Елементи та ізотопи які входять до їх складу

(Підпис у таблиці має бути зверху)

Найбільш інтенсивні піки для кожного з елементів розглянуті в

Табл.

3.2, використовувались елементи з бази доступної в Geant4

Елемент	Енергія, MeV
Cl	0.79, 1.17, 1.94, 2.12, 6.12, 7.79, 8.58
H	2.23
C	4.44
Fe	7.64, 9.30
S	2.96, 4.73

<i>Cu</i>	
<i>U</i>	1.26
<i>Ag</i>	0.74, 6.26
<i>Au</i>	0.67, 1.087, 2.24, 1.37

Табл. 3.2: Таблиця енергій найбільш інтенсивних піків

3.1 Геометрії моделювання

Змодельована геометрія схожа на ту яка використовувалась у проекті SABAT ~~[посилання]~~ Рис. 3.1, але с наступними відмінностями:

по-перше ~~(А ДЕ ПО ДРУГЕ, ПО ТРЕТЄ.)~~ не моделювався корпус самої ~~сабмарини-субмарини~~ так як в він не ніс жодного корисного навантаження при проведенні розрахунків, детектор та джерело були рознесені на дещо більшу відстань, та ~~номінальні місяцями~~ ~~змінені їх положення~~, також на данному ~~етані-етапі~~ було вирішено відмовитись від моделювання морського дна, так як це дуже ~~суттєва-суттєво~~ знижувало ефективність виконання коду. Також було приділено більшу увагу моделюванню захисту детектора.

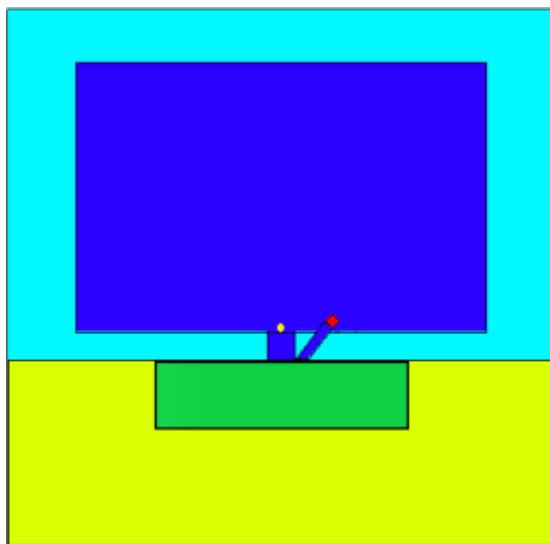
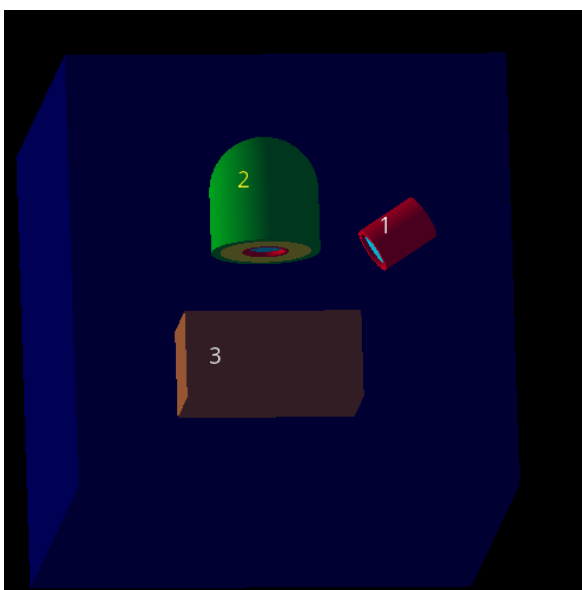


Рис. 3.1: Геометрія проекту SABAT

Геометрія яка використовувалась для набору спектрів зображена на

Рис. 3.2, довжина ребра кубу середовища 1 м., довжина ребра бічної поверхні мішені (Рис. 3.2 - 3) 40 см., від мішені до чутливого об'єму детектора 30 см., від чутливого об'єму до джерела 30 см., (відстані задані не

враховуючи зовнішній захист) матеріал середовища був взятий з запропонованою бази матеріалів Geant4 - "G4_WATER". Джерело нейтронів поміщене в направляючий об'єм (Рис. 3.2-1), який виготовлений з тонкого шару свинцю. Чутливий об'єм детектора ~~поміщений~~розміщений у ~~захист зі~~ свинцю, бору, та ~~алюмінія~~алюмінію, направляючі об'єми



заповнені повітрям (G4_AIR)

Рис. 3.2: Геометрія моделі, 1 - джерело і його направляючий об'єм, 2 - захист детектора та детектор, 3 - мішень

Для спрощення моделювання точкове джерело нейтронів було розміщене всередині ~~набравляючого~~направляючого ~~коаксіального~~коаксіального об'єму Рис. 3.2 (червоно-го кольору), під кутом для того щоб більша кількість нейтронів потрапляла в поверхню яка безпосередню знаходиться під чутливим об'ємом детектора

