

БАГАТОСЕКЦІЙНИЙ БЛОК ДЕТЕКТУВАННЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Галузь техніки.

Прилад відноситься до галузі ядерної електроніки і призначений для вимірювання енергетичних спектрів, інтенсивностей та інших параметрів іонізуючого випромінювання. Прилад може бути використано в галузі радіаційної екології, медицині, в численних технологічних процесах, де застосовується ядерне випромінювання та в наукових дослідженнях.

Рівень техніки.

Радіаційні детектори звичайно мають досить велику площу активної поверхні, яка іноді перевищує 500 см². Це обумовлено тим, що густина потоку частинок, що реєструються, часто дуже низька, а час, виділений для накопичення необхідного числа сигналів, обмежений. Збільшення площі кремнієвих детекторів пов'язано з великими труднощами. По перше, при збільшенні площі зростає струм витіку детектора і, відповідно, зумовлений ним шум. По друге, пропорційно площі зростає ємність детектора, а з нею також лінійно - шум зарядочутливого попереднього підсилювача. По третє, обернено пропорційно площі зменшується сигнал на вході підсилювача, що затягує його фронт і негативно впливає на параметри сигналу. Але найбільш суттєвими факторами мабуть є значне зростання вимог до якості технології і підвищення вартості. Для подолання протиріччя між необхідністю збільшувати площу детектора і погіршенням параметрів детектуючої системи звичайно застосовують паралельне з'єднання п детекторів, підключених до одного спектрометричного каналу або п детекторів і п спектрометричних каналів, які працюють паралельно і повністю незалежно - тривіальний варіант з недоцільною апаратною надлишковістю.

Відомий прилад, найбільш близький за характером роботи до об'єкту, що заявляється, в якому для збільшення активної поверхні детектора використовують безпосередньо паралельне з'єднання декількох (припустимо п) детекторів невеликої площі, які підключено до одного попереднього підсилювача, сигнал з якого надходить до формуючого

підсилювача, подається на аналого-цифровий перетворювач і, далі, на ЕОМ де виконується накопичення і обробка інформації [1]. **Автори обрали цей пристрій як прототип.**

Основні недоліки прототипу:

а) збільшення шуму і ємності паралельної структури. Індивідуальний внесок власного шуму кожного детектора додається квадратично в такий спосіб:

$$N_{dt}^2 = N_{d1}^2 + N_{d2}^2 + \dots + N_{di}^2 + \dots + N_{dn}^2$$

де N_{dt} - повний шум всіх детекторів, а N_{di} - шумовий вклад і-того детектора.

Повна ємність, яка навантажує вхід зарядовочутливого попереднього підсилювача, буде мати вигляд:

$$C_t = C_{d1} + C_{d2} + \dots + C_{di} + C_s = C_s + \sum_i C_{di}$$

де C_t - повна ємність, C_{di} - ємність і-того детектора, C_s - паразитна ємність (включає ємність провідників, з'єднувачів, вхідну ємність польового транзистора, тощо). Тут необхідно врахувати, що шум зарядовочутливого попереднього підсилювача збільшується пропорційно ємності підключеної до його входу. Тому загальний шум набуває вигляду:

(3)

де N_t - загальний шум, а N_A - шум зарядовочутливого попереднього підсилювача з ємністю C_t на вході

