

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Карпуся Степана Геннадійовича
«Отримання пучків багатозарядних іонів газів на малогабаритному
електростатичному прискорювачі горизонтального типу», подану на здобуття
наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності
01.04.20 – фізика пучків заряджених частинок

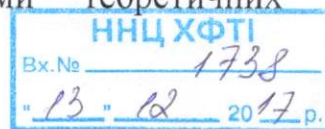
Актуальність обраної теми

Джерела пучків іонів знайшли широке застосування в різних галузях науки, техніки й технологіях. Для вирішення ряду задач ядерної фізики найбільшого поширення знайшли пучки іонів прискорені до енергій декількох МеВ за допомогою електростатичних прискорювачів. В цій галузі накопичено багатий досвід створення таких пучків і їх застосування для дослідження елементного складу речовини за допомогою ядерно-фізичних методів та використання пучків іонів в імітаційних експериментах з опромінення конструкційних матеріалів. Одним зі шляхів розширення можливостей методів мікроаналізу та експериментів є використання пучків багатозарядних іонів газів. Це дозволяє модернізувати прискорювальні комплекси для їх застосування в вирішенні задач, які виникають при створенні конструкційних матеріалів нового покоління. Тому дослідження фізичних процесів, які відбуваються в джерелах багатозарядних іонів, їх розробка і оптимізація параметрів, узгодження іонно-оптичних характеристик пучків з прискорювачем є актуальною задачею теперішнього часу. Слід також відмітити, що завдання дисертаційної роботи вирішувались відповідно до плану робіт у ряді наукових тем у рамках державних науково-технічних програм. У зв'язку з цим актуальність обраної теми є достатньо обґрунтованою.

Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Викладені в дисертації експериментальні результати одержано з використанням діагностичних методів, достовірність яких не викликає сумніву. Автор добре усвідомлює переваги та недоліки кожного з методів і вдало поєднує їх у ході експериментів. Де це можливо, експериментальні вимірювання дубльовані з різних методів та методик.

Теоретичні дослідження базуються на числових методах аналізу траєкторій руху заряджених частинок в аксіально-симетричних електростатичних полях з постійним градієнтом поля; аналітичних методах розрахунку розділення пучків іонів за допомогою магнітного мас-аналізатора; числових методах розрахунку проходження високоенергетичних іонів через вільні вуглецеві плівки. Проведено порівняльний аналіз отриманих експериментальних даних з результатами теоретичних розрахунків.



Все це свідчить про те, що наукові положення дисертації, її висновки та рекомендації є обґрунтованими та достовірними.

Ступінь новизни отриманих результатів

Основні нові результати та висновки, що їх отримано в дисертаційній роботі, полягають в наступному.

1. Експериментально встановлено залежність виходу багатозарядних іонів газів з джерела типу Пеннінга запропонованої нової конструкції від напуску робочих газів (He, Ne, Ar, $<10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$) та розрядної напруги (до 4,3 кВ). Розрахунковим методом та експериментально підтверджено, що основним процесом утворення багатозарядних іонів газів в джерелі даного типу є одноступінчатий процес іонізації електронним ударом.

2. Вперше експериментально отримано залежність розподілу іонів за енергією в високовольтному розряді розробленого джерела типу Пеннінга від напуску робочого газу для He та Ne ($<10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$) та розрядної напруги до 4,3 кВ. Максимальне значення розкиду за енергією для іонів неону (ширина на половині висоти) складає $\approx 94 \text{ еВ}$, а для іонів гелію $\approx 125 \text{ еВ}$. Показано, що для первинної системи формування пучка іонів (близької до Пірса) максимальний кут розходження пучка іонів складає 0,12 рад, а середнє значення нормалізованої яскравості пучка іонів складає $\approx 3 \text{ мА} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{рад}^{-2} \cdot \text{еВ}^{-1}$.

3. Вперше теоретично обґрунтована та реалізована комплексна методика розділення пучків $^4\text{He}^{2+}$ та H_2^+ на малогабаритній ядерно-фізичній установці на базі ЕП «Сокіл», при використанні існуючого мас-аналізатора та електростатичного аналізатора, а також вільних вуглецевих плівок, встановлених перед мас-аналізатором, що дозволило отримати пучки іонів $^4\text{He}^{2+}$ з низьким вмістом іонів H_2^+ . При використанні мас-аналізатора відношення струмів $^4\text{He}^{2+}$ до H_2^+ складає 27, а при використанні вільних вуглецевих плівок: 88 для плівки товщиною 300 нм, а для плівки товщиною 79 нм – 52. Запропонована методика дозволяє розділити прискорені пучки D_2^+ та $^4\text{He}^+$, D^+ та H_2^+ на установках для ядерно-фізичних методів аналізу.

Значимість роботи для науки та практики

Результати дисертації можуть бути використані у фундаментальних і прикладних дослідженнях, які спрямовані на визначення елементного складу матеріалів і застосування в імітаційних експериментах з опромінення зразків нових конструкційних матеріалів в різних установах, як в Україні (Інститут прикладної фізики НАН України, ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, тощо), так і за кордоном.