3.2 Чутливий об'єм детектора та захист

Для моделювання чутливого об'єму був обраний надчистий германій, з діаметром 60.6 міліметрів, та довжиною 56.7 міліметрів. Рис. 3.3

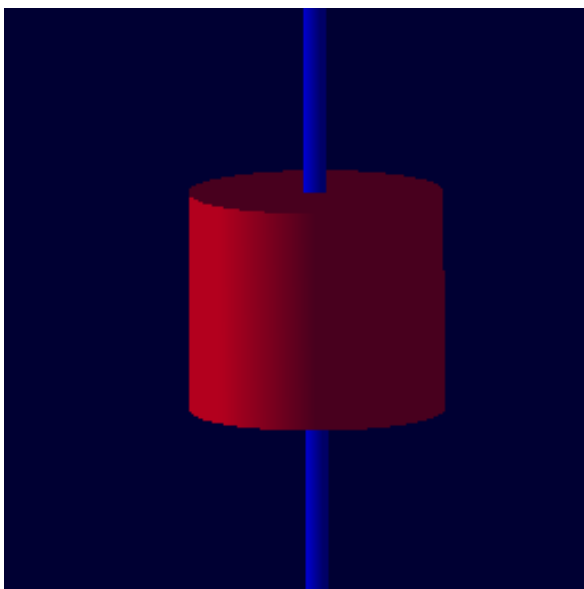


Рис. 3.3: Форма чутливого об'єму

Детектор буде розміщений поряд з джерелом нейтронів високих енергій, 14.5 MeV (Чому 14.5 ??? а не 14.2). Тому детектор був розміщений у трьох шаровий захист. Рис. 3.4

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 ядрах водню. Для поглинання теплових нейтронів перед чутливим об'ємом

детектора був обраний B^{10} . Використовується в ПВЕД-ах для контролю кількості теплових нейтронів в активній зоні реакторної установки ВВЕР.

$B^{10}(n, \alpha\gamma)Li^7$, Переріз захоплення нейтрона $B^{10} \sigma = 3380$ барн. $E_\gamma =$

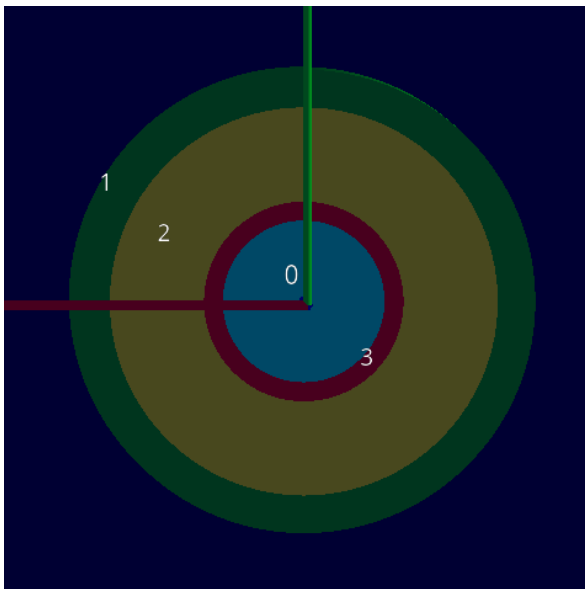


Рис. 3.4: Захист детектора, Al - 1 (зелений) товщина 2 см., В - 2 (жовтий) товщина 5 см., Pb - 3 (червоний) товщина 1 см. 0 (Блакитний) шар повітря

480 кеВ, реакція з вильотом γ - кванту ~~протікає відбувається~~ з ймовірністю 0.94%.

Для зовнішнього корпусу захисту чутливого об'єму використовувався Al^{26} (чому індекс справа??)- товщиною 1 см на Рис. 3.4 - зображений зеленим кольором

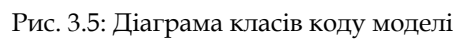
За ~~приклад~~ основу для моделювання було взято розміри детектора N21879A виробника ~~від~~ ORTECAMETEK (Про це варто сказати там, де вказуються розміри детектора), ~~параметри розмірів були взяті від офіційного дистриб'ютера.~~

3.3 ~~Код моделі~~ Опис програмної моделі

~~Цілью~~ Могою метою було написати максимально зручний код для набору спектрів за різних умов та на різних мішенях, тому були

створені абстрактні класи для створення геометричних об'єктів. Для зручності створення матеріалів були створені структури. Та для пришвидшення роботи були всі можливі константи ініціалізувалися на етапі компіляції. Для по-

QGSP_BERT_HP та *QGSP_BERT*, для проведення моделювання була обрана *QGSP_BERT* - так як на данному станді для даної задачі вона виявилась більш нідходящою прийнятною, — (через вищу продуктивність).



