

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

КОСМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

Том XIII

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

3

МОСКВА · 1975

УДК 629.785.621.384.8.001.2

*Н. М. Шютте, Г. И. Волков, В. Ф. Копылов,
Л. И. Денщикова, А. П. Веляшин, Ю. Н. Позднов,
И. И. Первушин, Н. Н. Ганюхин*

ОТРАЖАЮЩИЙ АНАЛИЗАТОР ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Описываются особенности технологии изготовления и основные экспериментальные характеристики прибора, предназначенного для изучения малоэнергетичной разреженной плазмы. С помощью такого прибора, в котором анализ частиц осуществляется за счет их первоначального отражения и последующей фокусировки, можно получать дифференциальные энергетические спектры с разрешением до нескольких вольт независимо от средней энергии частиц.

Для изучения малоэнергетичной разреженной плазмы представляет интерес использование приборов, которые обладали бы достаточно узкой и симметричной угловой диаграммой направленности, высокой чувствительностью, не имели бы ограничений энергетического разрешения (как относительного, так и абсолютного) и были бы способны работать в условиях прямого воздействия на них фонового светового излучения.

Перечисленным выше требованиям отвечает прибор, названный отражающим анализатором [1]. Цель настоящей работы — описание некоторых технологических особенностей изготовления и экспериментальных характеристик такого отражающего анализатора.

Внешний вид и схематическое изображение прибора показаны на рис. 1. Регистрируемые частицы первоначально попадают в поле отражателя и те из них, знак заряда которых совпадает со знаком анализирующего напряжения U , а энергия недостаточна для преодоления тормозящего поля, отражаются и выходят обратно. При соответствующей форме отражающего поля могут быть реализованы такие условия, чтобы частицы, попадающие в отражающее поле параллельно оси прибора, после отражения сфокусировались вблизи одной точки. Как следует из принципа действия описываемого анализатора, для обеспечения эффективного собирания отраженных частиц вблизи одной точки — фокуса, электростатическое зеркало должно иметь

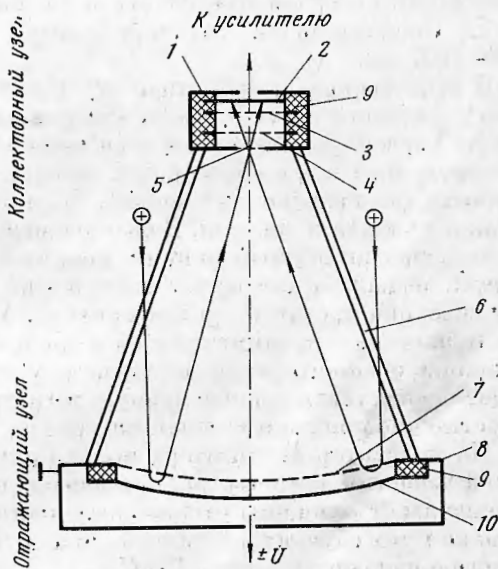


Рис. 1. Схематическое изображение отражающего анализатора заряженных частиц

1 — экран коллекторного узла, 2 — коллектор, 3 — супрессорная сетка, 4 — управляющая сетка, 5 — экранная сетка, 6 — штанги крепления коллекторного узла, 7 — сетка отражателя, 8 — корпус отражателя, 9 — изоляторы, 10 — зеркало отражателя

форму параболической поверхности вращения и состоять из двух электродов (тонкой прозрачной сетки и зеркала), расположенных конфокально относительно друг друга.

В процессе разработки прибора выяснилось, что необходимым условием удовлетворительной фокусировки отраженных частиц является довольно высокая точность изготовления электродов отражателя (до нескольких сотых долей миллиметра), а также хорошая воспроизводимость достигнутой точности при изготовлении этих электродов. Выполнение этих требований потребовало принятия специальных технологических решений.

