

О. Сич, Г. Васильєва, А. Запорожець, Т. Юрчишин, О. Алб

Лабораторна робота №4.

**ВИВЧЕННЯ ЯДЕРНО-ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДІОНУКЛІДІВ
УТВОРЕНИХ У РЕАКЦІЯХ (n, f) З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗИ ДАНИХ
МІЖНАРОДНОЇ АСОЦІАЦІЇ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**



©Сич О.
©Васильєва Г.
©Запорожець А.
©Юрчишин Т.
©Алб О.

Ужгород - 2023

Лабораторна робота №4.

ВИВЧЕННЯ ЯДЕРНО-ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДІОНУКЛІДІВ УТВОРЕНИХ У РЕАКЦІЯХ (n, f) З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗИ ДАНИХ МІЖНАРОДНОЇ АСОЦІАЦІЇ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Мета роботи: навчитись працювати з базою даних Міжнародної асоціації з атомної енергетики

Завдання роботи: за допомогою бази даних Міжнародної асоціації з атомної енергетики знайти

- (1) відомості про типи, енергію і канали розпаду радіонуклідів;
- (2) особливості реакцій (n, f) і утворення уламкових радіонуклідів;
- (3) навчитись використовувати базу даних Міжнародної асоціації з атомної енергетики для розрахунку утворення радіоактивних елементів медичного призначення

Прилади і матеріали: зошит з лабораторних робіт, комп'ютер або ноутбук під'єднаний до мережі інтернет.

Короткі теоретичні відомості

Важкі ядра при певних умовах можуть ділитися на приблизно рівні за масою ядра-уламки. Поділ важких ядер може відбуватися при захопленні ядром нейтрона, при збудженні ядра гамма-квантом і зарядженою частинкою. Ядра торію, урану, та важчі за них можуть ділитися спонтанно з дуже малою імовірністю. Процес ділення ядер ^{235}U може відбуватися різними способами з утворенням різних ядер уламків, але так щоб задовольнялися закони збереження числа нуклонів та числа протонів. Значний час життя природних ізотопів урану пояснюється наявністю потенціального бар'єру, який перешкоджає взаємовіддаленню фрагментів (рис. 1). Зростання енергії ядра при малих деформаціях пояснюється більш швидким зростанням поверхневої енергії $E_{\text{пов}}$ порівняно зі зменшенням кулонівської енергії $E_{\text{к}}$.

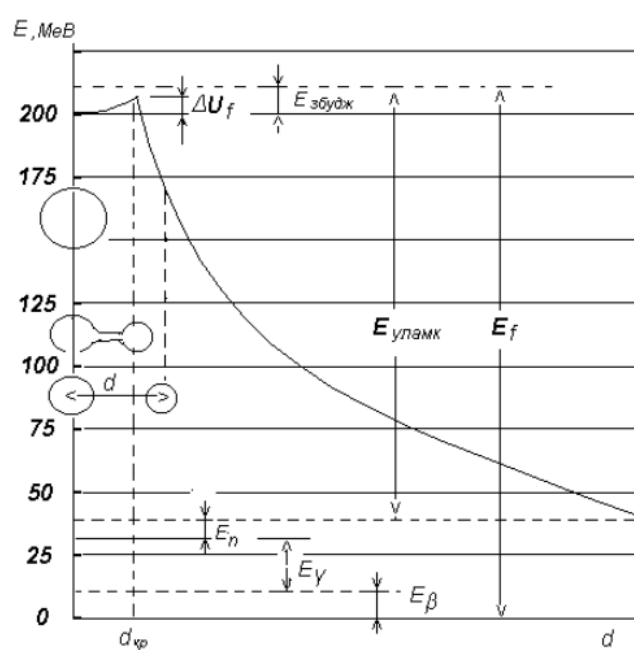


Рис. 1. Залежність потенціальної енергії ядра від відстані d між центрами мас уламків (за даними [1]).