QGSP_BERT_HP та *QGSP_BERT*, для проведення моделювання була обрана *QGSP_BERT* - так як на данному станді для даної задачі вона виявилась більш нідходящою прийнятною, — (через вищу продуктивність).

4 Розділ 3 НАЗВА РОЗДІЛУ

4.1 Опис обробки спектру

В результаті моделювання, чутливим об'ємом набирались апаратні спектри (ХІБА СПЕКТРИ НАБИРАЮТЬСЯ ОБСМОМ, ТРАБА НАПИСАТИ БІЛЬШ КОРРЕКТНО), для чутливого об'єму було встановлено 16384 біни. Далі для [√]наближення спектру до реального, була проведена його сглажування за наступної формулою $\Delta E = 2.36 F \sqrt{w}$, 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 спрощенна 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. В моїй роботі для зглажування спектру були взяті наступні параметри Табл. 4.1

Параметр	Значення	Розмірність
F	0.13	-
w	3.62	eV

Табл. 4.1: Таблиця значень для уширення піків

Фон Рис. 4.1 набирался за тих тої самої геометрії Рис. 3.1, але за відсутності мішені (коричневий паралелепіпед), у фоні були проаналізовані наступні три піки: Н з $E_\gamma = 2.23 \text{ MeV}$, та два піки які отримались за рахунок захоплення теплових нейтронів Ge з $E_\gamma = 0.505 \text{ MeV}$, $E_\gamma = 1.42 \text{ MeV}$ - це означає, що даної геометрії частина нейтронів від джерела

проходячи через захист потрапляє в чутливий об'єм детектора, та призводить до його руйнації. Данні піки відповідають пікам $Ge^{72}(n,\gamma)Ge^{73}$

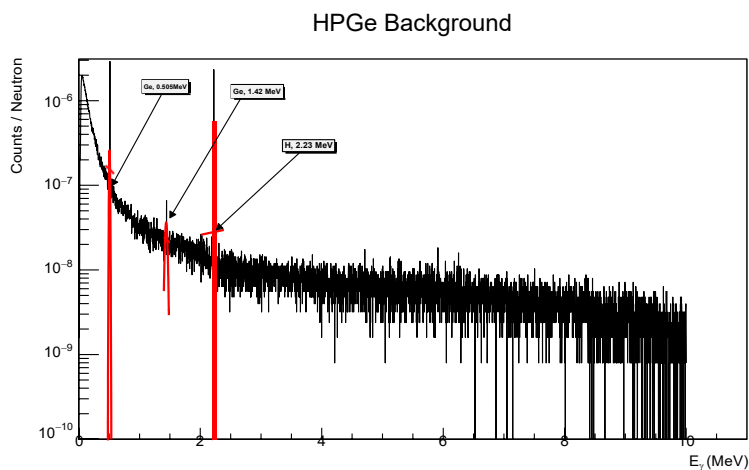


Рис. 4.1: Фон

- реакції з нейтронами енергій близькими до теплових - $E_n = 0.025\text{eV}$.
 Ge^{72} -основний ізоотоп Ge, і саме він використовується в основі чутливого об'єму.

E_γ , MeV	ΔE , MeV	$I = I_\gamma/I_b$	ΔI
0.505	0.008	12	3
1.420	0.004	20	4
2.230	0.003	22	4

Табл. 4.2: Фонові піки

4.2 Валідація моделі

Для підтвердження можливості проведення наборів на моїй моделі був набраний спектр для Гірничного газу ($\text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_2\text{S}$). Рис 4.2. Та порівняний з отриманим спектром ~~набраним заданою коду для моделювання MCNP~~ в проєкті SABAT. Це ~~спектор-спект~~ набрався для валідації мо-

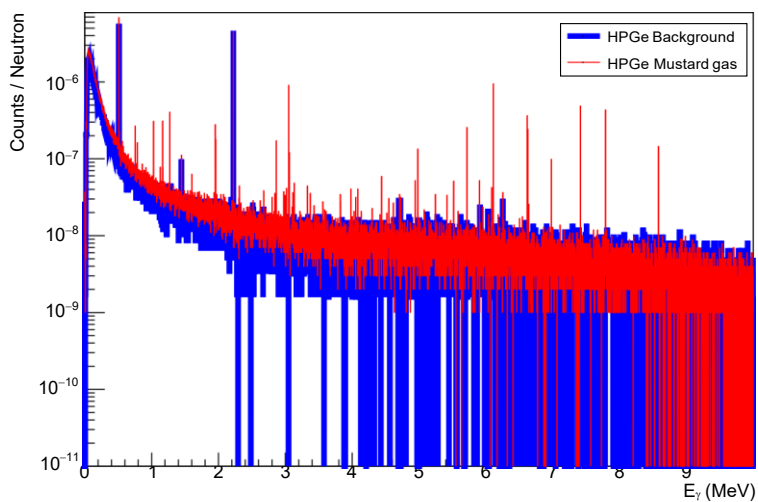


Рис. 4.2: Червоним - представлений спектр для Гірничного газу. Синім - фону

делі - тому до уваги бралися лише ті піки, які були вказані в проекті SABAT. Табл. 4.3

