

РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ПАРАМЕТРІВ ПУЧКА ПРИСКОРЕНИХ ІОНІВ ЕГП-10К

І. П. Дряпаченко, В. В. Жук, Л. П. Кацубо, Г. М. Козерацька, Е. М. Можжухін

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Представлено результати робіт на виведеному пучку тандемного прискорювача ЕГП-10К. Було створено нову робочу ділянку іонно-оптичного тракту, що дозволяє проводити діагностику первинного виведеного з прискорювача пучка до його проходження через штатний аналізуючий магніт. Це дало можливість роботи на виведеному пучку при енергіях прискорення, які виходять за проектні межі, перш за все в бік менших значень. Також отримано можливість діагностики, керування та селекції складу первинного пучка (домішки атомарного та молекулярного пучків, нейтралей, важких іонів). Обговорюються результати вимірювань.

Вступ

Проведені на виведеному пучку тандемного прискорювача ЕГП-10К вимірювання [1-3] довели адекватність досягнутих експлуатаційних характеристик прискорювача проектним параметрам. Однак часова їх віддаленість об'єктивно призвела до бажання та необхідності вийти за межі проекту в нових "ідеологічних" та методичних умовах організації фундаментальних досліджень та прикладних робіт, а саме для:

можливості фізичних вимірювань під кутом 0° з визначеними кількісними параметрами (збільшення струму у декілька разів);

вимірювань γ -спектрів продуктів (p, γ)-, (p, n)-реакцій, а також $\gamma\gamma$ -збігів із суттєво збільшеною ефективністю використання пучка;

можливості одержання пучка мікронних розмірів та визначення можливостей мікронзондування;

удосконалення (аналітичність, елементний аналіз тощо) технології виготовлення перезарядних мішеней і т. ін.

Для моделювання й макетування умов виконання цих робіт було створено нову робочу ділянку на виведеному пучку тандема ЕГП-10К і проведено вимірювання пружного розсіяння прискорених протонів та дейтронів при різних енергіях.

Експериментальна частина

Традиційну схему роботи на виведеному пучку тандема показано на рис. 1. Іони з джерела 1 проходять два каскади прискорення 2 до головного діагностичного пристрою 5 для оптимізації заданих і бажаних параметрів прискорення та виведеного пучка. Далі пучок проходить аналізуючий (поворотний) магніт 4, переводиться в горизонтальну площину й подається на будь-яку робочу ділянку в експериментальному боксі 6. Саме ці кінцеві етапи провідки пучка призводять до суттєвих втрат інтенсивності й, зрозуміло, вимагають використання додаткових пристроїв іонної оптики, їх регулювання та контролю. Не ставлячи під сумнів абсолютну необхідність такої роботи, а саме для її оптимізації було обрано схему роботи з прискореним пучком, фактично на самому виході з тандему. На рис. 1 нова робоча ділянка має позначку 3, а на рис. 2 наведено її більш детальну схему. До її складу входять невеличка вакуумна камера 7 об'ємом 3 л, необхідні пристрої автономної відкачки 8, колімування 9 та діагностики пучка 10. Для вимірювання спектрів заряджених частинок, випромінюваних бомбардуваною пучком мішенню, передбачено можливості розташування під фіксованими кутами 30° і 150° двох телескопів заряджених частинок 11, 12. Складові кремнієві детектори телескопів вироблено у відділі радіаційної фізики нашого інституту. Для контролю за інтенсивністю бомбардуючого пучка та моніторингу послідовних експозицій

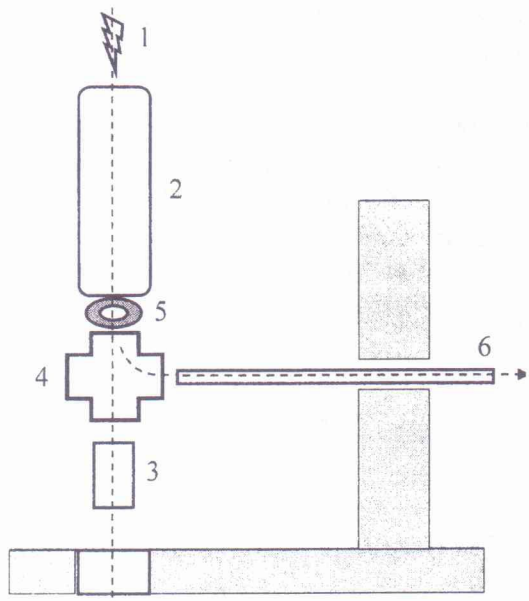


Рис. 1. Схема розміщення обладнання.

