

sive lubrication of friction pairs in the system as a whole, but also to completely abandon the traditional cooling systems facilitate and simplify the design in such a way. The use of dry sump system allowed quick-install the oil tank with oil, which is to replace during maintenance takes a few minutes while the replacement of oil in the crankcase of the traditional powertrain would have taken up to one standard hour. Using the proposed system of lubrication will ensure efficient use of the heat from the engine cooling jacket to the oil lubrication of transmission components with temperatures up to 90° C, which significantly reduce the rotational resistance in friction pairs, especially in winter, and thus will save fuel by 10 to 20% depending on the time of year.

Key words: transmission, four wheel drive, integral transmission.

Стаття надійшла в редакцію: 23.09.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Гецович Є.М.

УДК 621.384.8

ПРИЗМОВИЙ МАГНІТНИЙ МАС-АНАЛІЗАТОР З ЕЛЕКТРИЧНИМ ФОКУСУВАННЯМ ІОНІВ ЗА НАПРЯМКОМ

О. С. Кузема, д.ф.-м.н., професор, Сумський національний аграрний університет

П. О. Кузема, к.х.н, Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України

Запропоновано електричний спосіб фокусування іонного пучка за напрямком руху іонів в призмому мас-аналізаторі з аксіально-симетричним секторним магнітним полем типу r^1 , що має прямі границі. Показано, що в такому мас-аналізаторі якість фокусування іонного пучка може бути покращена за рахунок використання багатолінзових електростатичних систем, сферична аберация яких скорегована.

Ключові слова: іонний пучок, мас-аналізатор, магнітна призма, електростатична лінза.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Серед сучасних фізичних методів досліджень складу і властивостей речовин одно із перших місць займає мас-спектрометрія. Метод являється високочутливим, прямим і універсальним, оскільки при його застосуванні отримують безпосередні дані про величину атома чи молекули. Сутність мас-спектрометричного методу полягає в просторовому або часовому розділенні попередньо іонізованих молекул або атомів, що відрізняються відношенням їх маси до величини заряду. Таке розділення відбувається в умовах високого вакууму під дією електричних і магнітних полів або їх комбінації.

На сьогоднішній день вітчизняними дослідниками і розробниками мас-спектрометричної апаратури створено багато типів мас-спектрометрів, які відрізняються значеннями аналітичних параметрів і галузями застосування, але найбільше розповсюдження отримали мас-аналізatori із магнітними і електричними стаціонарними полями. Фізичні принципи розділення пучків заряджених частинок за масами і енергіями, а також результати досліджень дисперсних і фокусуючих властивостей електричних і магнітних полів сприяють подальшому покращенню технічного рівня і аналітичних параметрів сучасних мас-спектрометрів. Вкажемо на основні досягнення в цій області знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Останнім часом в мас-спектрометрії сформувався новий напрямок, пов'язаний з використанням секторних неоднорідних призмових магнітних полів з аксіальною симетрією (поле типу $-r^1$) [1-4]. В опублікованих по даній тематиці роботах ви-

значені способи фокусування іонів за напрямком їх руху в таких полях і описані технічні рішення, реалізовані в сучасних мас-спектрометрах з неоднорідними магнітними полями. Показано, що в призмому магнітному аналізаторі фокусування іонів за напрямком можна забезпечити кількома способами: за допомогою криволінійних границь магнітної призми [4], шляхом використання додаткового однорідного магнітного поля [5] або за рахунок застосування електричної фокусуючої системи у випадку коли границі магнітної призми прямі [6].

Таким чином, з огляду і аналізу останніх публікацій і досліджень по виготовленню і застосуванню призмових мас-аналізаторів з полем r^1 видно, що існує два типи мас-спектрометрів з неоднорідним магнітним полем: прилади з магнітним фокусуванням за напрямком [1-4] і прилади з електричним фокусуванням. Прилади другого типу мають переваги перед приладами першого типу в роздільній здатності і чутливості. Крім того вони простіші у виготовленні і керуванні [7,8]. Виникає потреба у визначенні і у порівняльному аналізі властивостей і характеристик двох типів аналізуючих систем з різним ступенем складності з метою більш ефективного використання магнітних призмових мас-аналізаторів з електричним фокусуванням іонних пучків за напрямком.