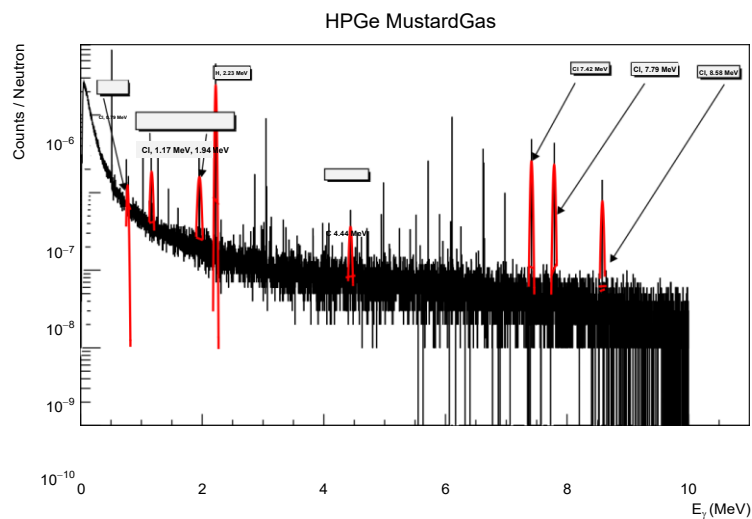


Рис. 4.3: ~~Ініціалізація~~ Ініціалізація піків, Cl, H, C - в спектрі гірничного

газу

E_γ , MeB	ΔE , MeB	$I = I_\gamma/I_b$	ΔI	Елемент
0.79	0.008	12	3	Cl
1.165	0.004	20	4	Cl
1.95	0.003	22	4	Cl
4.44	0.003	22	4	C
7.41	0.003	22	4	Cl
7.78	0.003	22	4	Cl
8.58	0.003	22	4	Cl

Табл. 4.3: Піки гічичного газу - $C_4H_8Cl_2S$

4.3 Дослідження (n, γ) реакцій, Au та Cu

$Au^{197}(n, \gamma)Au^{198}$ - реакція захоплення нейтрона, переріз захоплення нейтронів в залежності від енергії зображено на Рис. 4.4.

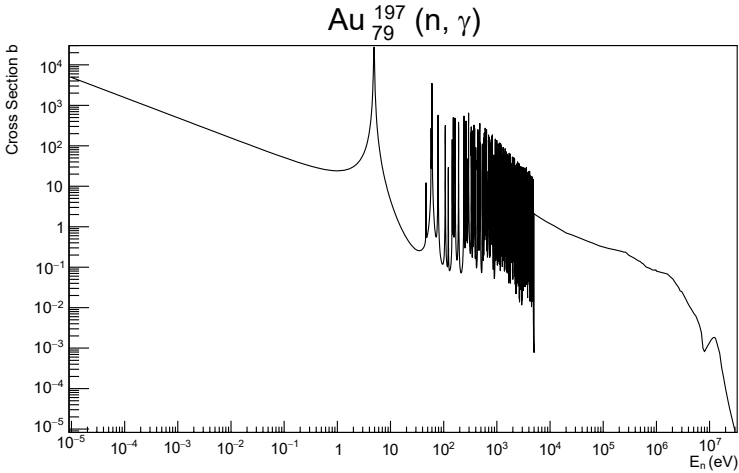


Рис. 4.4: Залежність захоплення нейтрона від енергії нейтронів в реакції $Au^{197}(n, \gamma)Au^{198}$

Au^{198} - ізоотп, має 2 - рівні в результаті розпаду з яких випромінюються гамма кванти, $T_{1/2} = 2.6$ днів. На Рис. 6.3 зображено перехід

збудженого $J\pi$ 12- на J/π 2- з якого у даного ізотопу відбувається β^- розпад до стабільного Hg^{198} .

Hg^{198} - має два збуджені рівні $J\pi$ 2+ - перехід з в основний стан відбувається з випромінення γ -кванту $E_\gamma = 1087 \text{ keV}$, каскадний перехід є основним способом переходу на стабільний рівень Hg^{198} , відбувається з випромінення двох γ -квантів $E_\gamma = 675 \text{ keV}$ та $E_\gamma = 411 \text{ keV}$.

На Рис. 4.4- гарно видно що є резонансна область поглинання нейтронів розтягується до декількох кеВ.

