

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРІЇ АЛЬФА-ЧАСТИНОК ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАСТИКОВОГО ДЕТЕКТОРА CR-39

Ю. Оніщук¹, С. Горбачов², С. Юрченко^{1,3}

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

²Інститут радіаційного захисту АТН України, Київ

³Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Описано новий метод спектрометрії альфа-частинок з використанням твердотільних трекових детекторів, що ґрунтується на застосуванні штучних нейронних мереж. Для розпізнавання зображень треків, отриманих з використанням оптичного мікроскопа, використано нейронну мережу зустрічного поширення. Досягнуто ефективною селекції різних типів треків та їх дискримінації від шумів. Завдяки цьому було отримано покращання енергетичної роздільної здатності методики. Запропонований метод є перспективною альтернативою дискримінації треків за допомогою алгоритмізації опису їх форм, що є досить складною задачею з огляду на залежність від умов сканування.

Вступ

Твердотільні трекові детектори (ТТД), що належать до типу пристроїв пасивного накопичення, володіють такими корисними спектрометричними властивостями: точне визначення координат зареєстрованих частинок, можливість селекції за типом заряджених частинок, абсолютна нечутливість до супутнього гамма-випромінювання, малий власний фон, можливість проведення довготривалих вимірювань, відсутність необхідності використання електроніки під час експонування дослідних зразків. Вони дешеві, легкі, мають довготривалу стабільність, негігроскопічні. В останні роки спостерігається значний прогрес у технології збирання інформації від ТТД з використанням попереднього хімічного травлення детекторів та автоматизованих комплексів, які включають оптичний мікроскоп, скануючу платформу, відеокамеру та комп'ютер [1, 2].

ТТД (CR-39 зокрема) може розглядатися як детектор рідкісних подій, коли необхідно проводити тривалі експозиції зразків із великими площами (фольги, порошки, тощо). При пакетній обробці детекторів з великими площами із застосуванням спеціальних систем швидкості сканування досягає 4 м²/день при задовільній роздільній здатності [3]. Ця особливість дозволяє забезпечувати довготривалі вимірювання із використанням одночасно десятків-сотень детекторів та однієї системи обробки інформації.

Використання ТТД для реєстрації альфа-частинок дає можливість визначення їхньої енергії та пробігу за допомогою аналізу форми окремих протравлених треків [4]. При візуальній оцінці дуже важко визначити характеристики тисяч, іноді й десятків тисяч треків ядерних частинок. Тому для автоматизованої обробки інформації з ТТД необхідним є використання зображень структури поверхні протравлених детекторів,

оцифрованих із мікроскопа. Комп'ютерний аналіз дозволяє визначити параметри зображень кожного об'єкта, проводити ідентифікацію різних типів треків та їх дискримінацію від шумів. Однак селективні характеристики, за якими здійснюється ідентифікація, є дуже нечіткими та залежать від умов експозиції, травлення та сканування. Унаслідок цього алгоритмічний опис спостережуваних об'єктів є надзвичайно складним. У даній роботі наведено результати розробки спеціальної методики обробки зображень, основаної на застосуванні штучних нейронних мереж (ШНМ), що дозволяє значним чином уніфікувати процес розпізнавання треків та покращити його характеристики.

Опис експериментальної процедури

При потраплянні альфа-частинки у детектор CR-39 вона руйнує полімерні зв'язки, утворюючи вільні радикали. Вони реагують із розчиненим тут киснем та формують латентний трек [5]. Хімічне травлення – найбільш розповсюджений метод “фіксації” та подальшого збільшення зон первинних дефектів у ТТД, який ґрунтується на більш швидкому розчиненні (руйнуванні) речовини детектора в пошкоджених ділянках відносно інших областей. Лінійна швидкість хімічної реакції вздовж зони первинних дефектів у детекторі визначається як швидкість травлення треку V_t . Травлення оточуючої непошкодженої речовини визначається як швидкість травлення поверхні V_b .