Мета даної роботи полягає у дослідженні електричного способу фокусування іонного пучка за напрямком руху іонів в призмому мас-аналізаторі з аксіально-симетричним секторним магнітним полем, що має прямі границі.

Викладення основного матеріалу дослідження. Із розгляду фізикотехнічних особливос-

тей мас-спектрометрів з неоднорідним аксіально-симетричним магнітним полем видно, що для фокусування іонів за напрямом в них використовуються в основному фокусуєчі магнітні призми з круговими границями із за чого способи фокусування, покладені в основу принципу їх дії, мають наступні недоліки.

Іонно-оптичні властивості мас-аналізаторів з таким полем досить чутливі до малих відхилень поля від заданого, в наслідок чого аналізуючі поля в таких приладах реалізуються за допомогою полюсних наконечників і електродів складного профілю, точне виготовлення яких є важким практичним завданням. Суттєвий вплив на характеристики призмових мас-аналізаторів з круговими границями мають поля розсіювання і якість виготовлення іонно-оптичної системи. При вибраній геометрії магнітного поля призми відсутня можливість зміни дисперсії іонно-оптичної системи і основних характеристик приладу.

Зазначені недоліки можуть бути в значній мірі усунуті якщо фокусування іонів за напрямком здійснювати не магнітним а електричним полем. В цьому випадку функції розділення іонів за масами і фокусування їх за напрямком будуть виконуватись різними елементами: магнітне поле розділятиме іонний пучок за масами, а електричне поле фокусуватиме їх за напрямком. Це забезпечить мас-спектрометру ряд позитивних якостей, а саме: зменшиться вплив полів розсіювання і просторового заряду іонного пучка на параметри приладу; відпаде необхідність юстування мас-аналізатора і зменшиться вимогу до точності розташування вузлів іонно-оптичної системи; фокусування іонів за напрямком можна буде здійснювати незалежно від вибору «оптичних плечей» мас-аналізатора, точності реалізації неоднорідного магнітного поля призми і ускладнення виробничої технології; величина дисперсії буде незалежною від розмірів елементів іонно-оптичної системи і її можна зробити досить значною при невеликих розмірах магніту.

Підтвердимо вказане розрахунком величини дисперсії за масами призмового магнітного мас-аналізатора електричним фокусуванням іонів за напрямком. Як показано в [7,8], для симетричної конструкції призмового мас-аналізатора з неоднорідним секторним магнітним полем дисперсія за масами визначається виразом:

$$D_m = \frac{r_m}{2} \left(\frac{1 - \cos \sqrt{1-n}\varphi_m}{1-n} + l_m'' \frac{\sin \sqrt{1-n}\varphi_m}{\sqrt{1-n}} \right), \quad (1)$$

де D_m - дисперсія мас-аналізатора;

r_m - радіус центральної траєкторії іонів в призмі;

φ_m - кут відхилення іонів в призмі;

$l_m'' = L_m'' / r_m$ - довжина вихідного оптичного плеча мас-аналізатора в одиницях r_m ;

n - коефіцієнт неоднорідності магнітного поля призми.

Якщо коефіцієнт неоднорідності магнітного поля призми $n=1$, то враховуючи, що

$$\lim_{n \rightarrow 1} \frac{1 - \cos \sqrt{1-n}\varphi_m}{1-n} = \frac{\varphi_m^2}{2} \quad \text{і} \quad \lim_{n \rightarrow 1} \frac{\sin \sqrt{1-n}\varphi_m}{\sqrt{1-n}} = \varphi_m,$$