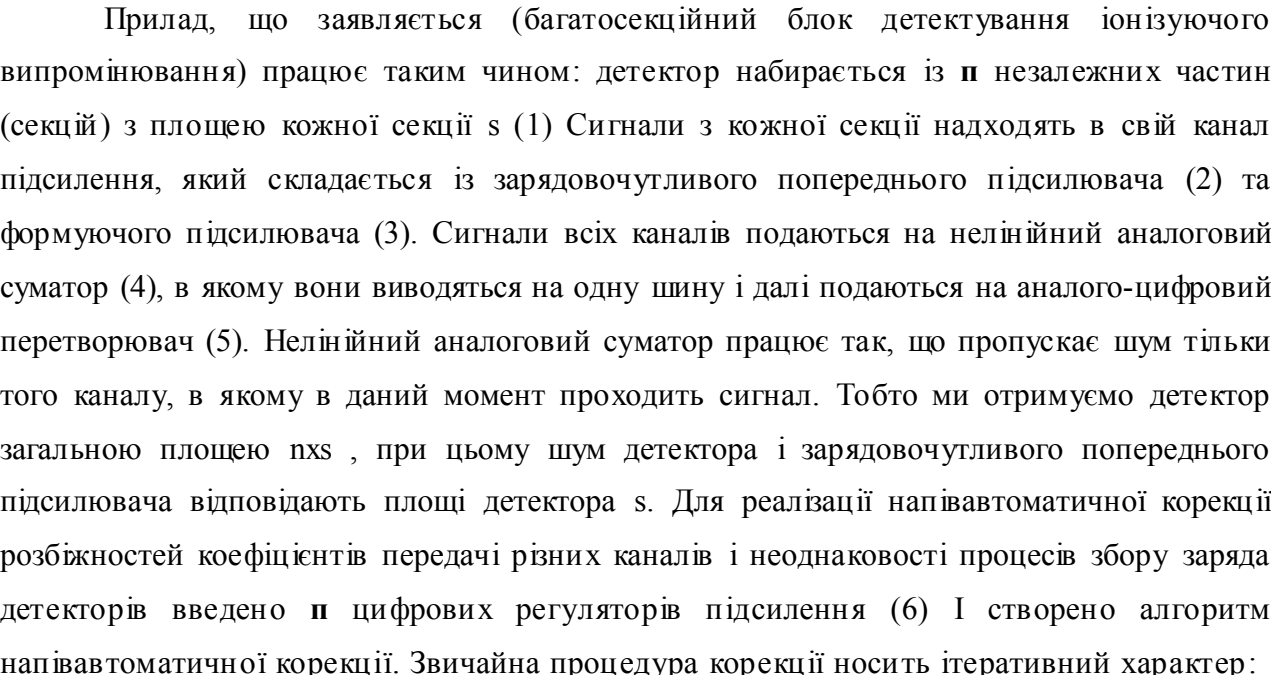
б) значні труднощі в такому приладі виникають внаслідок неоднаковості детекторів, а саме неоднаковості процесів збору заряду детекторами, їх струмів зміщення, різної залежності ємності детекторів від напруги зміщення.

Суть винаходу.

В основу винаходу поставлено задачу, яка полягає в тому, щоб при застосуванні п детекторів для збільшення активної площі детектора в багатосекційній констукції, шляхом додавання в прилад (який містить п паралельно з'єднаних детекторів, зарядовочутливий попередній підсилювач, формуючий підсилювач, аналого-цифровий перетворювач,

оперативний запам'ятовуючий пристрій та блок управління) нелінійного аналогового суматора і n цифрових регуляторів підсилення для n формуючих підсилювачів, при чому кожний з n детекторів підключається до одного з n зарядовочутливих попередніх підсилювачів, виходи яких підключено відповідно до n формуючих підсилювачів, до управляючих входів яких, в свою чергу, підключені її цифрових регуляторів підсилення; виходи n формуючих підсилювачів підключені до нелінійного аналогового суматора, вихід якого підключено до одного аналого-цифрового перетворювача; двонаправлені шини блоку управління підключено до n цифрових регуляторів підсилення, до нелінійного аналогового суматора, до аналого-цифрового перетворювача і до ЕОМ, яка програмно виконує процес калібровки і зведення центрів ваги піків стандартного джерела випромінювання, **забезпечити:**

- а) підвищення енергетичної роздільної здатності і зменшення шуму багатосекційного блоку детектування іонізуючого випромінювання до величин, притаманних одному детектору,
- б) збільшення стабільності спектрометра в цілому,
- в) зменшення часу і трудоемності процедури енергетичної калібровки,
- г) спрощення процесу зведення центрів ваги піків стандартного джерела випромінювання,
- д) зменшення часу і спрощення процес обробки інформації.

На  1 показано блок-схема приладу, що заявляється. Блок-схема приладу містить n детекторів (1), n зарядовочутливих попередніх підсилювача (2), n формуючих підсилювачів (3), нелінійний аналоговий суматор (4), один аналого-цифровий перетворювач (5), її цифрових регуляторів підсилення для n формуючих підсилювачів (6), блок управління (7), внутрішню магистраль (8) і канал зв'язку з ЕОМ (9).