Висота потенціального бар'єру ΔU_f зменшується з ростом параметра ділення Z^2/A . При $Z^2/A \geq 45$ ядра починають ділитися практично миттєво. Це відбувається при захопленні теплового нейтрона, поділ ядер може відбуватися досить швидко. У такому випадку мова йде про ініційований поділ ядер урану, на відміну від спонтанного (самовільного) поділу. Реакцію можна записати так:



Це означає, що ядра $^{235}_{92}\text{U}$ опромінюються нейтронами (n) і при цьому утворюються уламкові радіонукліди (f) (продукти поділу, *fission radionuclides*)

Енергія, яка виділяється при поділі ядер $^{235}_{92}\text{U}$ тепловими нейтронами становить 204,6 МеВ, з них близько 170 МеВ виділяється у вигляді кінетичної енергії ядер-уламків поділу; 4,8 МеВ припадає на нейтрони, які вивільнюються при поділі, близько 24 МеВ залишається в радіоактивних ядрах – уламках і виділяється при їх радіоактивному розпаді. Решту енергії забирають миттєві гамма-кванти, які утворюються у момент поділу ядра. Якщо нейтрони, які вивільнились із ядра урану сповільнити, то вони можуть ініціювати поділ наступного ядра урану. У такому випадку реакція починає бути ланцюговою, як зображено на рисунку 2.

Ланцюгова ядерна реакція

Нейтрони, що вивільнилися, у свою чергу можуть викликати поділ наступних ядер Урану.

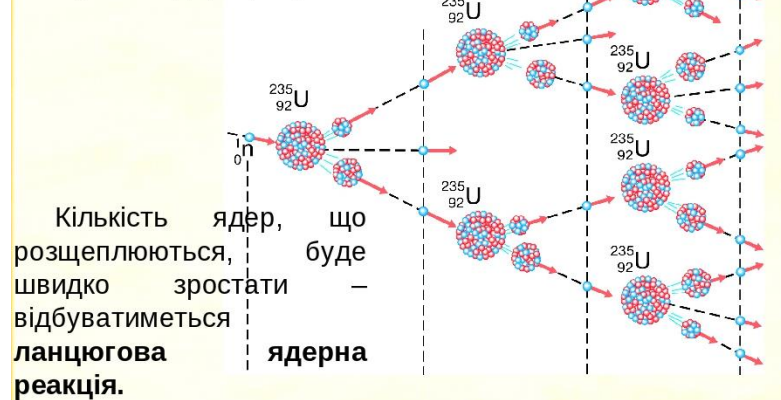


Рис. 2. Схематичні зображення процесу поділу ядер урану тепловими нейтронами (ланцюгова ядерна реакція – основа атомної енергетики) [4].

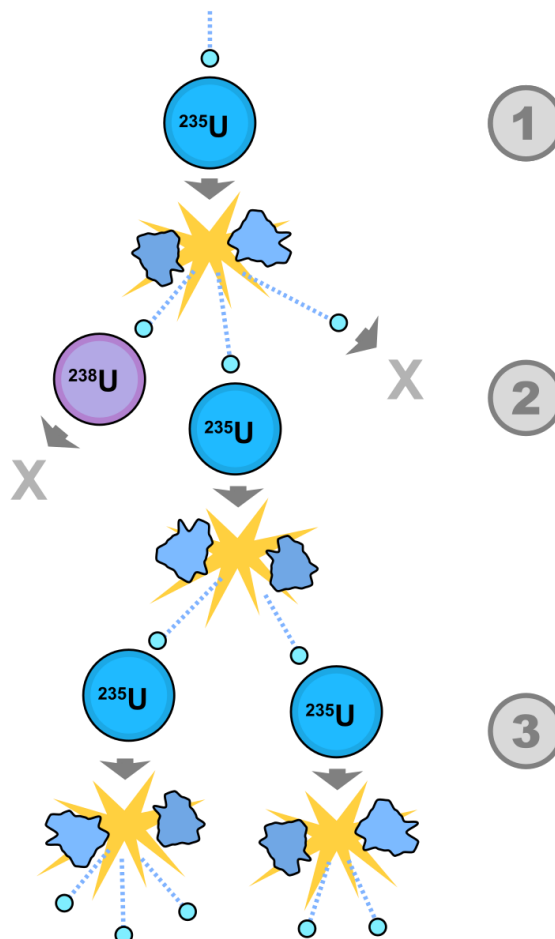


Рисунок адаптовано з інтернет-ресурсу. Автор: User:Fastfission - Власна робота, Суспільне надбання (Public Domain),

