

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА УСКОРЕННЫХ ИОНОВ НА ИМПУЛЬСНОМ УСКОРИТЕЛЕ ИДМ-20

Звягинцев О.А.

Научный руководитель: В.Н. Падалко, с.н.с.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

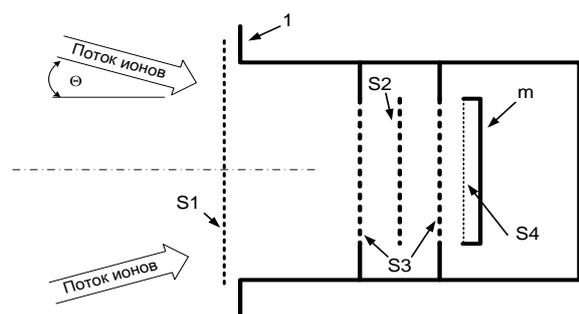
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: kudriashkin@inbox.ru

Импульсный сильноточный ускоритель ионов обычно используется для изучения ядерных реакций ${}^2\text{H}(d,n){}^3\text{He}$, ${}^2\text{H}(p,\gamma){}^3\text{He}$ в области низких энергий 4 – 20 кэВ[1]. Изучение состава пучка ионов является трудоемкой, но необходимой составляющей экспериментальных исследований. Как правило, в таких исследованиях пучок частиц падает на металлическую дейтерированную мишень и количество частиц, провзаимодействовавших с мишенью в каждом импульсе ускорителя, определяется интегрированием тока мишени.

В настоящей работе разработана методика и измерены энергетические спектры ионов водорода и гелия. Измерен вклад нейтральных частиц в потоке. Результат проведенных экспериментов позволил: определить величину энергетического разброса для заданного диапазона энергий; измерить верхнюю границу относительного содержания быстрых нейтральных частиц в потоке ускоренных ионов; получить значение коэффициента ионно-электронной эмиссии.

Для вышеперечисленных измерений разработан многосеточный электростатический спектрометр энергетического спектра ускоренных протонов, позволяющий измерять спектр ионов непосредственно на мишени в рабочей конфигурации (рисунок 1).



1 – вакуумная камера, S1 ÷ S4 – металлические сетки, m – мишень.

Рис.1. - электростатический спектрометр

На входную сетку S1 подается напряжение – 150 В для очистки ионного пучка от электронов. На ней же измеряется опорное (входное) значение ионного тока. На высоковольтную сетку S2 подается напряжение $+U$, отсекающее из потока ионы с энергией меньше U эВ. Для обеспечения

геометрической симметрии электрического поля, потенциальная сетка S2 расположена между двумя одинаковыми заземленными сетками S3. Сборка из двух сеток S3 и потенциальной сетки S2 является основным анализирующим устройством. После анализирующего устройства поток ионов, пройдя сетку S4, попадает на мишень m. Для корректного измерения тока пучка на сетку S4 подается напряжение –150 В для подавления вторичной ионно – электронной эмиссии, инициируемой ионным пучком в материале коллектора.[2]

Энергетический спектр измерялся для ионов водорода и гелия в диапазоне 8 – 14 кэВ.

На рисунках представлена экспериментальная зависимость I_m/I_{S1} от напряжения отсечки U , результат аппроксимации гладкой кривой и энергетический спектр как производная сглаженной кривой. Для удобства представления все значения приведены в относительных величинах.

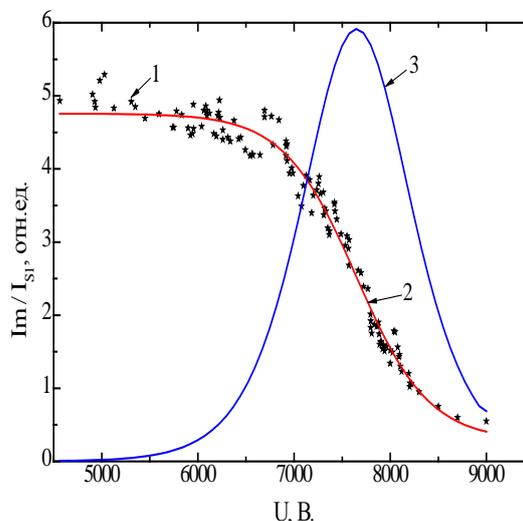


Рис.2. - зависимость тока мишени от напряжения отсечки для напряжения ускорения. 8кВ

На рисунках цифрами обозначены: 1 - экспериментальные значения, 2 – аппроксимация экспериментальных точек, 3 – восстановленный энергетический спектр.