Прилад, що заявляється (багатосекційний блок детектування іонізуючого випромінювання) працює таким чином: детектор набирається із n незалежних частин (секцій) з площею кожної секції s (1). Сигнали з кожної секції надходять в свій канал підсилення, який складається із зарядовочутливого попереднього підсилювача (2) та формуючого підсилювача (3). Сигнали всіх каналів подаються на нелінійний аналоговий суматор (4), в якому вони виводяться на одну шину і далі подаються на аналого-цифровий перетворювач (5). Нелінійний аналоговий суматор працює так, що пропускає шум тільки того каналу, в якому в даний момент проходить сигнал. Тобто ми отримуємо детектор загальною площею $n \cdot s$, при цьому шум детектора і зарядовочутливого попереднього підсилювача відповідають площі детектора s . Для реалізації напівавтоматичної корекції розбіжностей коефіцієнтів передачі різних каналів і неоднаковості процесів збору заряду детекторів введено n цифрових регуляторів підсилення (6). І створено алгоритм напівавтоматичної корекції. Звичайна процедура корекції носить ітеративний характер:

набирають енергетичний спектр випромінювання стандартного джерела на кожному з p детекторів; виконують апроксимацію піка гауссіаном або іншою функцією і визначають центр ваги піка відомої енергії в кожному з p каналів; змінюють коефіцієнт підсилення каналів для усунення розбіжностей в положеннях центрів ваги; далі весь процес повторюють декілька разів, поки не будуть усунені розбіжності з необхідною точністю. Основні проблеми звичайного варіанту корекції розбіжностей коефіцієнтів передачі різних каналів і неоднаковості процесів збору заряду детекторів:

- а) корекцію необхідно робити з великою точністю ($\ll 2 \times 10^{-4}$, енергетичний спектр має 4096 каналів або більше), що дуже ускладнює ручне регулювання;
- б) функція відгуку детекторів в більшості випадків суттєво несиметрична, а це ускладнює апроксимацію піка і зменшує точність визначення його центру ваги;
- в) звичайно стандартні джерела іонізуючого випромінювання мають досить малу активність (особливо джерела альфа-частинок), що, з врахуванням вище викладеного, обумовлює великий час експозиції для багатократного набору p спектрів з необхідною статистичною точністю.

Алгоритм напівавтоматичної корекції ґрунтується на властивостях статистичних розподілів. Припустимо, форма Y , функцій відгуку p каналів однакова, а всі розбіжності обумовлені неоднаковістю їх коефіцієнтів передачі: $Y_{fj}(k_j * i)$, де Y_f - число в каналі, k_j - коефіцієнт передачі j -того спектрометричного тракту ($j=1..n$), i - номер каналу в енергетичному спектрі. Тоді незважаючи на конкретний вигляд функції $Y_{fj}(k_j * i)$ центр ваги розподілу довільної ділянки спектра j -того спектрометричного каналу можна записати у формі:

$$P_j$$

Тобто, незважаючи на конкретну форму ділянки спектра в інтервалі $N_1 - N_2$, при тотожності Y_f з рівності $P_i = P_f$ впливає рівність $k_i = k_2$. Таким чином з процедури корекції спектрометричних каналів ми маємо право виключити досить складну і неоднозначну операцію апроксимації піка і визначення його центра ваги та замінити довготривалу ітераційну процедуру напівавтоматичною корекцією за один крок' набираємо спектри стандартного джерела іонізуючого випромінювання в кожному з p каналів, визначаємо інтервал $N_1 - N_2$ (він має містити довільну частину спектра) однаковий для всіх p каналів,

обчислюємо всі P_j , знаходимо їх середнє значення P_0 та всі різниці $P_j - P_0$, проводимо корекцію коефіцієнтів підсилення каналів записуючи відповідні цифрові коди в кожний з п цифрових регуляторів підсилення.

Таким чином, порівнюючи прототип і прилад, що заявляється можна зробити висновок, що при збільшенні активної площі детектора за рахунок багатосекційної констукції зберігаються параметри притаманні одному детектору, збільшується стабільність спектрометра в цілому, зменшується час і трудоемність процедури енергетичної калібровки, за рахунок в напівавтоматичного процесу зведення центрів ваги піків стандартного джерела випромінювання, і спрощується експлуатація спектрометра.

Ми вважаємо таке рішення вельми радикальним. По перше, вартість детектора великої площі в багато разів перевищує вартість відповідних комплектуючих радіокомпонентів, а по-друге, використання одночіпових мікросхем в підсилювачах значно зменшує об'єми і вартість електронних пристроїв.

Перелік креслень.