з різними умовами, мішенями тощо використовувався інтегратор струму пучка, який гальмувався після проходження мішені на електрично ізольованому пробнику 13 (при необхідності зменшення фону є можливість розміщення його нижче рівня підлоги на відстані до 1,5 м від мішені). Фото на рис. 2 відображають можливості візуального контролю за просторовими характеристиками пучка на діагностичних пристроях до мішені (угорі на пробнику 5 з рис. 1) та на "стопі" пучка 13 (унизу).

Відліки

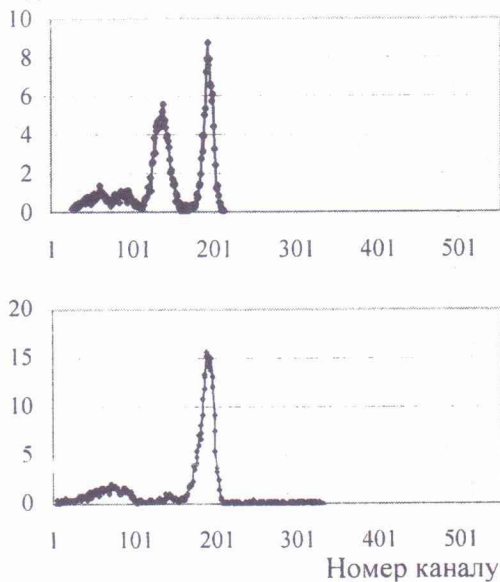


Рис. 3. Спектри пружного розсіяння дейтронів. $E_0 = 4 \text{ MeV}$. $\theta = 30^\circ$. Мішені: CD_2 (угорі), ^{12}C (унизу).

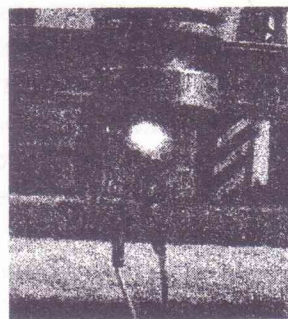
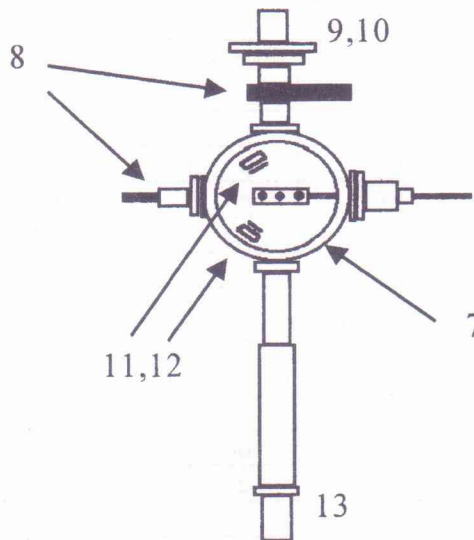


Рис. 2. Схема нової робочої ділянки.

Вимірювання, експериментальні дані та результати

За наявних апаратних можливостей вимірювання зводились до реєстрації одновимірних спектрів пружного розсіяння протонів та дейтронів на двох мішенях – плівці дейтерованого поліетилену CD_2 завтовшки 20 мк та мішені з вуглецю ^{12}C завтовшки 10 мк з метою не дуже громіздкої процедури ідентифікації й контролю за змінами параметрів пучка та умов експерименту. Так, на рис. 3 представлено спектри пружного розсіяння дейтронів з однією енергією 4 MeV на цих двох мішенях. Очевидна однозначна ідентифікація елементного складу мішеней – вуглець та дейтерій

з домішками водню. Звісно, що ця, тільки якісна, наявна “зрозумілість” спектра не була самоціллю вимірювань, а слугувала обнадійливим поштовхом до копіткого кількісного узгодження отриманих параметрів і результатів.