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=522592>

Уламки ядер урану у свою чергу також є радіоактивні. Зазвичай вони бета-радіоактивні. Приклади ланцюгів бета-розпаду наведено нижче:

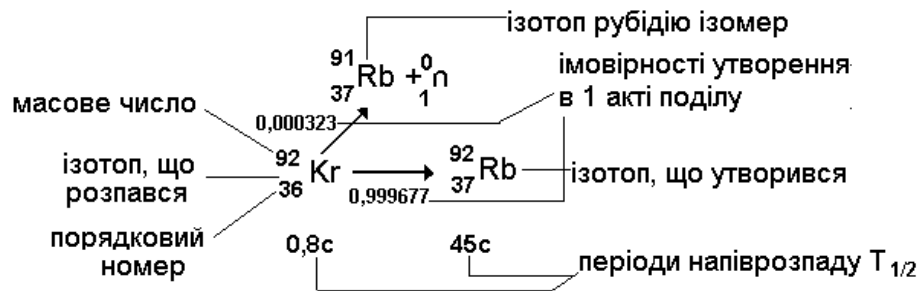


Рис.2. Головні позначення та величини, що використовувались при написанні ланцюгів розпаду

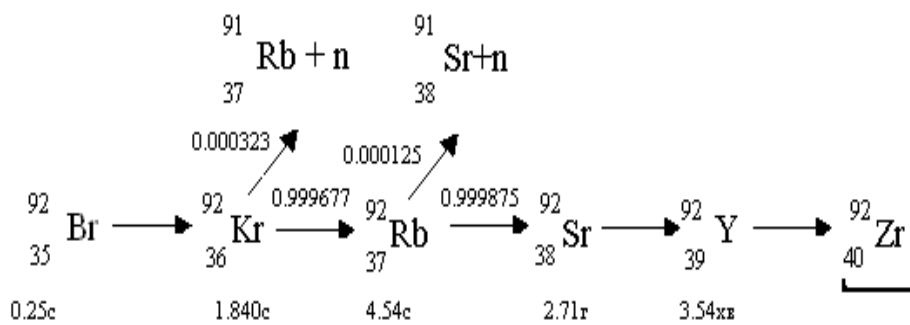


Рис. 3. Ланцюг розпаду з масовим числом $A=92$, адаптовано із ресурсу [5].

У таблиці 1. приведені основні продукти поділу ^{235}U та їх ядерно-фізичні характеристики, такі, як Φ - імовірність утворення в 1 акті поділу, (%) E_1 -енергія першого γ -кванта, Кев; N_1 – кількість γ -квантів (1) на один розпад фрагмента, (%); E_2 -енергія другого γ -кванта, Кев; N_2 - кількість γ -квантів (2) на один розпад фрагмента, (%); $T_{1/2}$ - період напіврозпаду радіонукліду

Таблиця 1. Продукти поділу ^{235}U та їх ядерно-фізичні характеристики, дані взяті із ресурсу [5]

Радіо нуклід	Mr	Φ ,%	$T_{1/2}$, хв	$T_{1/2}$ поп, хв	E_1 , КеВ	N_1 , (%)	E_2 , КеВ	N_2 , (%)
--------------	----	-----------	----------------	-------------------	-------------	-------------	-------------	-------------