Я° іс. 1. Багатосекційний блок детектування іонізуючого випромінювання. Наведено блок - схему приладу. <P і г. 2. Шумові властивості одного з каналів багатосекційний блоку детектування. Наведено

спектри амплітуд імпульсів з генератора точної амплітуди, шум визначено в енергетичних одиницях (кеВ). Ф(г.3. Спектр альфа-частинок плутонію-238 в одному з каналів багатосекційного блоку

детектування іонізуючого випромінювання Енергетична роздільна здатність 21 кеВ.

(ptf A. Спектр альфа-частинок плутонію-238 виміряний багатосекційним блоком, який складався з 8 детекторів загальною площею 8 см^2 Енергетична роздільна здатність 22.8 кеВ - краще ніж у суцільного детектора такої ж площі (Таблиця 1). ^PifS

Спектр альфа-частинок плутонію-238 виміряний багатосекційним блоком, який складався з 8 детекторів загальною площею 24 см^2 . Енергетична роздільна здатність 43.7 кеВ - приблизно вдвічі менше ніж у кращих світових зразків суцільних детекторів такої ж площі - 69 кеВ (Таблиця 2).

Відомості, які підтверджують можливість здійснення винаходу.

На дату подання заявки авторами розроблено декілька варіантів багатосекційних детекторів та відповідні електронні блоки. Створено детектори таких типів.

1. Детектор загальною площею 8 см^2 , який складається з 8-ми однакових секцій. Детектор виготовлено із кремнію n-типу з питомим опором близько 5 кОм-см , він має товщину кристалу 300 мкм , товщину "мертвої" зони в межах $0.2 - 0.3 \text{ мкм}$. На *ер Іf Л* приведені шумові характеристики вимірювального тракту: крива А характеризує початковий шум зарядовочутливого попереднього підсилювача, крива В - його шум з детектором на вході і шум детектора. На *р і с 3* показано спектр α -частинок плутонію-238 (Із набору ОС АИ), виміряний на одній з секцій детектора, *^ і f .4* демонструє сумарний спектр всього багатосекційного детектора.

В таблиці 1 наведено виміряні, розраховані та літературні дані по енергетичній роздільній здатності по α -частинкам. В колонці 2 приведено результати вимірів на одній секції багатосекційного детектора, в колонці 3 - при ввімкненні багатосекційного детектора як звичайного односекційного, паралельно на один канал підсилення, в колонці 4 — результати, отримані на багатосекційному детекторі, в колонці 5 - типові результати для найкращих зразків звичайного типу виробництва провідних фірм.

Порівняємо повну роздільну здатність в колонках 4 і 5. Легко бачити, що, по перше, запропонований детектор має енергетичну роздільну здатність значно кращу, ніж досягнуто в світовій практиці звичайним шляхом (22.8 і 30 кеВ). По друге, досягнутий на багатосекційному детекторі результат ще більше відрізняється від результату, отриманого на даному реальному детекторі, якщо його ввімкнено в звичайний спосіб (22.8 і 61 кеВ). Таким чином багатосекційний детектор дозволяє одночасно досягти дві мети: отримати унікальні по якості детектори і при цьому використовувати кремнієві діоди малої площі відносно невисокої якості. Друга, на наш погляд, не менш важлива ніж перша, тому що дозволяє полегшити виробництво багатоелементних детекторних блоків і значно зменшити їх вартість.

2. Багатосекційний детектор загальною площею 24 см^2 , який складається з 8-ми однакових секцій. Технологічні параметри його майже тотожні щойно описаному детекторові. Результати вимірів показано на *фі Г. 5* і сгруповано в **таблиці 2**.

Таблиця 1. Енергетична роздільна здатність багатосекційного детектора 8x1 см"

Енергетична роздільна здатність, кеВ.	1см ² одна секція.	8 см ² багатосекційний детектор, ввімкнений на 1 канал.	8x1 см ² багатосекційний детектор.	8 см ² одноелементний детектор, світовий рівень.
Повна	21	61	22.8	30
а-джерело	6	6	I 6	6
ЗЧПУ	8.5	32	8.5	17
Детектор	18.3	51.6	20.3	24

Таблиця 2. Енергетична роздільна здатність багатосекційного детектора 8x3 см².