Для проведення кількісних оцінок даних вимірювань перш за все необхідно прокалібрувати енергетичні параметри спектрометричного тракту. У таблиці зібрано результати обрахунку енергії продуктів розсіяння протонів та дейтронів на кути 30 та 150° до напрямку бомбардуючого пучка для вказаних ядер у мішені. Під час вимірювань зручніше було користуватися номограмами залежності енергії частинок від кута реєстрації, побудованими за цією таблицею, для визначення енергії продукту з мішені для будь-якої конкретної бомбардуючої енергії у цьому діапазоні.

Мішень	Кут детектора, °	Пучок	Енергія пучка, MeV						
			2	3	4	5	6	7	8
¹² C	30	p		2,939		4,888		6,844	
	150	p		2,191		3,65		5,108	
D	30	p		2,617		4,36		6,106	
	150	p		0,381		0,635		0,888	
H	30	p		2,25		3,75			
	150	p							
¹² C	30	d	1,913	2,868	3,824	4,78	5,735	6,693	7,647
	150	d	1,063	1,593	2,124	2,655	3,185	3,716	4,246
D	30	d	1,5	2,25	3,0	3,75	4,5	5,25	6
	150	d							
H	30	d		1,06	1,403	1,75	2,1		
	150	d							

На рис. 4 представлено результати вимірювань пружного розсіяння дейтронів на кут 30° з мішенню CD₂ для різних енергій пучка в діапазоні 1,6 ÷ 7,3 MeV. Дані наведено у відносних одиницях, але нормовані на однакову кількість дейтронів пучка, що пройшли крізь мішень. Зіставлення номерів каналів для піків, що відповідають пружному розсіянню дейтронів вуглецем, дейтерієм та воднем з конкретними кінематичними розрахунками, свідчить про однозначну відповідність змін енергії бомбардуючого пучка характеру і кількісним змінам в енергетичних спектрах зареєстрованих продуктів. Отримання результатів вимірювань в означеному інтервалі енергії пучка однозначно свідчить про суттєве розширення робочого енергетичного діапазону тандемного прискорювача і послідовне наближення до проектних параметрів, які (з боку верхньої межі) поки “недосяжні” за проблеми ризиків забезпечення сучасними високотехнологічними електротехнічними матеріалами. У свою чергу з боку низьких енергій не було досягнуто такої межі. Струм виведеного пучка спостерігався на пробнику 5 (див. рис. 1) і реєструвався прямопоказуючими приладами до значень енергії пучка дейтронів у 50 кеВ (спектрометричні дані на рисунку обмежено енергією 1,6 MeV за порогових характеристик детектуючої системи). Це однозначно свідчить про можливість розгортання на даному прискорювачі прикладних робіт з радіаційної фізики твердого тіла, біофізики, матеріалознавства тощо.

Підтвердження цього було отримано у вимірюваннях спектрів зворотного резерфордівського розсіяння (RBS) дейтронів на кут 150°. На рис. 5 наведено результати, отримані в тому ж інтервалі бомбардуючих енергій (розриви в спектрі для E = 7,3 пов’язані з “економією” часу при поканальному виводі неструктурованих плавних ділянок спектра). Перш за все спостерігається збіг результатів енергетичної калібровки цих спектрів з відповідними даними для кута 30°. По-друге, характерні ступінчасті RBS-спектри “прикрашені” дуже вузькими піками, що відповідно зсуваються при зміні енергії бомбардуючого пучка. Деякі з цих піків можуть бути пов’язані як з резонансами функції збудження пружного розсіяння на вугледі при проходженні дейтронами відповідних шарів