отримуємо

$$D_m = \frac{r_m \varphi_m^2}{4} + \frac{L_m'' \varphi_m}{2}. \quad (2)$$

Перший доданок у цьому співвідношенні характеризує радіальну дисперсію другий – куту. Дисперсія за масами магнітної призми з полем r^{-1} пропорційна квадрату кута відхилення іонів в магнітному полі і може бути досить великою коли $\varphi_m > 180^\circ$. При цьому збільшення дисперсії за рахунок вибору великих кутів відхилення іонів або розширення діапазону мас за рахунок збільшення радіусу центральної траєкторії іонів не приведуть до зростання «оптичних плечей» і габаритів приладу, по скільки радіальне фокусування іонів призми відбувається незалежно від цих параметрів. В разі проектування аналізуючих систем з магнітними призмами можна в широких межах змінювати геометричні параметри мас-аналізатора, що суттєво спрощує вибір іонної оптики мас-спектрометра. Цим магнітні призми з полем r^{-1} відрізняються від неоднорідних магнітних полів з $n < 1$, фокусні відстані яких залежать від радіуса центральної траєкторії іонів і величини кута відхилення іонів призми.

З метою забезпечення фокусування іонів в радіальній і аксіальній площинах необхідно щоб у магнітну призму з полем r^{-1} , яка має прями границі, ортогональні до центральної траєкторії, надходив іонний пучок, що сходиться. Отримати такий пучок можна за допомогою системи лінз, причому для цього придатні як магнітні, так і електростатичні лінзи. Але оптична сила магнітної лінзи залежить від маси іона, а електрична лінза немає такого недоліку. Вона простіша за конструкцією, має малу вагу і споживає невелику потужність. У призовому мас-спектрометрі із середньою роздільною здатністю раціональним варіантом його фокусуєчої системи може бути одиночна електростатична осесиметрична лінза. Вона має три трубчастих електроди, крайні з яких з'єднані між собою, а на середній подається регульований потенціал для отримання необхідної фокусної відстані лінзи. Якщо в приладі необхідно забезпечити велику роздільну здатність і високу чутливість необхідно застосувати електростатичну систему із квадрупольно-оптупольних лінз, сферична аберація яких скорегована [9]. Дослідження, виконані нами, показали, що при однакових габаритах фокусуєча система із квадрупольно-оптупольними лінзами в два рази підвищує роздільну здатність і в три рази його чутливість в порівнянні із фокусуванням іонного пучка одиночною електростатичною лінзою [10].

Іонно-оптична система з магнітним полем r^{-1}

¹ застосована в призмовому серійному мас-спектрометрі з електричним фокусуванням МХ-2301 [11]. Загальний вигляд приладу показаний на рис. 1.

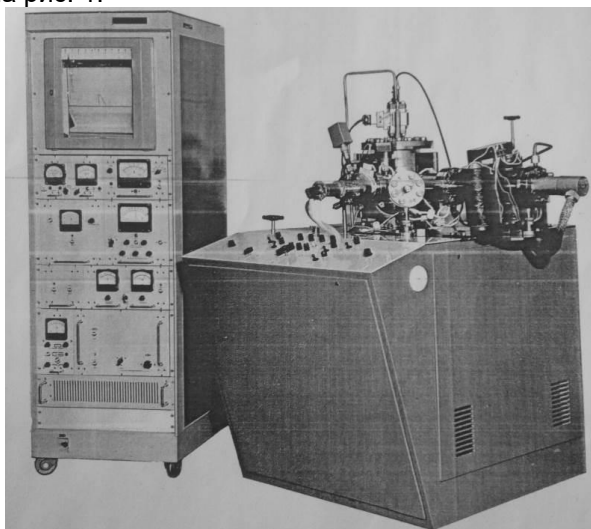


Рис.1. Загальний вид мас-спектрометра МХ-2301.

На рис. 2 показано мас-спектр ізотопів криптону.

При радіусі центральної траєкторії іонів $r_m = 100$ мм і енергії $U = 2300$ еВ прилад показав такі результати: дисперсія складає $D_m = 10$ мм на 1% маси іона. Роздільна здатність на рівні 0,01% інтенсивності піків спектра мас (навіть при енергії іонів $U = 1000$ еВ) є достатньою для аналізу домішок газоподібних речовин. На половині висоти піків роздільна здатність більша 700, що свідчить про придатність приладу також і для структурного аналізу речовин. Таким чином магнітні призмові мас-спектрометри з електричним фокусуванням іонів за напрямком за своїми аналітичними параметрами перевершують прилади аналогічного класу.