³⁵ Br	84	0,93	31,8	3,3	881,6	44	1897,7	14
³⁶ Kr	88	3,0	171,6	0,3	775,2	77	802,1	15,8
³⁷ Rb	88		17,8	171,6	1836	23	898	15
³⁷ Rb	89		15,6	3,18	1031,9	63,6	1248	46,7
<u>³⁸Sr</u>	<u>92</u>	<u>6,15</u>	<u>162,6</u>	<u>0,11</u>	<u>1383,9</u>	<u>90</u>	<u>963,4</u>	<u>3,6</u>
³⁹ Y	92	6,03	3,54	162,7	934,5	13,8	1405,4	
<u>⁴⁰Zr</u>	<u>97</u>	<u>6,2</u>	<u>1020,0</u>	<u>0,0245</u>	<u>743,4</u>	<u>94,6</u>	<u>507,6</u>	<u>5,2</u>
<u>⁴¹Nb</u>	<u>97</u>	<u>6,2</u>	<u>72,1</u>	<u>1020</u>	<u>657,9</u>	<u>100</u>		
<u>⁴²Mo</u>	<u>99</u>	<u>0,75</u>	<u>3961,2</u>	<u>1</u>	<u>140,5</u>	<u>90,1</u>	<u>739,5</u>	<u>12,3</u>
⁴³ Tc	101	5,30	14,0	14,79	306,9	88,6	545,1	6
⁴⁴ Ru	105	0,90	264,0	8,43	724,2	47,3	469,4	17,5
⁴⁵ Rh	107	0,20	21,7	4,68	302,8	65,9	392,5	8,7
⁵¹ Sb	129	2,2	259,2	8,9	812,6	43,5	914,7	18,8
⁵¹ Sb	131	2,6	23,0	1,05	943,6	44	932,8	24,2
⁵² Te	129	0,90	69,6	259,2	459,6	7.1	27,8	2,8
⁵² Te	131	2,50	25,0	24,05	149,8	66.9	452,4	17,8
<u>⁵²Te</u>	<u>132</u>	<u>4,37</u>	<u>4680</u>	<u>3,57</u>	<u>973,9</u>	<u>100</u>	<u>696,8</u>	<u>87</u>
⁵² Te	133	4,90	12,45	2,73	228,2	88	49,7	14,6
<u>⁵²Te</u>	<u>134</u>	<u>4,5</u>	<u>41,8</u>	<u>0,014</u>	<u>767,2</u>	<u>30,6</u>	<u>210,5</u>	<u>22,4</u>
⁵³ I	132	4,7	136,8	4684	667,7	98,7	772,6	76,2
⁵³ I	133	5,3	1248	15,18	529,9	87,3	875,4	4,4
<u>⁵³I</u>	<u>135</u>	<u>6,1</u>	<u>396,6</u>	<u>0,35</u>	<u>1266,5</u>	<u>30,3</u>	<u>1131</u>	<u>22,9</u>

^{54}Xe	133	6,5	7617,6	1263	81	37,1		
------------------	-----	-----	--------	------	----	------	--	--

Таблиця 1(продовження)

<u>^{54}Xe</u>	<u>135</u>	<u>6,7</u>	<u>544,1</u>	<u>397</u>	<u>249,7</u>	<u>90,6</u>		
^{54}Xe	138	5,5	14,2	0,11	258,3	29	434,5	19,4
<u>^{55}Cs</u>	<u>138</u>	<u>5,74</u>	<u>33,41</u>	<u>14,31</u>	<u>1435,9</u>	<u>26</u>	<u>464,8</u>	<u>24,6</u>
<u>^{56}Ba</u>	<u>139</u>	<u>6,1</u>	<u>84,8</u>	<u>10,12</u>	<u>165,9</u>	<u>18,8</u>		
^{56}Ba	141	5,9	18,27	0,451	190,2	44	304,2	24,1
^{56}Ba	142	5,2	10,3	0,049	255,1	30	1204,1	22,9
^{57}La	140	6,3	18416	2413,2	1596,2	95,3	486	45,3
<u>^{57}La</u>	<u>142</u>	<u>6,0</u>	<u>92,7</u>	<u>10,79</u>	<u>641,2</u>	<u>49</u>	<u>2387,7</u>	<u>15,7</u>
^{58}Ce	141	6	46800	254,5	145,4	48,1		
<u>^{58}Ce</u>	<u>143</u>	<u>5,7</u>	<u>1980</u>	<u>14,26</u>	<u>293,3</u>	<u>41,3</u>	<u>57,4</u>	<u>11,6</u>

Хід роботи

Для початку роботи, переходимо за посиланням бази даних, яке наведено нижче

<https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

Ми опинились у базі даних Міжнародної асоціації атомної енергетики (англійською мовою аббревіатура виглядає так – IAEA).

Для виконання завдань роботи нам будуть необхідні наступні вікна (Рисунок 4; 4(a)):

(1) у ньому ми можемо перейти до відомостей про типи, енергію і канали розпаду радіонуклідів.