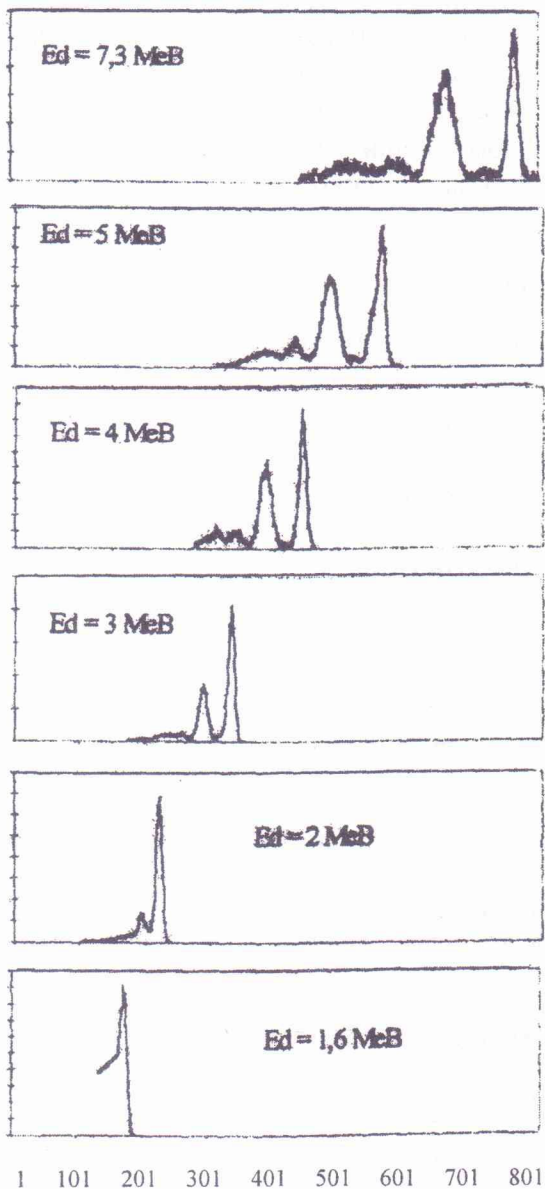


Рис. 4. Спектри пружного розсіяння дейтронів. $\theta = 30^\circ$. Мішень CD_2 . Горизонтальна вісь – номер каналу.

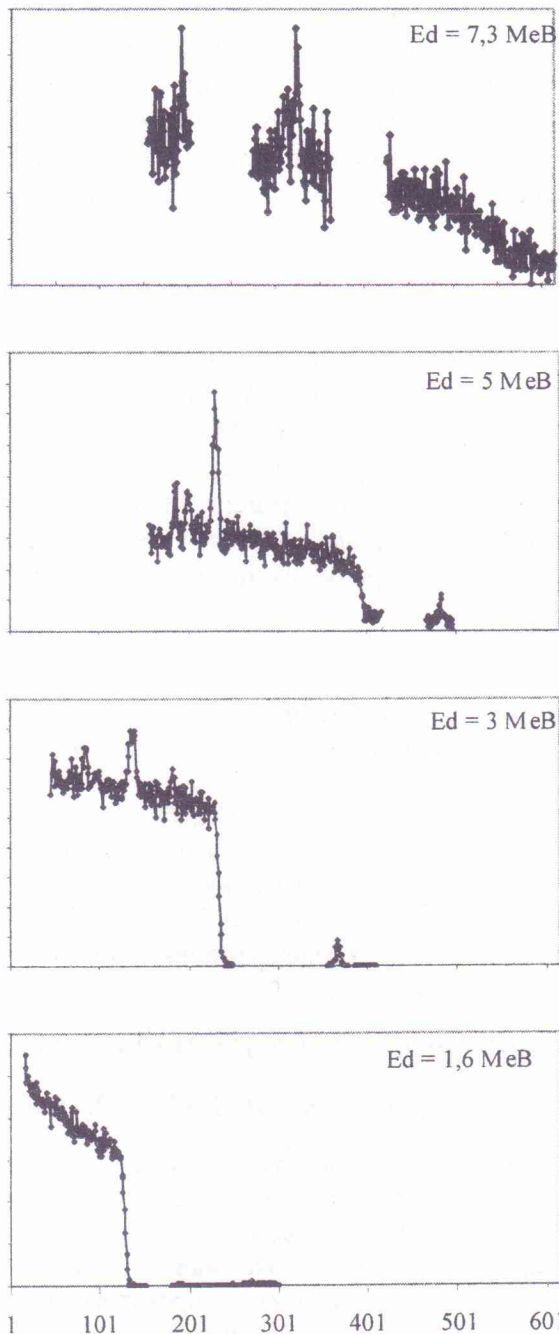


Рис. 5. Спектри пружного розсіяння дейтронів. $\theta = 150^\circ$. Мішень CD_2 . Горизонтальна вісь – номер каналу.