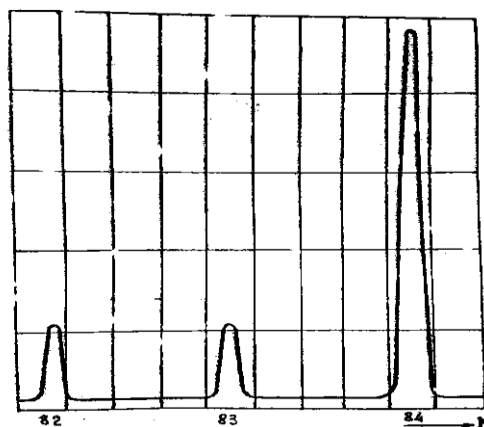


Рис.2. Спектр мас ізотопів криптону, одержаний на приборі МХ-2301 при чутливості $5 \cdot 10^{-4}$ А/мм рт.ст.

Висновки. Виконані дослідження іонно-оптичних властивостей неоднорідних магнітних полів свідчать про те, що призмові мас-аналізатори, побудовані на їх основі, вигідно використовувати для розділення і фокусування заряджених частинок, однорідних за масами і неоднорідних за швидкостями, або однорідних за швидкостями і неоднорідних за масами. Якщо ж параметри пучка такі, що частинки в ньому відрізняються за масою і швидкістю, то перевага неоднорідного поля перед однорідним буде помітна при сепарації широких іонних пучків, коли вклад аберацій в розширенні зображення щілині джерела іонів буде менше початкової ширини пучка на виході джерела іонів.

Таким чином, основними перевагами призмових магнітних мас-спектрометрів з електричним фокусуванням іонів за напрямком являється: відносно високі значення технічних характеристик, простота конструкції і керування, широкий діапазон зміни аналітичних параметрів, невелика вага і габарити. Зазначені переваги дозволяють застосовувати цей прилад в самих різних галузях науки техніки і промисловості.

Список використаної літератури:

1. Шеховцов Н.А. Магнитные масс-спектрометры / Н.А. Шеховцов - М.:Атомиздат, 1971 – 232 с.
2. Сдвоенный масс-спектрометр с неоднородным магнитным полем /Н.А. Шеховцов, В.Ф. Шкурдода, А.С. Кузема, А.С. Колосков //Атомная энергия. – 1964. – №22.- С.506.
3. Малов А.Ф, Суздаев В.А., Федосеев Е.П. Нелинейное исследование пространственной фокусировки в магнитных фокусирующих призмах с полями r^{-1} // Журнал технической физики. – 1965. – Т.35, №5. – С 914-926.
4. Федосеев Е.П. Магнитные фокусирующие призмы с полями r^{-1} для фокусировки широкоугольных пучков заряженных частиц // Журнал техн. физ.. – 1968. – Т.38, №8. – С. 1320-1329.
5. Matsuda H., Fucimoto S., Nojiri M. Zeitschrift fur Naturforschung A.21(1) 1966, P. 25-33.
6. Кузема А.С., Зинченко Н.С., Саван О.Р. Радиальная фокусировка ионного пучка в магнитном анализаторе с неоднородным полем и электростатической линзой // Журнал техн. физ. – 1977. – Т.41, №11. – С. 2368-2371.
7. Кузема А.С. Анализирующие системы магнитных масс-спектрометров / А.С. Кузема, О.Р. Савин, И.Я. Чертков. – К.: Наук. думка, 1987. – 288 с.
8. Кузема А.С. Аксиальная фокусировка ионного пучка в магнитном анализаторе с неоднородным полем и электростатической линзой. – К.: Наук. думка, 1981. – Т.51. – С. 451-456.