(2) у ньому ми можемо розрахувати імовірність утворення радіоактивних ізотопів медичного призначення.

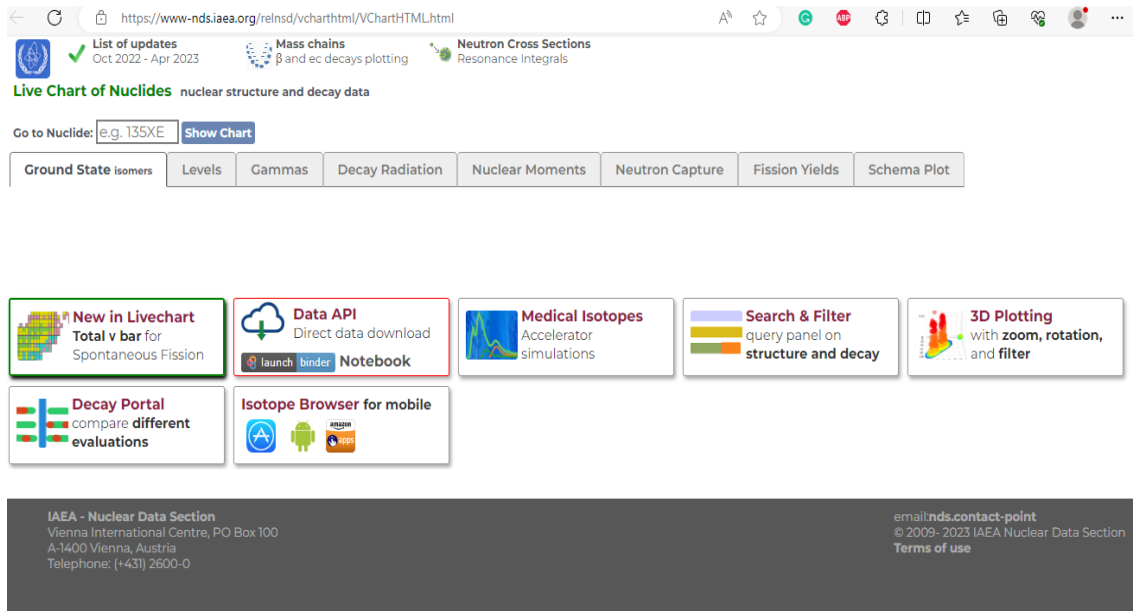


Рис. 4 Зображення сторінки бази даних Міжнародної асоціації атомної енергетики

(3) у вікні 3 ми знайдемо інформацію про особливості реакцій (n , f) а також зможемо побудувати інтерактивний 3D- графік утворення уламкових радіонуклідів.

(4) вікно 4 – ознайомить нас із оновленнями інформації про радіонукліди, їх енергію, розпад і імовірність утворення.



Рис. 4 (а) Зображення сторінки бази даних Міжнародної асоціації атомної енергетики із виділеними необхідними вікнами

Завдання №1. Користуючись базою даних Міжнародної асоціації з атомної енергетики знайти інформацію про будь-який радіонуклід з певною масою, наприклад з $A=137$, на основі знайдених даних побудувати таблицю основних його характеристик, таких, як період напіврозпаду, вид іонізуючого випромінювання, канали розпаду, енергія розпаду, енергія зв'язку нуклонів у ядрі, тощо. Побудувати графіки його розпаду і, за можливості, графіки енергетичного розподілу для видів випромінювання притаманних даному радіонуклідіві.

Наприклад, виберемо ^{137}Cs

Таблиця 2. Дані про ^{137}Cs . Канали розпаду, види випромінювання, гальмівний спектр тощо.