Пластик після опромінення джерелом альфа-частинок ^{238,239,242}Pu (5,5 MeV, 5,16 MeV, 4,9 MeV) був протравлений у водному розчині 6,25M NaOH протягом 12 год при температурі 70 °C. При таких умовах досягались найбільші значення співвідношення V_t/V_b . Після висушування детектора було проведено сканування площі ~ 3 см².

За допомогою простого лінійного співвідношення [6] можна пов'язати пробіг частинки R з діаметром заокруглення кінця d для протравлених до кінця треку (рис. 1):

$$R = \bar{V}_t T_{etch} - \frac{\bar{V}_t}{2V_b} d. \quad (1)$$

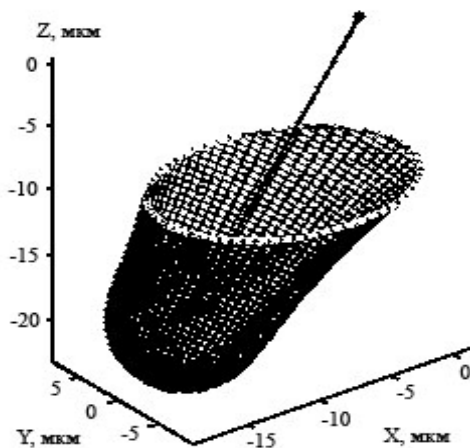


Рис. 1. Зображення форми лунки треку для альфа-частинки з енергією 5,15 MeV.

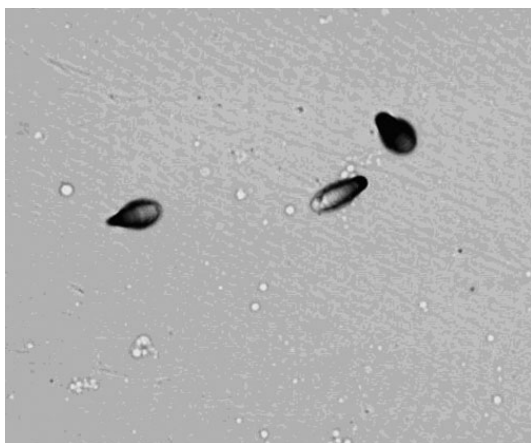


Рис. 2. Фрейм із зображеннями треків, утворених альфа-частинками на поверхні пластика CR-39. Збільшення 200 (об'єктив 20X). Режим прохідних променів.

У даній роботі поверхня опромінених і протравлених детекторів оброблялась за допомогою оптичної скануючої системи на базі мікроскопа Olympus VX-60 та рухомої платформи High Prior. Типовий розмір треків $5 \div 20$ мк, тому для отримання якісного зображення застосовувався об'єктив 20X. При цьому розмір фрейму (області яка знімається оптично приєднаною відеокамерою) становить приблизно 400×320 мк (рис. 2). За допомогою моторизованої платформи послідовно сканувалась уся поверхня опромінення.

Після оцифрування зображення поверхні детектора проводився програмний аналіз з метою

виділення перетравлених нахилених треків із чіткими формами. Далі за допомогою формули (1) та розробленої методики обробки цих зображень визначались енергії зареєстрованих α -частинок.

Застосування методу ШНМ

Ідею побудови ШНМ, здатних імітувати роботу мозку, було висловлено понад півсторіччя тому. З того часу було виконано величезний обсяг досліджень для її реалізації. На теперішній час найчастіше моделюється робота нейронів у складі ієрархічної мережі, де кожен нейрон більш високого рівня з'єднаний своїми входами з виходами нейронів нижчого рівня. На нейрони найнижчого рівня подаються значення входних параметрів, на основі яких треба приймати певні рішення, прогнозувати розвиток ситуації тощо. Ці значення розглядаються як сигнали, що передаються у вищий рівень, послаблюючись або посилюючись залежно від числових значень вагових множників, які відповідають міжнейронним зв'язкам. У результаті цього на виході нейронів найвищого рівня генеруються деякі числові значення, що розглядаються як реакція всієї мережі на введені значення входних параметрів. Для того щоб мережу можна було застосовувати для розпізнавання образів, її потрібно спочатку навчити на отриманих раніше даних, для яких відомі значення входних та вихідних параметрів. Це тренування полягає в підборі вагових множників міжнейронних зв'язків, що забезпечать найбільшу близькість виходів мережі до відомих правильних відповідей. Такий підхід виявився високоефективним для вирішення задач розпізнавання образів, до яких можна віднести ідентифікацію треків альфа-частинок [7, 8].