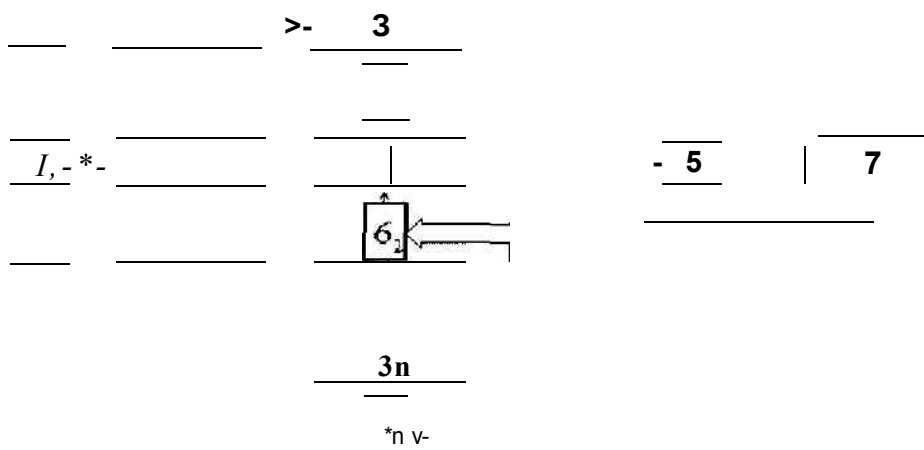
Енергетична роздільна здатність, кеВ.	24 см" багатосекційний детектор, ввімкнений на 1 канал.	8x3 см ² багатосекцій ний детектор.	24 см ² одноелементний детектор, світовий рівень.
1	2	3	4
Повна	145	43 7	69
а-джерело	6	6	6
ЗЧПУ	89	15.5	41
Детектор	114	40 4	55

На цьому детекторі оримаш результати ще краще ніж на детекторі 1 (колонки 3 і 4, а також 3 і 2).

ЛІТЕРАТУРА

1. EG&G® ORTEC® 97/98, Detector and Instruments for Nuclear Spectroscopy. Inroduction to Charged-Particle Detectors. 1998, p. 1.8 - 1.16.

Багатосекційний блок детектування іонізуючого випромінювання.

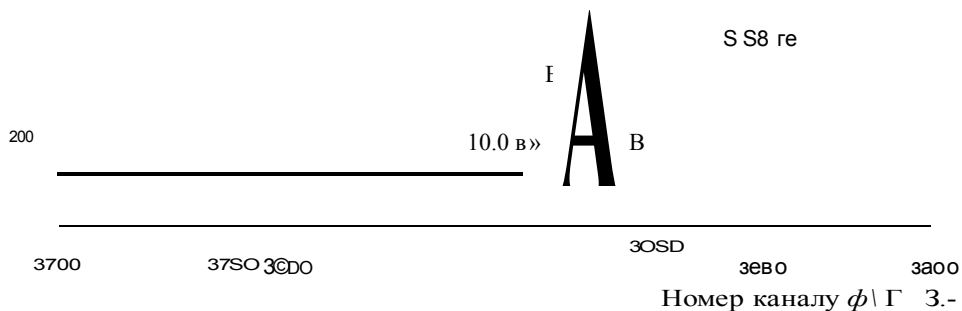


1. Багатосекційний блок детектування іонізуючого випромінювання.

А - спектр імпульсів генератора, точної амплітуди (РТА).
характеризує частоту імпульсів за одиницю часу (без детектора.) В - спектр імпульсів ГТА з
підключеним детектором,
 $I_{\text{ХЗМ}} = 40 \text{ В}$.

екю

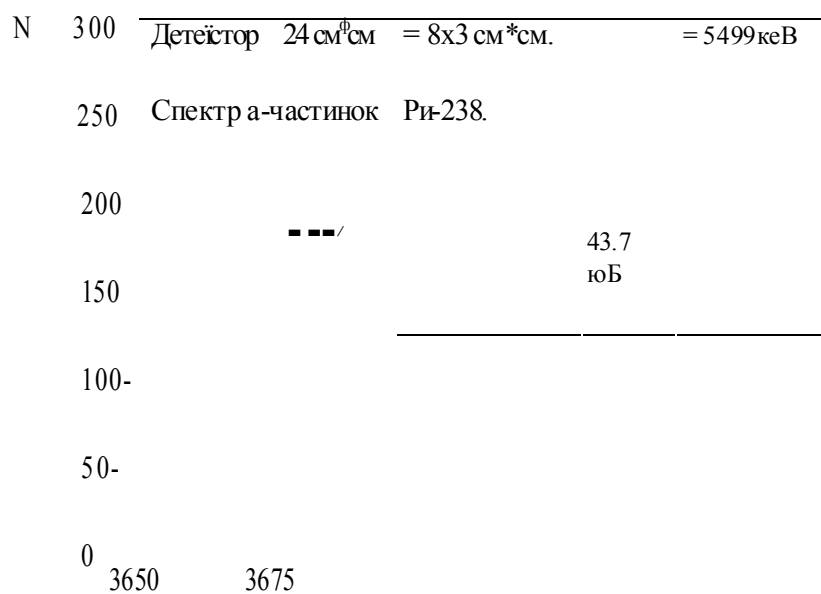
Амплітуда імпульсів ГТА відповідає енергії
альфа-частинок 5499 кеВ плутонію-238.