Результат аппроксимации:

Параметры энергетического распределения:
 среднее значение: $\bar{E} = 7.65 \text{кэВ}$; разрешение
 (ПШПВ): $\Delta E(1/2) = 17 \%$

Аналогично были измерены энергетические спектры ионов гелия.

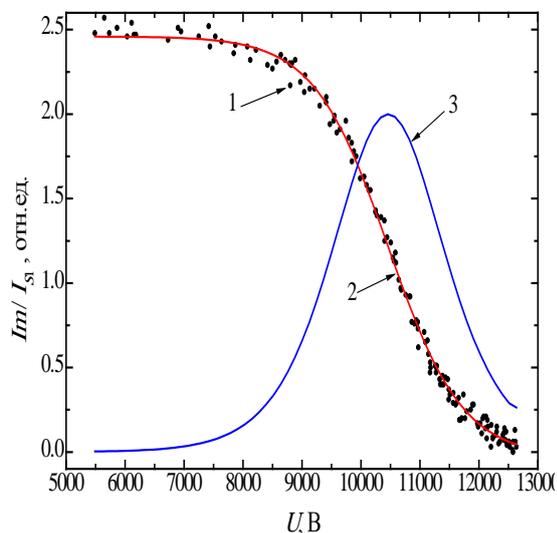


Рис.3. - зависимость тока мишени от напряжения отсечки для напряжения ускорения 11кВ.

Параметры энергетического распределения: $\bar{E} = 10.46 \text{кэВ}$; $\Delta E(1/2) = 21 \%$.

Из рисунка 3 видно, что экспериментальные точки при больших напряжениях отсечки имеют большой разброс. Нестабильность связана с тем, что при этих напряжениях в вакуумной камере возникают микрозаряды. Поэтому измерение энергетических спектров для энергий ускорения более 14 кэВ не проводилось из-за риска высоковольтного пробоя в области отсекающей сетки.

Несовпадение установленной энергии и центра измеренного энергетического распределения можно объяснить тем, что пучок ионов падает на мишень не под прямым углом в результате баллистической фокусировки.

Для диапазона энергий ускоренных ионов 8 – 14 кэВ определена величина энергетического разброса:

$$\Delta E(1/2) = 17.4 \pm 0.8 \%$$

Для определения количества быстрых нейтралов и определения величины γ мы использовали возможности сеточного электростатического анализатора энергии, расположенного перед мишенью.

Поскольку для быстрых ионов и нейтралов атомарного водорода коэффициенты ионно - электронной эмиссии равны, ток, снимаемый с металлической мишени I_m , будет обусловлен потоком ионов, и электронами вторичной эмиссии.

$$I_m = I^+ + \gamma(I^+ + I^0) \quad (1)$$

где I^+ - поток ионов, I^0 - поток нейтральных частиц.

Для уточнения вклада нейтрализованных частиц в потоке ускоренных ионов необходимо знать величину коэффициента γ .

С этой целью проведены две аналогичных серии измерений ионного тока (с подавлением вторичной эмиссии электронов и без подавления) в рабочем режиме - $U_{S2}=0$.

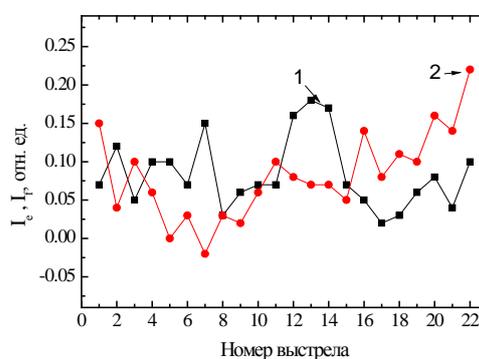


Рис.4. - ток фоновых измерений (1) и ток электронной эмиссии, обусловленный нейтральными частицами (2)

Измерена верхняя граница относительного содержания быстрых нейтральных частиц в потоке ускоренных ионов:

$$I^0 \leq 0.024 (2.4 \%)$$

Для быстрых ионов атомарного водорода и используемой в экспериментах металлической мишени измерен коэффициент ионно-электронной эмиссии:

$$\gamma = 1.085 \pm 0.098$$

Полученные данные будут использованы в дальнейших физических расчетах.

Список литературы

1. Дудкин Г.Н., Нечаев Б.А., Падалко В.Н. и др. // Изв. Вузов. Физика. – 2010. № 10/2. – С. 45.
2. Суворов А.Л., Гусева М.И., Коршунов С.Н., Залужный А.Г., Лазарев Н.Е. // ВАНТ. – 2000. - № 4 - С. 6-9.