Evaluation: E. BROWNE, J. K. TULI Publication cut-off: 1-Oct-2006 ENSDF insertion: 2007-09 Publication: Nuclear Data Sheets 108,2173 (2007)

Parent	$T_{1/2}$	E_x [keV]	J^p order	Decay	Q_{decay} [keV] see the note	Daughter	Comments	Total energy by radiation type, per 1 decay of the parent [keV]										
								Alpha	Beta	CE & Auger	γ & X	Recoil	Neutrino	Total	$Q^* \text{ BR}$	Delta	Unplaced	
$^{137}_{55}\text{Cs}_{82}$	30.08 y 9	0.0	7/2+	β^- 100 %	1175.63 17	$^{137}_{56}\text{Ba}_{81}$			1871.9	61.3 7	565.4 13		362.7 17	1176.6 20	1175.63 17	0 %		

[ENSDF source](#) [Compare decay libraries \(allow pop-up\)](#)

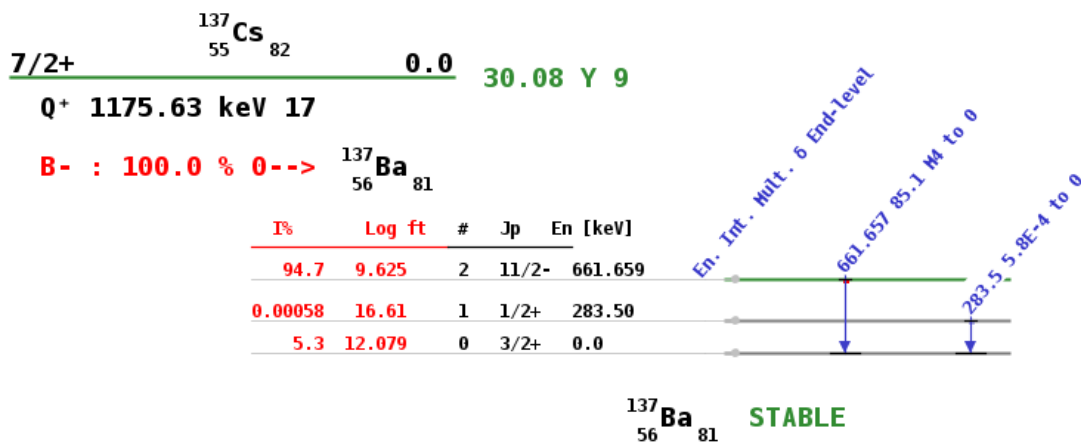


Рис. 5. Схема розпаду ^{137}Cs через метастабільний (ізомер, m) ^{137m}Ba у стабільний ^{137}Ba .