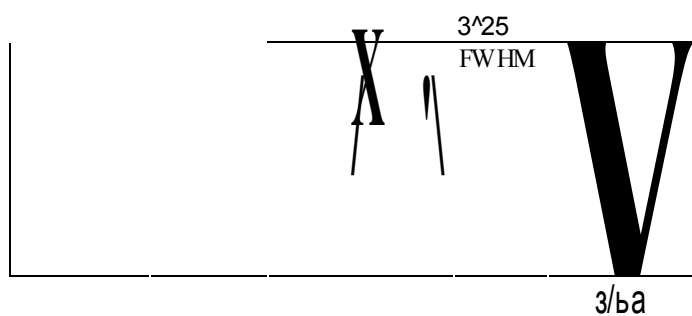
Шумові властивості одного з каналів багатосекційного блоку детектування

Німець О.Ф., Фролов О.С., Гавриленко В.І.,
Шевченко В.А., Садовничий А.А.

Багатосекційний блок детектування
іонізуючого випромінювання.



37Q0



Номер каналу 5.

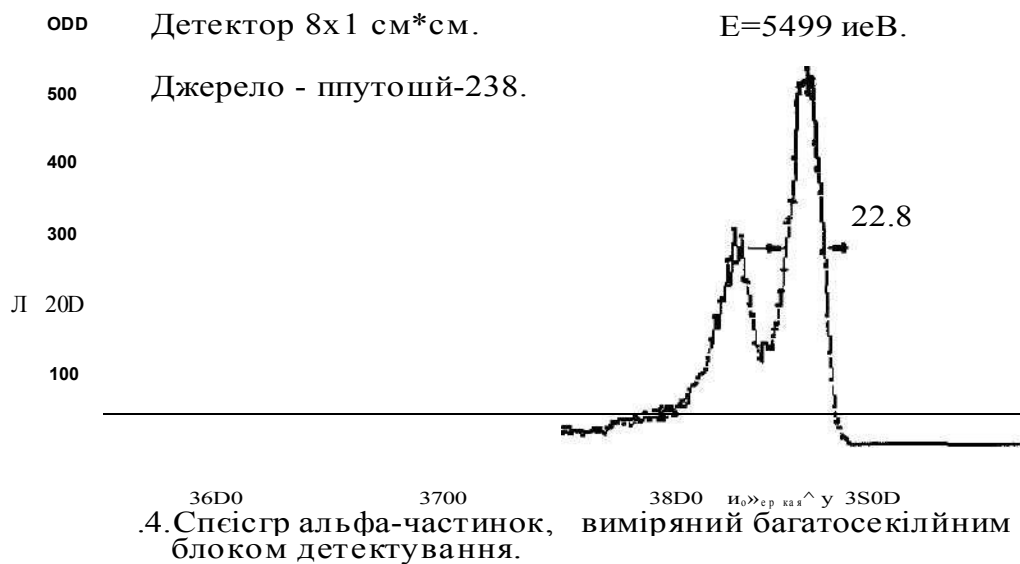
Спектр Рн-238 виміряний багатосекційним блоком детектування.

Німець О.Ф., Фролов О С , Гавриленко В.І.,
Шевченко В.А., Садовничий А.А.

Багатосекційний блок детектування
іонізуючого випромінювання



Г.3. Спектр альфа-частинок в одному з каналів багатосекційного блоку детектування.



4. Спектр альфа-частинок, виміряний багатосекційним блоком детектування.

Німець О Ф , Фролов О С , Гавриленко В І,
Шевченко В А, Садовничий А А