Для класифікації образів ми використали нейронну мережу зустрічного поширення, що є об'єднанням двох відомих алгоритмів: самоналаштованої карти Кохонена [9] та зірки Гроссберга [10]. У процесі розпізнавання образів на входний шар навченої мережі подається черговий вектор X (рис. 3). Шар Кохонена функціонує таким чином, що вектор його виходів K є зваженою сумою входів

$$K = X \cdot W, \quad (2)$$

де W – матриця вагових коефіцієнтів цього шару. Аналогічним чином обчислюється вихідний вектор Y шару Гроссберга

$$Y = K \cdot V, \quad (3)$$

де V – матриця вагових коефіцієнтів цього шару. Нейрон кожного шару із максимальним значенням на виході є „переможцем”. Решта його вихід прирівнюється 1, у інших – 0. Різниця між

двома парадигмами проявляється у навчанні нейронної мережі. Шар Кохонена класифікує вхідні вектори у групи подібних. Це досягається за допомогою такого підлаштування вагових коефіцієнтів, при якому близькі вхідні вектори активують той самий нейрон даного шару. Шар Гроссберга налаштовується для отримання бажаних виходів мережі.

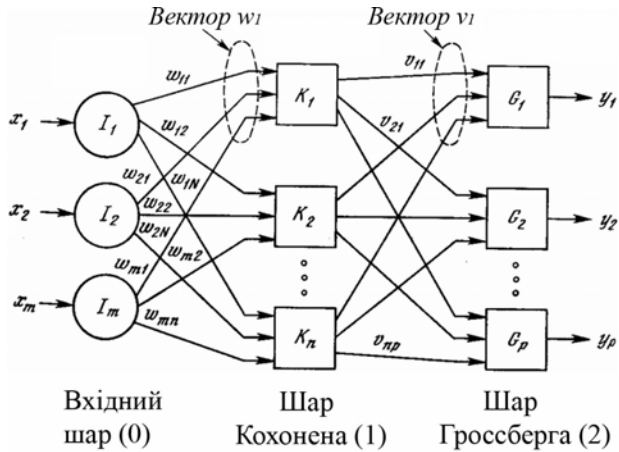


Рис. 3. Структурна схема мережі зустрічного поширення, що використовувалась у роботі.

Навчання Кохонена є самонавчанням, що протікає без учителя. Тому важко (і не потрібно) пророкувати, який саме нейрон Кохонена буде активуватися для заданого вхідного вектора. Необхідно лише гарантувати, щоб у результаті навчання розділялися несхожі образи. Рівняння, що описує процес навчання має вигляд

$$w_n = w_c + \alpha \cdot (x - w_c), \tag{4}$$

де \$w_n\$ – нове значення вагового множника, що з'єднує вхідну компоненту \$x\$ з нейроном „переможцем”; \$w_c\$ – його попереднє значення; \$\alpha\$ – коефіцієнт швидкості навчання, який може варіюватись у різних епохах (одна епоха – це по чергове використання всіх образів із навчальної вибірки для корекції вагових коефіцієнтів).

Навчання шару Гроссберга відбувається згідно з іншим алгоритмом

$$v_{ij}^n = v_{ij}^c + \beta \cdot (y^j - v_{ij}^c) \cdot k^i, \tag{5}$$

де \$k^i\$ – вихід \$i\$-го нейрона Кохонена (лише для одного нейрона він дорівнює 1); \$y^j\$ – \$j\$-а компонента вектора бажаних виходів; \$v_{ij}^n\$ – нові значення вагових множників другого шару, \$v_{ij}^c\$ – їх попередні значення; \$\beta\$ – коефіцієнт швидкості навчання. Вагові множники шару Гроссберга сходяться до середніх величин від бажаних виходів

(так зване навчання „з учителем”), тоді як для шару Кохонена навчання відбувається на середніх значеннях входів („самонавчання”).

