

5. Иванов А. Н., Ягодкин Ю. Д. Рентгеноструктурный анализ поверхностного слоя // Заводская лаборатория. – 2000. – Т. 66. – № 5. С. 24–35.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА УСКОРЕННЫХ ИОНОВ НА ИМПУЛЬСНОМ УСКОРИТЕЛЕ ИДМ-20

О.А. Звягинцев

Научный руководитель: старший научный сотрудник, В.Н. Падалко
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: kudriashkin@inbox.ru

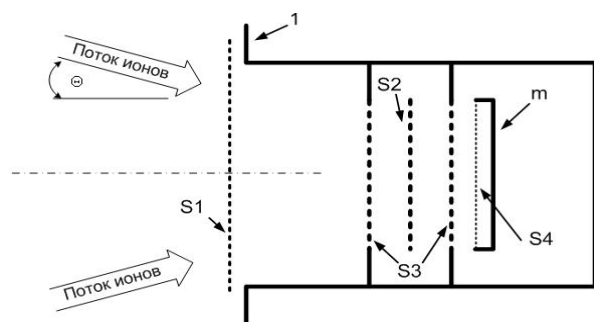
MEASUREMENT OF PARAMETERS OF ACCELERATED ION BEAM WITH THE IMPULSE ACCELERATOR IDM-20

O.A. Zviagintcev

Scientific Supervisor: Senior Researcher, V.N. Padalko
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: kudriashkin@inbox.ru

In present paper the method was developed and energy spectrums of hydrogen ions and helium ions were obtained and analyzed. The contribution of neutral particles in the flux was measured. The result of experiments enables to determine the value of energy spread for specified energy range, measure the upper bound of fraction of fast neutral particles in the accelerated ion flow and find the value of the coefficient of ion-impact emission. The final results will be used in physical calculations in future.

Импульсный высокоточный ускоритель ионов 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,



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

Рис.1. - электростатический спектрометр

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

проваимодействовавших 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).

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.

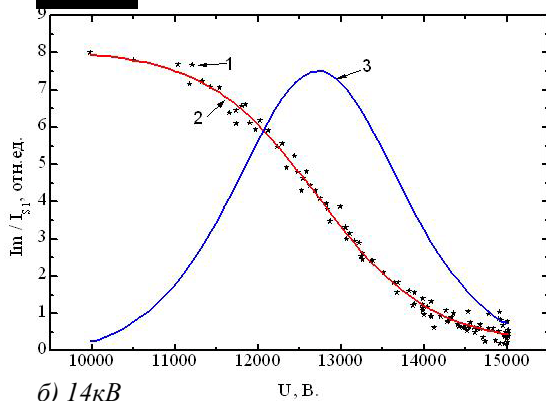
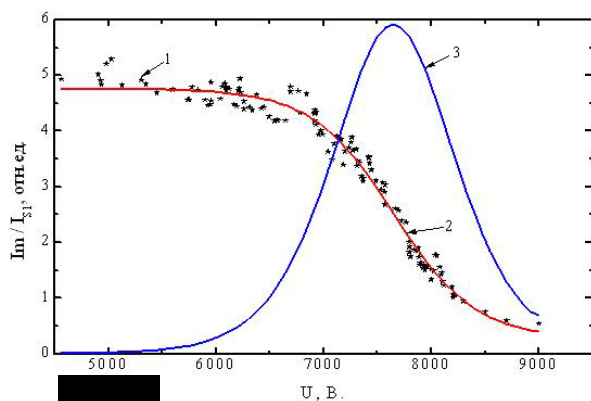


Рис. 2. Зависимость тока мишени от напряжения отсечки для напряжения ускорения

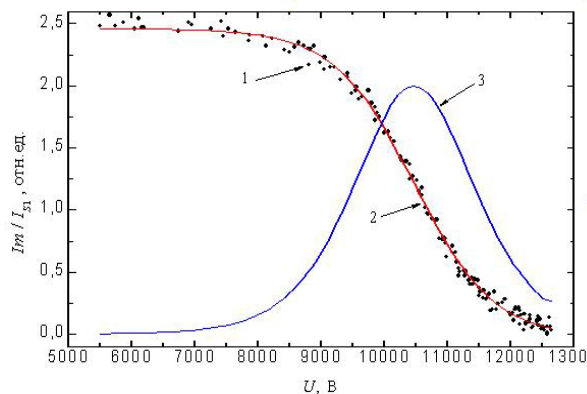


Рис. 3. Зависимость тока мишени от напряжения отсечки для напряжения ускорения 11кВ.

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.

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

Результат аппроксимации (рисунок 2«а»): Параметры энергетического распределения: среднее значение: $\bar{E} = 7.65\text{кэВ}$; разрешение (ПШПВ): $\Delta E(1/2) = 17\%$.

Результат аппроксимации (рисунок 2«б»): Параметры энергетического распределения: среднее значение: $\bar{E} = 12.72\text{кэВ}$; разрешение (ПШПВ): $\Delta E(1/2) = 18\%$. Аналогично были измерены энергетические спектры ионов гелия.

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

Из рисунка 2(б) видно, что экспериментальные точки при больших

напряжениях отсечки имеют большой разброс. Нестабильность связана с тем, что при этих напряжениях в вакуумной камере возникают микроразряды. 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:

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

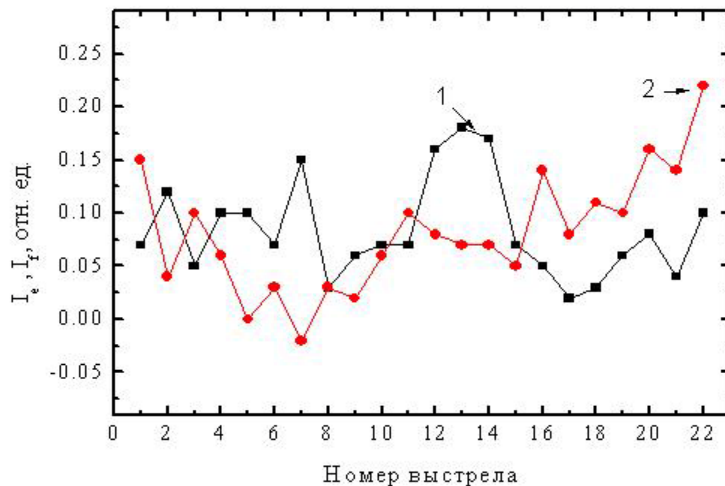


Рис. 4 Ток фоновых измерений (1) и ток электронной эмиссии, обусловленный нейтральными частицами (2)

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. $I_m = I^+ + \gamma(I^+ + I^0)$ 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 - $U_{S2}=0$.

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.