$E_n, \text{ eV}$	$E_\gamma, \text{ keV}$	$\Delta E_\gamma, \text{ keV}$	$I_\gamma/100n$	ΔI
4.9	6252.6	0.7	40.0	1.6
4.9	6457.8	0.7	20.4	0.5
4.9	5710.7	0.7	10.1	0.7
60	6061.3	0.9	16.2	1.5
60	5710.7	0.7	16.0	1.5
78	4958	1.0	10.5	0.6
107	5808.2	0.9	17.3	1.0

Табл. 4.4: E_γ , для нейтронів з енергіями поблизу резонансної області для Au^{197}

В реакції $Cu^{64}(n, \gamma)Cu^{65}$ переріз захоплення теплового нейтрона σ

$= 2.1 \times 10^3 \pm 1.9 \times 10^3$ барн. Cu^{65} - стабільний елемент. $Cu^{65}(n, \gamma)Cu^{66}$. Для даного ізотопу спостерігається існування резонансної області в діапазоні десятків кеВ. Рис. 4.5. Cu^{66} - нестабільний ізотоп, якому притаманний β^- розпад в Zn^{66}_{30} $T_{1/2} = 5.12$ хвилини. Zn^{66} - стабільний ізотоп з основним рівнем $J\pi$ 0+. β^- - розпад Cu^{66} в основному відбувається у стабільний стан, але є ймовірність розпаду на $J\pi$ 1+ рівень, з подальшим випромі-

нення γ - кванту з енергією $E_\gamma = 1039$ кеВ. Рис. 6.4

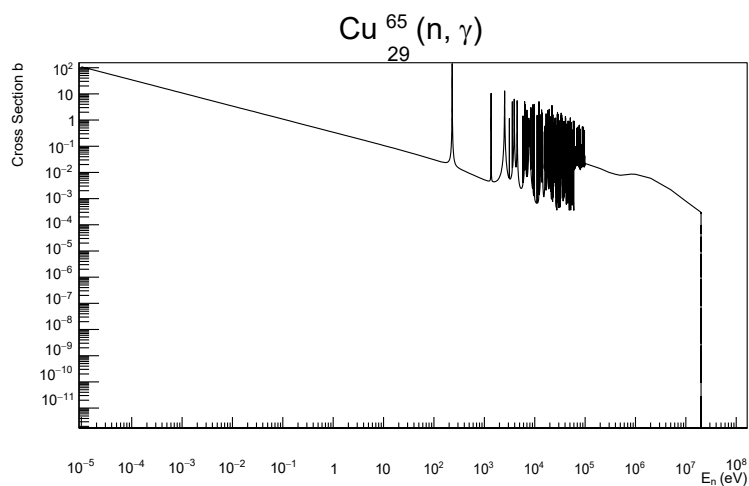


Рис. 4.5: Залежність захоплення нейтрона від енергії нейтронів в реакції $\text{Cu}^{65}(n, \gamma)\text{Cu}^{66}$

4.4 Аналіз спектрів Ag_3AuS_2

~~За матеріал було обрано~~ Виконано аналіз можливості детектування ютенбогардтита Ag_3AuS_2 . ~~Родовища з данни~~ми мінералами були знайдені на ~~камчатці~~ Камчатці ~~ні поблизу~~ поблизу ~~небережжя~~. Данний мінерал відноситься до рідкісних золотоносних руд, ~~зустрічається~~ зустрічається в при-роді у твердому стані. Був знайдений на Камчатських родовищах. Рис.

4.6 Данний спектр ~~рр~~ і фон були набрані при опроміненні нейтронами з джерела максимальної енергії 14.5-2 MeV. Для порівняння було проведено опромінення за допомогою нейтронів енергії 8.5 та 2.8 MeV. Рис.

6.1 Внабраному спектрі при енергіях нейтронів з джерела 8.5 MeV, були проаналізовані наступні піки. ЯКІ НАСТУПНІ?? Для того щоб проаналізувати залежність можливості використання ізотопних джерел був набраний спектр ~~з~~ за енергій нейтронів 2.8 MeV. Рис. 6.2