Серед особливої значимості роботи варто відмітити:

- Розроблено конструкцію компактного інжектора багатозарядних іонів на базі джерела типу Пеннінга з холодними катодами та аксіальною системою витягування іонів, що відповідає вимогам експлуатації на електростатичному прискорювачі «Сокіл». При випробуванні інжектора вперше отримано прискорені пучки багатозарядних іонів на

виході з прискорювача після мас-аналізатора: $^3\text{He}^{2+}$, $^4\text{He}^{2+}$, $^{40}\text{Ar}^{2+}$, $^{40}\text{Ar}^{3+}$, $^{20}\text{Ne}^{2+}$, $^{20}\text{Ne}^{3+}$. Діаметр пучка іонів на вхідній діафрагмі розподільного магніту складає ≈ 4 мм;

- Розширено можливості малогабаритної установки на базі електростатичного прискорювача «Сокіл», як приладу для іонного опромінення за рахунок отримання багатозарядних іонів газів. Показано переваги використання ядерно-фізичних методів аналізу на пучку двозарядних іонів гелію при визначенні товщини, стехіометрії та вмісту домішок в тонких покриттях широкого спектру використання;
- Результати, здобуті в дисертаційній роботі, дають можливість проектувати та виготовляти більш ефективні системи отримання та транспортування іонів у малогабаритних електростатичних прискорювачах, що використовуються для ядерно-фізичних методів аналізу та іонного опромінення.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертації викладено у 20 наукових працях, що задовольняють вимогам ДАК МОН України до публікацій, на яких ґрунтується дисертаційна робота. Аналіз представлених публікацій дає підставу стверджувати, що всі основні положення дисертації в повній мірі опубліковано й апробовано на конференціях. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації.

Зауваження щодо змісту дисертації

Робота не позбавлена деяких недоліків.

1. Не визначено емітанс пучка джерела багатозарядних іонів. Тому аналіз узгодження іонно-оптичних характеристик інжектора іонів і прискорювача, який повинен базуватися на співвідношенні емітанса пучка і аксептансу прискорювальної структури, виконано лише на даних кута розходження пучка і його поперечного перетину. Проведення повного аналізу може дати відповідь на питання чималої втрати струму пучка на виході з прискорювача.

2. Деякі висновки до розділів (наприклад: розділ 2, розділ 3) мають характер опису проведених досліджень і не містять їх аналізу.

3. Положення новизни другий і шостий пункти більш відображають практичне значення роботи.

4. На деяких графіках (рис. 3.6, 3.7 та інш.) не у всіх експериментальних значень показано похибку вимірювань.

Але ці зауваження не зменшують цінності результатів дисертації, а деякі з них свідчать про необхідність розвитку робіт в цьому напрямку.

Відповідність встановленим вимогам до кандидатських дисертацій.

В дисертаційній роботі розв'язано важливе наукове завдання з отримання багатозарядних іонів газів на ядерно-фізичній установці на базі малогабаритного електростатичного прискорювача «Сокіл» горизонтального

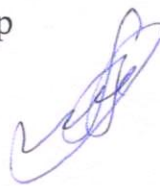
типу, що використовується для ядерно-фізичних методів аналізу та іонного опромінення. Зокрема, виконано фізичне обґрунтування вибору системи отримання та транспортування пучків багатозарядних іонів для установки «Сокіл», яка дозволяє одержувати пучки прискорених багатозарядних іонів газів з енергією більше 2 MeV, а також розроблено, виготовлено, випробувано та використано зазначену систему для розв'язання низки прикладних задач.

Структура дисертації в повній мірі відповідає вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертаційних робіт. Мова та стиль подання матеріалу зрозумілий, речення логічно побудовані, мають смислову завершеність, цілісність і зв'язність. Зміст дисертації послідовно відображає постановку теоретичних задач і експериментів, методи їх вирішення та інтерпретацію отриманих результатів. Тому дисертація є цілісною завершеною роботою.

На підставі вище викладеного можна стверджувати, що робота С.Г. Карпуся «Отримання пучків багатозарядних іонів газів на малогабаритному електростатичному прискорювачі горизонтального типу» за актуальністю, ступеню новизни, значимістю для науки і практики, а також за структурою і об'ємом відповідає вимогам на здобуття наукового ступеня кандидата наук, зокрема пунктам 9, 11, 12 і 13 «Порядку присудження наукових ступенів», та свідчить про високий науковий рівень автора, який заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.20 – «фізика пучків заряджених частинок».

В.о. завідувача відділу фізики пучків заряджених частинок
Інституту прикладної фізики НАН України,
доктор фізико-математичних наук, професор

О.Г. Пономарьов

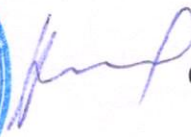


Підпис Пономарьова О.Г.

доктора фізико-математичних наук, професора,
в.о. завідувача відділу Фізики пучків заряджених частинок **завіряю.**

Вчений секретар

Інституту прикладної фізики НАН України
кандидат фізико-математичних наук



О.І. Ворошило