Для пришвидшення навчання та зменшення кількості незадіяних нейронів проводилось попереднє тренування кількох мереж Кохонена (використовувались вибірки образів конкретного класу) із наступним об'єднанням їх у спільний шар Кохонена для мережі зустрічного поширення. Дана процедура значно покращувала ефективність навчання мережі, зменшуючи похибку мережі в три рази.

Результати розпізнавання

Особливостями нейронної мережі, що використовувалась у роботі було наступне. Кількість нейронів у шарах: 300 (вхідний) – 300 (Кохонена) – 5 (Гроссберга). Нейронна мережа навчалась на вибірці із ~ 3000 об'єктів. Після ~ 100 епох ефективність розпізнавання образів із навчальної вибірки становила 99,5 %. Навчена мережа ефективно розпізнавала “нетрекові” об'єкти (оптичні плями, здвоєні треки тощо), “нормальні” треки (із якісними спектрометричними характеристиками), “сильно нахилені” треки (із кутами, близькими до критичного) та треки, розвернуті на 180°.

На рис. 4 продемонстровано ефективну дискримінацію “нормальних” треків від “сильно нахилених” треків, що дозволило покращити розділення отриманих альфа-піків (відстань між піками ~ 250 кеВ).

Ефективності розпізнавання навченою нейронною мережею треків у незалежних вибірках, які містили об'єкти, що не надавались мережі для навчання, наведено в таблиці.

Зразки протравлених детекторів:	Кількість правильно розпізнаних об'єктів	
	“Нетреки”	Треки
неопромінений детектор (фон)	99,2 % (2162 об'єкти)	61,9 % (21 об'єкт)
опромінений альфа-частинками	98,0 % (1274 об'єкти)	96,3 % (3166 об'єктів)

Висновки

У роботі описано новий метод спектрометрії альфа-частинок з використанням твердотільних треккових детекторів, що ґрунтується на застосуванні штучних нейронних мереж. Для розпізнавання зображень треків альфа-частинок у протравленому детекторі було змодельовано нейронну мережу зустрічного поширення. Навчена мережа ефективно розпізнавала зображення різного типу треків та “нетрекових” об'єктів. Сумарна ефекти-