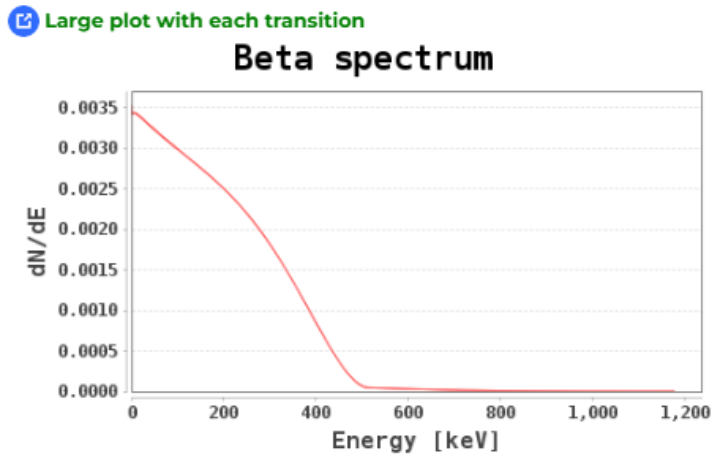


Рис. 6. Неперервний спектр β часток, які випромінює ^{137}Cs

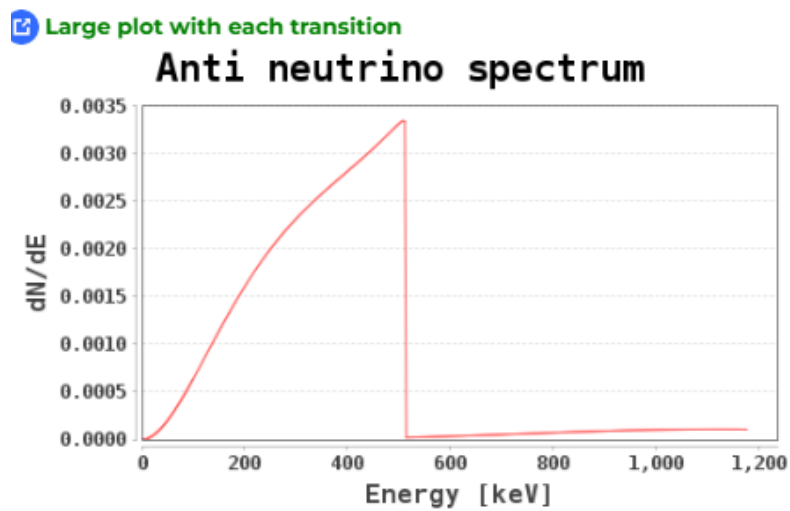


Рис.7. Неперервний спектр антинейтрино, які випромінює ^{137}Cs під час β розпаду, за даними Міжнародної асоціації атомної енергетики.

Завдання 2. Про особливості реакцій (n, f) а також побудова інтерактивних 3D-графіків утворення уламкових радіонуклідів ми можемо дізнатись, якщо відкриємо вікно 3.

https://www-nds.iaea.org/relnd/vcharthtml/lc3d.html

Nuclear Data Section

Livechart 3D

Plot Color by Value Percentile

Size 639 1202

PLOT GUIDE

Filter $0 \leq Z \leq 118$ Present on axis

$0 \leq N \leq 177$ Present on axis

set X • N log

lower limit 0 upper limit 111

set Y • Z log

lower limit 1 upper limit 72

set Z • CFY 239-Pu Thermal log

lower limit 1.0011e-12 upper limit 0.08585

3D Example — set your axis and plot

Рис.8. Програма для розрахунку реакцій ініційованого поділу ядер актинідів, наприклад плутонію, урану, тощо.

На графіках, які наведені нижче, зображено уламок і його імовірність утворення у 1 акті поділу ядер плутонію у заданих умовах.

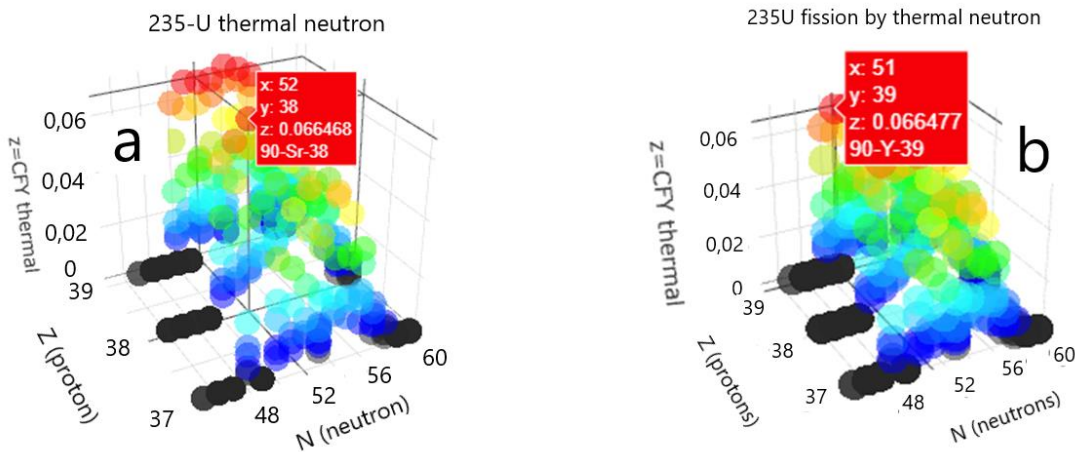


Рис.9 (а) і (б) Приклади інтерактивних графіків утворення продуктів (фрагментів) поділу ядер плутонію тепловими нейтронами.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке спонтанний і ініційований поділ ядер актинідів?
2. Запишіть коротко реакцію поділу ядра ^{235}U -урану тепловими нейтронами.
3. Запишіть коротко реакцію поділу ядер ^{239}Pu -плутонію гамма-квантами
4. Який параметр впливає на можливість самовільного (спонтанного) поділу ядер?
5. Вивчити літературні дані про взаємодію важких заряджених частинок з речовиною.
6. Як захиститись від опромінення важкими зарядженими частинками (до них відносяться уламки поділу, альфа- і протонне випромінювання)?