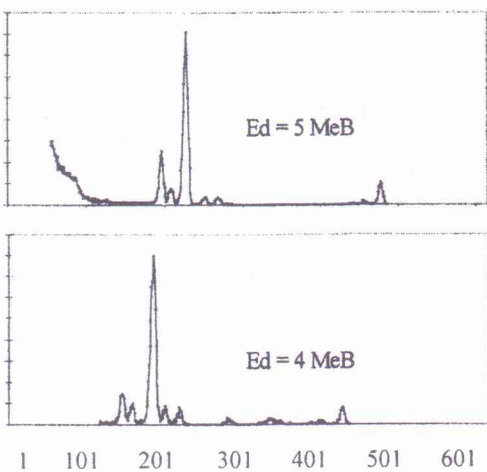


Рис. 6. Спектри пружного розсіяння дейтронів. $\theta = 150^\circ$. Мішень ^{12}C . Горизонтальна вісь – номер каналу.

вуглецю, так і з наявністю дуже малих домішок у мішені важких елементів технологічного походження при їх виготовленні. Це підтверджується проведеними аналогічними вимірюваннями з дуже тонкою чистою вуглецевою мішенню (рис. 6). За однакового загального характеру (з урахуванням різниці в декілька разів у товщині тільки за вуглецем) отриманих спектрів вони сильно відрізняються в "домішкочивій" частині (вище вуглецевих сходинок). Конкретні результати елементного аналізу можливі за копійкою кількісної обробки даних.

Висновки та рекомендації

Отримані експериментальні дані пружного розсіяння дейтронів доводять можливість роботи на виведеному пучку тандемного прискорювача ЕПП-10К в широкому енергетичному діапазоні з будь-яким обраним кроком по енергії. Обмеження з боку низьких енергій зараз пов'язане з методичними труднощами ідентифікації та кількісного аналізу продуктів бомбардування пучком мішені чи зразка. Але це зовсім не обмежує вже зараз можливостей досліджень у режимі off-beam або прикладних опромінювань (імплантації) у значно нижчому, ніж за проектом, інтервалі бомбардуючих енергій пучка.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобырь В. В., Вишневский И. Н., Горюнов О. Ю. и др. Абсолютизация по энергии пучка протонов тандем-генератора ЭПП-10 // Матеріали щорічної наукової конференції НЦ „ІЯД”. - Киев, 1997. - С. 154 - 155.
2. Дряпаченко І.П., Жук В.В., Кацубо Л.П. та ін. Про можливість кінематично повних вимірювань взаємодії двох продуктів у кінцевому стані з розщеплення дейтрона протонами з енергією 5,5 MeV // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних дослід. - 2002. - №1 (7). - С. 40 - 45.
3. Горюнов О. Ю., Дряпаченко І. П., Можжухін Е. М. та ін. Визначення абсолютного значення енергії частинок виведеного пучка тандема ЕПП-10К за допомогою γ -спектрометрії // Там же. - 2003. - №1 (9). - С. 135 - 139.

РАСШИРЕНИЕ ДИПАЗОНА ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА УСКОРЕННЫХ ИОНОВ ЭПП-10К

И. П. Дряпаченко, В. В. Жук, Л. П. Кацубо, Г. Н. Козерацкая, Э. Н. Можжухин

Обсуждаются результаты работ на выведенном пучке тандемного ускорителя ЭПП-10К. Организован новый рабочий участок ионно-оптического тракта, который позволяет проводить диагностику первичного выведенного из ускорителя пучка до его прохождения через штатный анализирующий магнит. Это дало возможность работы на выведенном пучке при энергиях ускорения, которые выходят за проектные границы, прежде всего в сторону меньших значений. Также получена возможность диагностики, управления и отбора состава первичного пучка (примеси атомарного и молекулярного пучков, нейтралей, тяжелых ионов). Обсуждаются результаты измерений.

EGP-10K ION BEAM PARAMETERS DILATING

I. P. Dryapachenko, V. V. Zhuk, L. P. Katsubo, G. M. Kozratska, E. M. Mozzhukhin

The results of activities on the EGP-10K tandem beam are discussed. The new section of an ion-optic channel is organized, which allows to diagnose the primary beam before its transition through a nominal analyzing magnet. It has enabled activities at the beam energies, which one leave for design limits, mainly to lower values. A capability of diagnostic, control and selection of the structure of primary beam (impurity of atomic and molecular beams, neutrals, heavy ions) is also obtained.

Надійшла до редакції 02.03.04,
після доопрацювання – 30.04.04.