

## Измерение эмиттанса пучка ионов электростатического ускорителя

И.Г. Игнатъев\*, М.И. Захарец, С.В. Колянько, Д.П. Шульга

Институт прикладной физики Национальной Академии Наук Украины, ул. Петропавловская, 58, 40000 Сумы, Украина

(Получено 03.12.2013; опубликовано online 06.04.2014)

Разработана экспериментальная установка, позволяющая производить измерения полного тока, профиля и эмиттанса пучка ионов. Измерен эмиттанс пучка ионов  $H^+$  электростатического ускорителя мегаэлектронвольтных энергий.

**Ключевые слова:** Пучок ионов, Эмиттанс, Электростатический ускоритель.

PACS numbers: 41.75.Ak, 41.75.Cn

### ВВЕДЕНИЕ

Для достижения высоких ионно-оптических характеристик ускорителей заряженных частиц необходимы экспериментальные исследования параметров пучка. Полученные данные используются при проектировании, модернизации уже существующих установок и математическом моделировании динамики пучков ионов в системах их формирования. При этом недостаточно знать только его поперечные размеры и угол расходимости [1-3].

В настоящее время существуют разнообразные типы приборов для исследования характеристик пучков заряженных частиц [4]. Наиболее универсальным прибором является эмиттансометр – прибор, позволяющий определять проекции фазового объёма пучка на определённые фазовые плоскости.

В данной работе описан эмиттансометр, изготовленного в ИПФ НАН Украины и представлены основные результаты измерения эмиттанса пучка ионов  $H^+$ , ускоренного до энергии 1000 кэВ при токе пучка 25 мкА.

### 1. ОБЩАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

Схема измерителя эмиттанса (эмиттансометра), представлена на Рис. 1.

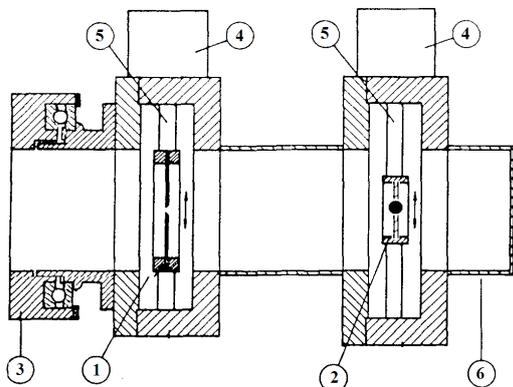


Рис. 1 – Схема эмиттансометра

Часть ионного пучка, прошедшая через перемещаемую диафрагму (1), измеряется при помощи про-

волочного зонда (2). Эмиттанс вычисляется по положениям щели диафрагмы и зонда, которые определяют угловые и пространственные координаты пучка ионов.

Перед камерой с диафрагмой находится осевой шарикоподшипник (3). Перемещение диафрагмы и проволочного зонда обеспечивается шаговыми двигателями (4) при помощи стержней с резьбой (5).

Щель диафрагмы, которая выделяет часть ионного пучка, устанавливается на ширину 0,2 мм.

Основные механические характеристики эмиттансометра:

- высота щели диафрагмы 60 мм;
- диаметр зонда 0,2 мм, длина 70 мм;
- ход щели диафрагмы – 55 мм, зонда – 92 мм.

За камерой с проволочным зондом установлен цилиндр Фарадея (6), служащий для измерения тока пучка ионов.

### 2. УПРАВЛЕНИЕ ЭМИТТАНСОМЕТРОМ

Управление эмиттансометром осуществляется IBM совместимым компьютером с операционной системой Window. На Рис. 2 представлена блок схема системы управления прибором.

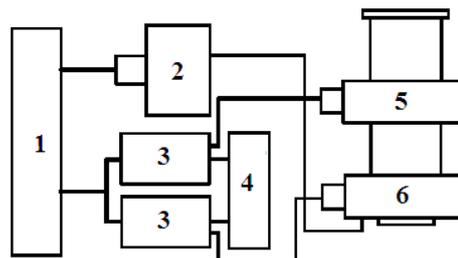


Рис. 2 – Блок схема системы управления эмиттансометром: 1 – компьютер; 2 – вольтметр В7 – 21А; 3 – блоки управления шаговыми двигателями; 4 – блок питания; 5 – камера 1; 6 – камера 2

Принципиальная электрическая схема подробно описана в работе [5].

Плата интерфейса вставляется в материнскую плату компьютера. На внешней панели платы имеются 2 разъёма для подключения блоков управления шаго-

\* [iignatew@yandex.ru](mailto:iignatew@yandex.ru)

выми двигателями и вольтметра В7-21А. Блоки управления шаговыми двигателями кабелями соединяются с соответствующими разъёмами на камерах.

Характерной особенностью данной установки является использование только сертифицированных приборов заводского изготовления. Это связано с тем, что, как показывает практика, результаты, получаемые с применением самостоятельно изготовленных измерительных модулей, не всегда могут считаться метрологически достоверными.