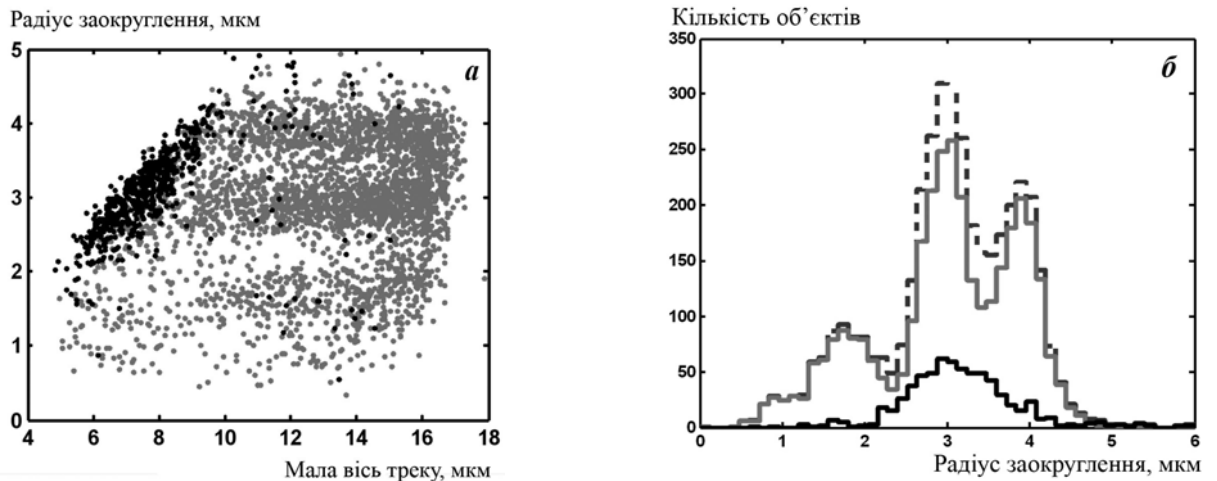


Рис. 4. Розподіл треків залежно від діаметра заокруглення кінця треку та малої осі еліпса, що описує його зображення (а); одновимірна проекція (б). Сірим кольором зображено відселектовані нейронною мережею треки із кращими спектрометричними характеристиками, чорним – сильно нахилени треки. Штрихова гістограма – сумарний спектр.

вність дискримінації треків становила 96,3 %, для “нетреків” – 98,8 %. Наразі тривають роботи із подальшої оптимізації нейронної мережі та її застосування для спектрометрії альфа-частинок за допомогою твердотільних трекових детекторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Fews A.P.* Fully automated image analysis of etched tracks in CR-39 // *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B.* - 1992. - Vol. 71. - P. 465.
2. *Gammage R., Espinosa G.* Digital imaging system for track measurements // *Radiat. Measur.* - 1997. - Vol. 28. - P. 835.
3. *Yasuda N., Namiki K., Honma Y. et al.* Development of a high speed imaging microscope and new software for nuclear track detector analysis // *Radiat. Measur.* - 2005. - Vol. 40. - P. 311.
4. *Dörsche B., Hermsdorf D., Reichelt U. et al.* 3D computation of the shape of etched tracks in CR-39 for oblique particle incidence and comparison with experimental results // *Radiat. Measur.* - 2003. - Vol. 37. - P. 563.
5. *Repetsky S., Onishchuk Yu., Yashchuk V. et al.* Electron and atomic structure of polymers: Implication for nuclear tracks formation // *Radiat. Measur.* - 2005. - Vol. 40. - P. 204.
6. *Онищук Ю., Горбачов С., Юрченко С.* Розробка підходу до альфа-спектрометрії з використанням твердотільних трекових детекторів // *Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. Фіз.* - 2005. - Вип. 17. - С. 167.
7. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника. - М.: Мир, 1992.
8. *Кисель И.В., Нескоромный В.Н., Ососков Г.А.* Применение нейронных сетей в экспериментальной физике // *ЭЧАЯ.* - 1993. - Т. 24. - Вып. 6. - С. 1551.
9. *Kohonen T.* Self-Organization and Associative Memory. 3-rd ed. - New York: Springer-Verlag, 1989.
10. *Grossberg S.* Studies of mind and brain. - Boston: Reidel, 1982.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРИИ АЛЬФА-ЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ ПЛАСТИКОВОГО ДЕТЕКТОРА CR-39

Ю. Онищук, С. Горбачов, С. Юрченко

Описан новый метод спектрометрии альфа-частиц с использованием твердотельных трековых детекторов, основанный на использовании искусственных нейронных сетей. Для распознавания изображений трекков, полученных с помощью оптического микроскопа, применена нейронная сеть встречного распространения. Достигнута эффективная селекция разных типов трекков и их дискриминация от шумов. Благодаря этому было улучшено энергетическое разрешение метода. Представленный подход является перспективной альтернативой дискриминации трекков с помощью алгоритмизации описания их форм, что представляет существенные трудности в связи с зависимостью от условий сканирования.

**APPLICATION OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR ALPHA SPECTROMETRY
BY MEANS OF PLASTIC DETECTOR CR-39****Yu. Onishchuk, S. Gorbachov, S. Yurchenko**

New technique of alpha spectrometry with usage of solid state nuclear track detectors, based on application of artificial neural networks, was described. For tracks images recognition, which was obtained by optical microscope, we applied a neural network of opposite propagation. Effective selection of different tracks types and their discrimination from noises was achieved. Due to this the energy resolution of technique was improved. Presented approach is very perspective alternative of tracks discrimination as the traditional methods of shapes algorithmization are too complicated and dependent on scanning conditions.

Надійшла до редакції 14.04.06,
після доопрацювання – 20.10.06.