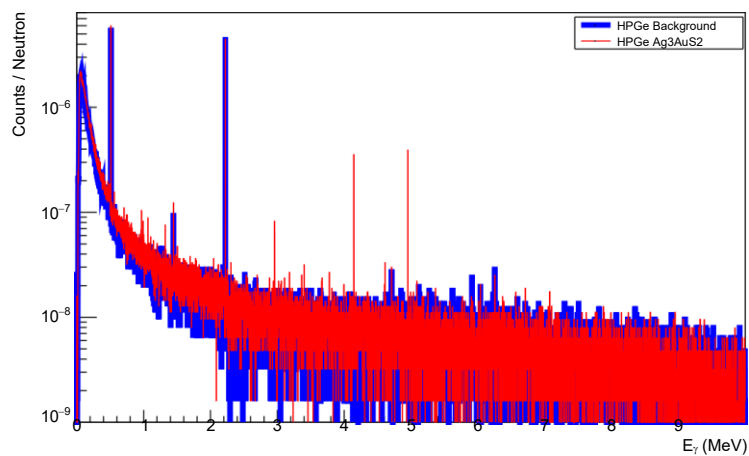


Рис. 4.6: Червоним - представлений спектр для Ag_3AuS_2 . Синім - фону

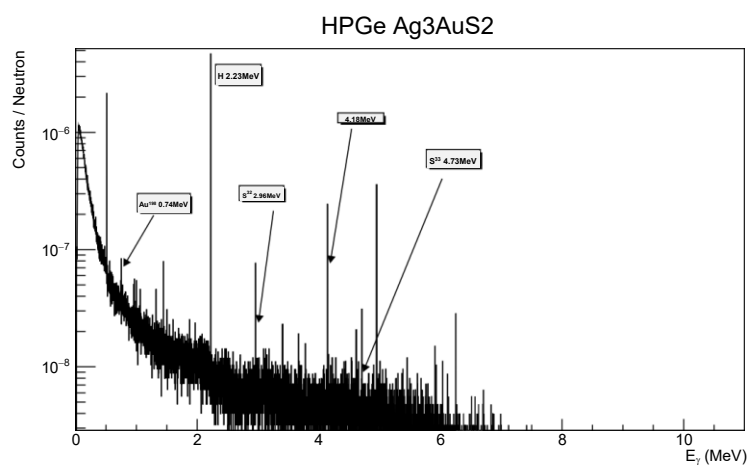


Рис. 4.7: Спектр Ag_3AuS_2 , $E_n = 8.5 MeV$

ТРЕБА ЗРОБИТИ ЯКІСТЬ ВИСНОВКИ ПРО ЧУТЛИВІСТЬ.
—енергія нейтронів з джерела

4.5 Аналіз спектрів $CuFeS_2$

Даний мінерал ~~являється~~ є основною складовою мідної руди,

спектр для нього представлений на Рис. 4.8 В високо енергетичній частині спектру можна спостерігати пік для S_2

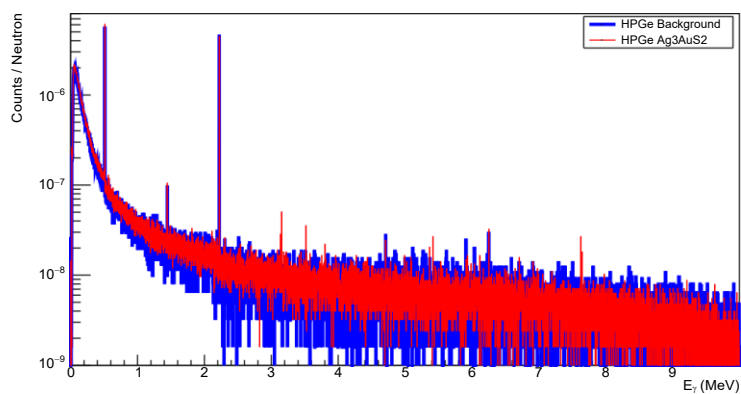


Рис. 4.8: Червоним - представлений спектор для $CuFeS_2$. Синім - фону

4.6 Аналіз спектру U^{238}

<Мета набору> Було обрано ~~збіднений~~збіднений уран, з наступним ізопоп-чним складом 99.27% – ^{238}U , 0.72% – ^{235}U , 0.005% – ^{234}U , у ході набору було отримано наступний спектор Рисю 4.9 На данному спектрі

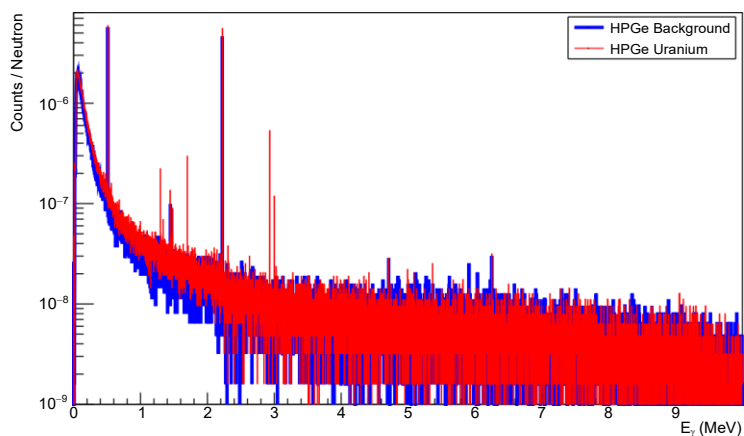


Рис. 4.9: Червоним - представлений спектор для U^{238} . Синім - фону

можна спостерігат

НЕ ДОПИСАНО. ТРЕБА ЗРОБИТИ ОЦІНКУ ЧУТЛИВОСТІ

5 Висновки

Formatted: Character scale: 100%

5 ЯКА ЗАДАЧА БУЛА ПОСТАВЛЕНА І ЩО ЗРОБЛЕНО.