Список використаних джерел

1. Парлаг О.М., Парлаг О.О., Пилипченко В.А., Плекан Р.М. Фізпрактикум з ядерної фізики: Навчально-методичний посібник. – Ужгород: В-цтво УжНУ, 2013. – 141 с. (Перший варіант методичної вказівки написано доц. Пилипченко В.А. та видано у 1989 році. Останній варіант змінено і доповнено доц. Пилипченко В. А. та ст. викл. Плекан Р.М.)
2. W. R. Hendee, E. R. Ritenour, Medical Imaging Physics, 4th ed., New York (NY), USA: J. Wiley and Sons, 2002, p. 353. DOI: 10.1002/0471221155
3. І.В. Пилипчинець, О.О. Парлаг, Є.В. Олейников. МОДЕЛЮВАННЯ ВИХОДІВ ПРОДУКТІВ ФОТОПОДІЛУ ЯДЕР АКТИНІДІВ, ІНДУКОВАНИХ ГАЛЬМІВНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСКОРЮВАЧІВ Uzhhorod University Scientific Herald. Series Physics. Issue 42. – 2017
4. <https://vseosvita.ua/library/prezentacia-v-9-klasi-do-uroku-na-temu-lancugova-aderna-reakcia-adernij-reaktor-73051.html>
5. Васильєва Г.В. Фізико-хімічні процеси вилучення продуктів ініційованого поділу ядер ^{235}U урану тепловими нейтронами. Дисертація на здобуття наукового ступеня к.х.н. спеціальність 01.04.18 фізика і хімія поверхні. Івано-Франківськ 2010.

Додаток 1

Оскільки ланцюгова реакція поділу ядер урану є не тільки основною реакцією Атомної енергетики, а і основою ядерної зброї, то не завадить ознайомитись із діями у випадку ядерних аварій, катастроф або використання ядерної зброї

Дії у випадку імовірного застосування ядерної зброї, або виникнення загроз ядерних аварій

Ядерний вибух здатний миттєво знищити чи вивести з ладу незахищених людей, які відкрито стоять, техніку, спорудження і різні матеріальні засоби. Основними вражаючими факторами ядерного вибуху є:

- ударна хвиля;
- світлове випромінювання;
- проникаюча радіація;
- радіоактивне зараження місцевості;
- електромагнітний імпульс.

Ударна хвиля в більшості випадків є основним вражаючим фактором ядерного вибуху. По своїй природі вона подібна ударній хвилі звичайного вибуху, але діє більш тривалий час і володіє набагато більшою руйнівною силою.

При будь-яких вибухах, необхідно ховатися у бомбосховищах, або в підвалах, які захистять від ударної хвилі і проникаючої радіації. Треба мати завжди заряджений телефон щоб бути поінформованим який саме вибух відбувся. При вибухах ядерної зброї, бажано перебувати у сховищі декілька днів, і бути готовому до відселення із місць ураження радіоактивними забрудненнями, до проведення повного знезараження території. Необхідно чітко виконувати інструкції рятувальників, працівників МНС, тобто тих, хто буде здійснювати рятувальні і евакуаційні роботи.

Якщо ви знаходитесь на безпечній відстані від ядерного вибуху, який все ж таки відбувся або якщо відбулась розгерметизація і витік радіоактивних речовин на захоплених ворогом АЕС, то слід пам'ятати, що:

Найбільш уразливий орган до дії радіації це очі. Найбільш стійкий орган до дії радіації – це шкіра. Однак треба слідкувати за тим, щоб радіонукліди, які розпиляться внаслідок вибуху, у вигляді аерозолів все таки не потрапили на шкіру, оскільки при торканні очей, або губ радіонукліди можуть проникати всередину.

Не завадить приймати препарати йоду і полівітаміни.

Підготувати заздалегідь запаси питної води, технічної води, респіратори або маски, адсорбенти активоване або біле вугілля, альгірати (харчові добавки, що містяться у морозиві), пектин (міститься, наприклад у яблуках).

Завжди бути на зв'язку, щоб мати змогу одержати інструкції від рятувальників і системи цивільного захисту населення.