### 3. ИЗМЕРЕНИЕ ЭМИТТАНСА ПУЧКА ИОНОВ Н<sup>+</sup> ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ «СОКОЛ»

Угловое распределение пучка, вышедшего из электростатического ускорителя определяется относительно центральной оси 1 – 2 (Рис. 3), положение которой задаётся координатами

$$x_s = \frac{\sum_i I(x_i)x_i\Delta x_i}{\sum_i I(x_i)\Delta x_i}, f_s = \frac{\sum_i I(f_i)f_i\Delta f_i}{\sum_i I(f_i)\Delta f_i}$$

где  $x_i$  – координата щели диафрагмы;  $f_i$  – координата зонда,  $\Delta x_i$  и  $\Delta f_i$  – шаги сканирования,  $I(x_i)$  – ионный ток, прошедший через диафрагму;  $I(f_i)$  – ионный ток, измеренный на зонде.

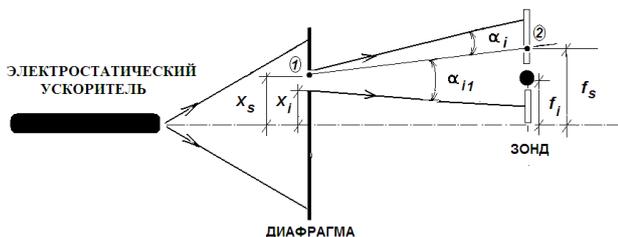


Рис. 3 – Расчётная схема измерения эмиттанта

Линия, соединяющая точки  $x_s$  и  $f_s$ , показывает

направление «движения» центра пучка ионов после прохождения щели.

Как видно из Рис. 3, ионный пучок имеет для каждого положения щели диафрагмы  $x_i$  два угловых отклонения, которые определяются углами отклонения от центральной оси пучка  $\alpha_i$  и  $\alpha_{i1}$ . При этом, вследствие малости данных углов:

$$\Delta x_i' = \alpha_i + \alpha_{i1},$$

Измеряя распределение фазовой плотности в пространстве, путем обхода щелью и зондом всех точек поперечного сечения пучка, определяется фазовая площадь пучка:

$$T_x = \sum_i \Delta x_i' \Delta x_i,$$

Площадь  $T_x$  является эмиттансом без множителя  $1/\pi$ . Аналогично определяется эмиттанс  $T_y$  для координаты  $y$ .

На Рис. 4 представлены результаты измерений проекций фазового объема на фазовые плоскости (XX') и (YY') для электростатического ускорителя (ЭСУ) «Сокол» ИПФ НАН Украины [6].

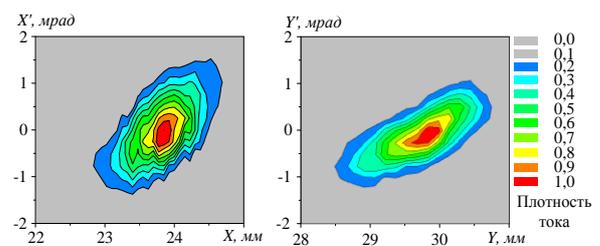


Рис. 4 – Эмиттанс и относительная плотность тока пучка ЭСУ «Сокол» (энергия ионов Н<sup>+</sup> 1000 кэВ, ток пучка 25 мкА).

В настоящее время результаты данных измерений используются для оптимизации систем проводки пучка ионов по каналам Аналитического ускорительного комплекса ИПФ НАН Украины.

## MEV Energy Electrostatic Accelerator Ion Beam Emittance Measurement

I.G. Ignat'ev, M.I. Zakharets, S.V. Kolinko, D.P. Shulha

*Institute of Applied Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, 58, Petropavlivska Str., 40000 Sumy, Ukraine*

The testing equipment was designed, manufactured and tried out permitting measurements of total current, current profile and emittance of an ion beam extracted from the ion beam. MeV energy electrostatic accelerator ion H<sup>+</sup> beam emittance measurement results are presented.

**Keywords:** Ion beam, Emittance, Electrostatic accelerator.

## Вимірювання емітансу пучка іонів електростатичного прискорювача

І.Г. Ігнат'єв, М.І. Захарець, С.В. Колінько, Д.П. Шульга

*Інститут прикладної фізики Національної Академії Наук України, вул. Петропавлівська, 58, 40000 Суми, Україна*

Розроблена експериментальна установка, яка дозволяє проводити вимірювання струму, профілю та емітансу пучка іонів. Вимірюване емітанс пучка іонів  $H^+$  електростатичного прискорювача мегаелектронвольтових енергій.

**Ключові слова:** Пучок іонів, Емітанс, Електростатичний прискорювач.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. М. Силадьи, *Электронная и ионная оптика* (Москва: Мир: 1990).
2. А.А Шмидберская, П.А. Шмидберский, *Электронная и ионная оптика* (Тюмень: Издательство ТюмГУ: 2007).
3. V.I. Voznyu, V.I. Miroshnichenko, S.N. Mordik, V.E. Storizhko, *Probl. An. Sci. Tehn. No4, 284* (2003).
4. В.А. Москалев, Г.И. Сергеев, *Измерение параметров пучков заряженных частиц* (Москва: Энергоатомиздат: 1991).
5. S.V. Kolinko, S.A. Pustvoytov, S.A. Eremin, A.G. Nagorny, *Instrum. Exper. Tech-U. No2, 151* (2005).
6. L.P. Batvinov, A.D. Vergunov, L.S. Glazunov, *Probl. An. Sci. Tehn. No1 (22), 26* (1985).