Formatted: Indent: Left: 0.57", No bullets or numbering

У роботі була змодельована спрощена ~~версія~~ системи яка дає змогу досліджувати, та ідентифікувати речовини ~~які-що~~ знаходяться не лише на поверхні океанічного дна, при достатніх потоках нейтронів, та необхідно- го рельєфу. ~~???? НЕ ЗРОЗУМІЛЕ РЕЧЕННЯ,~~

~~Модель була успішно пройшла валідацію на спектрі для гірничного газу з проекту SAVAT.ПРОВЕДЕНО ВАЛІДАЦІЮ МОДЕЛІ,~~

Проведення набору спек~~т~~рів для нейтронів різних енергій дало, можли- вість виявити та зареєструвати недоліки данної моделі та геометрії.

~~На данному стані-б~~уло проведено перевірку використання данної моделі для обмеженої кількості речовин. Та згідно з результату, подібна модель має можливість для застосування, для високо збагачених руд.

Встановлення відстань від джерела нейтронів до досліджуваної речовини може варіюватись і бути більшою за 30 см. - енергіях нейтронів 14 MeV. Також було визначено що при використанні напівпровідниково-го детектора, відстань між джерелом та детектором однозначно повинна бути більшою за 30 см.

Використання захисту детектора з B^{10} - є недостатньо ефективним.

ЧОМУ ЙОГО НЕ ЗРОБИЛИ БІЛЬШ ЕФЕКТИВНИМ??

Також було встановлено що використання ізотопних джерел нейтронів є не доцільним

ЯКИМ ЧИНОМ??

НЕ ТРЕБА ПИСАТИ КУПУ ВИСНОВКІВ, ЯКІ НЕ ЗМОЖЕТЕ ЧІТКО АРГУМЕНТУВАТИ. КОРОТКО І ЧІТКО ЩО ТРЕБА БУЛО ЗРОБИТИ І ЩО ЗРОБЛЕНО, ЗАКОЖНЕ НАПИСАНЕ