9. Шпак Е.В., Явор С.Я., Савин О.Р., Кузема А.С. Триплет из электростатических квадрупольно-октупольных линз нового типа со скорректированной сферической абберацией // Журнал техн. физ. – 1969. – Т.39, №9. – С.1720-1723.

10. Кузема А.С., Соловьева А.Е. Исследования влияния параметров ионного пучка на характеристики призмного масс-спектрометра с неоднородным магнитным полем. Вісник СНАУ 1(17), серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів» - 2008, С. 156-160.

11. Кузема А.С., Погребняк А.Д., Кузема П.А. Влияние режимов работы источника ионов на характеристики призмного масс-спектрометра с неоднородным магнитным полем. Вісник СНАУ 2(1), серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів» - 2010, С. 69-73.

Кузема А.С., Кузема П.А. ПРИЗМОВЫЙ МАГНИТНЫЙ МАСС-АНАЛИЗАТОР С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКОЙ ИОНОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ

Исследованы методика и результаты теоретических и экспериментальных исследований ионно-оптических свойств и характеристик призмных магнитных масс-спектрометров с электрической фокусировкой ионов по направлению. Показано, что в таком приборе качество фокусировки ионного пучка может быть улучшено за счет использования многолинзовых электростатических систем со скорректированной сферической абберацией.

Ключевые слова: ионный пучок, масс-анализатор, магнитная призма, электростатическая линза.

O.S. Kuzema, P.O. Kuzema PRISM MAGNETIC MASS ANALYZER WITH ELECTRICAL ION FOCUSING BY THE DIRECTION

Recently in mass-spectrometry has formed a new direction associated with using sector prize inhomogeneous magnetic fields with axial symmetry (r-1) [1-4]. In published on the subject of the work identified ways to focus ions in the direction of their movement in such fields and describes the technical solutions implemented in modern mass spectrometer with inhomogeneous magnetic fields. It is shown that in prize magnetic analyzer, focusing ion direction can be achieved in several ways: by using curved boundaries of the magnetic prism [4], by use of an additional homogeneous magnetic field [5] or through the use of electrostatic focusing system in the case when the boundaries of the magnetic prism direct [6].

During the consideration of the physic-technical characteristics of the mass of the electrons with the inhomogeneous axially symmetric magnetic field it is evident that to focus ions in the direction they use mostly focusing magnetic prisms with straight borders which the methods focus, forming the basis of the principle of their operation, have the following disadvantages. Ion-optical properties of mass analyzers o this field is quite sensitive to small deviations of the field from the set, resulting in parsing fields in such devices are implemented using pole pieces and electrodes complex profile, sinks manufacture which is a difficult practical task. A significant impact on the characteristics of prizm and workmanship of the ion-optical system. When the selected geometry of the magnetic field of the prism is missing the possibility of changing the dispersion of the ion-optical system and the main characteristics of the device.

These disadvantages can be eliminated if the focus of ions in the direction of carry not magnetic, and electric field. In this case, the function of separating ions by their masses and focus them to be undertaken by different elements: a magnetic field are separated in the direction of the ion beam according to mass and electric field them for directions. The practical test of such a device is shown that their analytical parameters it surpasses the devices of the same class.

Key words: ion beam, mass analyzer, magnetic prism, electrostatic lens.

Стаття надійшла в редакцію: 01.10.2016

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Кундера Ч.

УДК 620.92-661.152.32

НОВИЙ СПОСІБ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СУШІННІ ТА ГРАНУЛЯЦІЇ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

А. М. Павлюченко, д.т.н., професор,

В. В. Шелудченко, к.т.н., доцент

Сумський національний аграрний університет.

Винайдений, та запропонований новий тригенераційний, термодинамічно досконалий, енергоефективний, наукоємний, екологічно чистий, з високим ККД спосіб сушіння та грануляції мінеральних добрив з використанням технологічного процесу відновлювальних джерел енергії (вітрової та сонячної). У запропонованому способі повністю виключається використання природного газу та інших видів палива з повним енергозбереженням.

Ключові слова: мінеральні добрива, сушіння та грануляція, відновлювальні джерела енергії,