| СЛОВО У ВИСНОВКАХ ТРЕБА БУЛЕ ВІДПОВІДАТИ НА ЗАХИСТІ,

6 Додатки

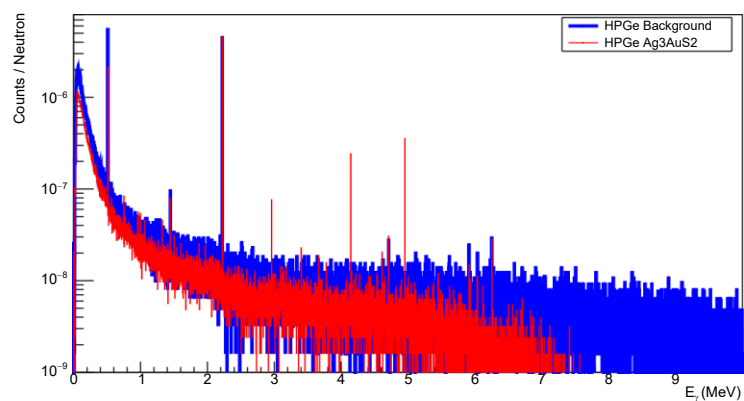


Рис. 6.1: Червона - лінія спектру, набраного за опромінення нейтронами 8.5 MeV

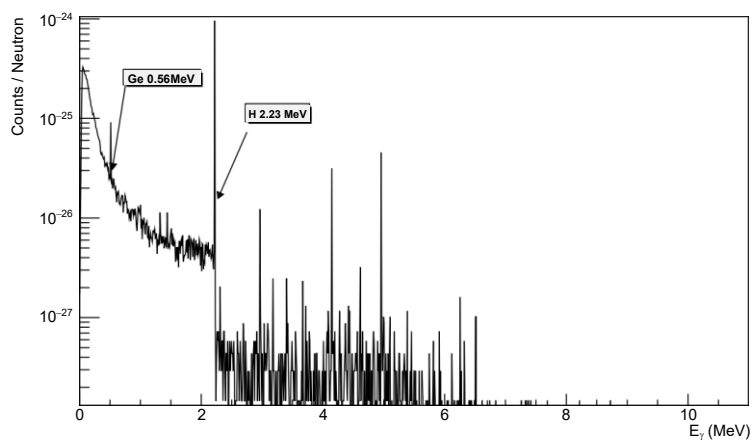


Рис. 6.2: Червона - лінія спектру, набраного за опромінення нейтронами 8.5 MeV

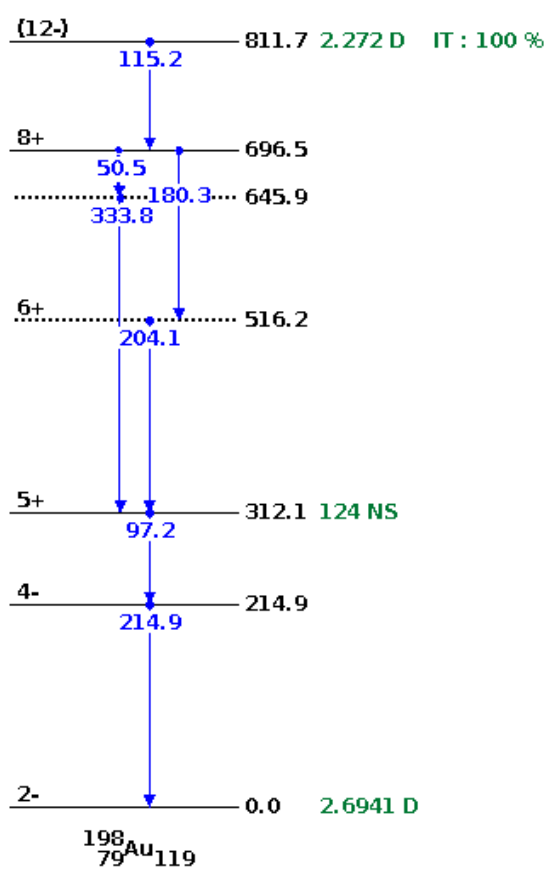


Рис. 6.3: Au^{198} Рівень $J\pi 12-$

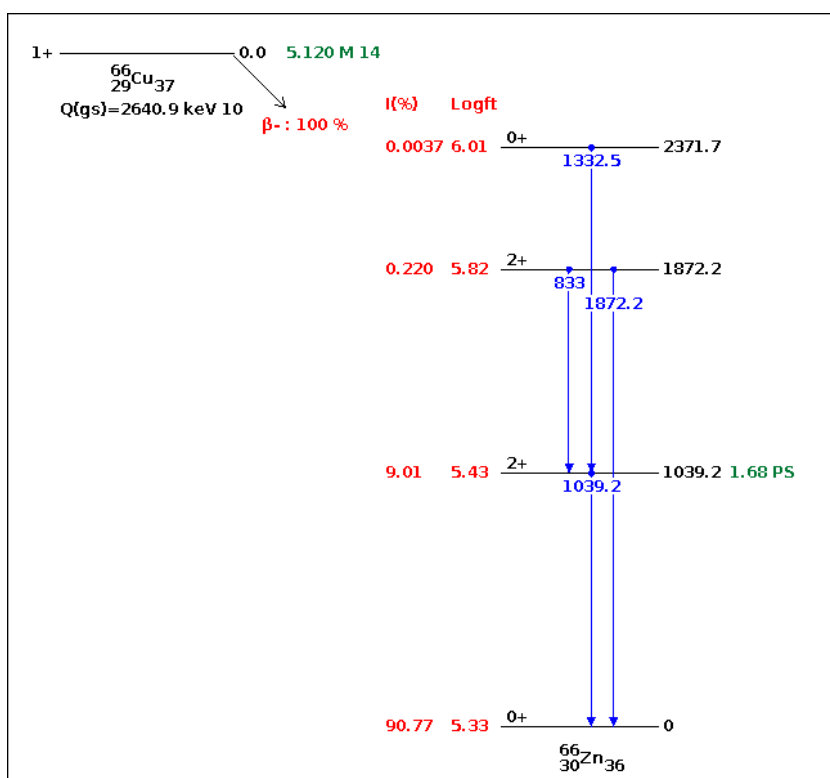


Рис. 6.4: $\text{Cu}_{29}^{66}, \beta^- \tilde{\nu}) \text{Zn}_{30}^{66}$ Схема розпаду та збудженні рівні Zn^{66}

Література

- [1] *R.M. Keyser and T.R. Twomey* - Extended Source Sensitivity and Resolution Comparisons of Several HPGe Detector Types with Low-energy Capabilities
- [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
- [3] *Ю.В. Сереткин, Г.А. Пальянова Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН* - ИЗОМОРФНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ СЕРЫ СЕЛЕНОИМОРФОТРОПНЫЙ ПЕРЕХОД В РЯДУ $Ag_3Au(Se,S)_2$
- [4] *В. М. Округин1, А. У. Ким* О рудах Асачинского золото-серебряного месторождения (Южная Камчатка)
- [5] *Омельчук О.В., Загнітко В.М., Курило М.М.* ПОШУКИ ТА РОЗ-ВІДКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА Навчально-науковий інститут «Інститут геології»
- [6] *Experimental Nuclear Reaction Data*
- [7] *O. A. Wasson, R. E. Chrien, M. R. Bhat, M. A. Lone, and M. Beer* $Au^{197}(n, \gamma)Au^{198}$ Reaction Mechanism
- [8] *I.A.Kondurov, A.I.Egorov, M.Kaminker, E.M.Korotkikh, A.M.Nikitin* Neutron capture cross sections measurements for Co58m, Cu64, and Sc46
- [9] *Geant4 Collaboration* Book For Application Developers Release 10.3

- [10] *Alexander Howard, Gunter Folger, Jose Manuel Quesada, Vladimir Ivanchenko* Validation of Neutrons in Geant4 Using TARC Data - production, interaction and transportation