Для изготовления зеркала отражателя был использован гальванический способ получения металлических поверхностей с последующей армировкой их изоляционным материалом. Для этого на специальный шаблон-электрод, форма которого с точностью 0,015—0,02 мм соответствовала зеркальному изображению зеркала отражателя, в гальванической ванне высаживался тонкий слой серебра. На этот слой наращивался толстый слой меди, наружная поверхность которого представляла пористую губчатую структуру. Полученная поверхность горячим способом опрессовывалась изоляционным материалом АГ-4. В готовом виде зеркало представляет собой тонкую металлическую поверхность, армированную легким и прочным изолятором, электрическая прочность которого составляет 13 кВ/мм, а удельное объемное сопротивление — 10^{12} Ом/см. С помощью одного шаблона-электрода можно изготовить любое количество отражателей, поверхность которых в точности соответствует поверхности эталонного шаблона.

Второй электрод отражателя — тонкая сетка, изготавливалась с помощью единой оправки, на которую на станке в двух направлениях наматывалась вольфрамовая проволока диаметром 0,02 мм. Специальным кольцом намотанная проволока прижималась к поверхности оправки, а затем на нее гальваническим способом наносились последовательно тонкие слои меди и никеля. Окончательная толщина нитей готовой сетки не превышала 0,06—0,07 мм.

В отражающем анализаторе заряженные частицы отражаются с помощью электростатического поля («зеркала») таким образом, что направление их первоначального движения меняется на обратное, имея ту же кинетическую энергию, с которой они вошли, но другое направление вектора скорости (зеркальное отражение). Таким образом происходит их селекция по знаку заряда и энергии. Далее движение частиц происходит без воздействия полей по прямым линиям, пересекающимся в районе одной точки — фокуса зеркала, где и осуществляется их регистрация. При этом происходит селекция частиц по углам прихода. Угловую диаграмму направления можно сделать симметричной и достаточно узкой. При использовании секционированного регистрирующего устройства — коллектора возможно будет осуществить одновременную регистрацию частиц как в узком, так и в достаточно широком угловом интервале.

На коллектор анализатора могут приходиться лишь те частицы, кинетическая энергия которых не превышает потенциала отражения $U_{отр.}$, что обеспечивает селекцию отраженных частиц со стороны больших энергий. Однако в тех случаях, когда потенциал отражения существенно превышает энергию падающих частиц $E (eU_{отр.} \gg E)$, несмотря на увеличение числа отраженных частиц, число частиц, приходящих на коллектор, начинает уменьшаться. Это объясняется тем, что при росте отражающего напряжения частицы все менее глубоко проникают в глубь отражающего поля и начинают изменять направление своего первоначального движения в непосредственной близости от сетчатого электрода отражателя, где искажение электростатического поля наиболее велико. В результате угол вылета частиц искажается и они не попадают на коллектор. Проведенные исследования показали, что искажение отражающего поля вблизи сетки, обуславливающее различие углов влета и вылета, приводит к смещению реального фокуса прибора по сравнению с расчетным.

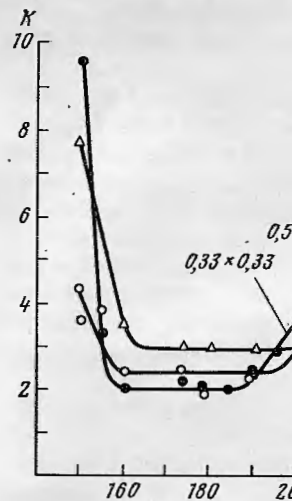


Рис. 2

Рис. 2. Изменение фокусировки K (коэффициент) от фокусного расстояния для разных размеров электрода отражателя.

Рис. 3. Энергетическая диаграмма анализатора.

a — энергия регистрируемых частиц: 1 — $U_{см} = 1500$ эВ, 2 — 60 эВ, 3 — 60 эВ, 4 — 100 эВ.
 b — энергия регистрируемых частиц: 1 — $U_{см} = 3000$ эВ, 2 — 1840 эВ, 3 — 100 эВ, 4 — 100 эВ.

Рис. 4. Угловые характеристики анализатора.

1 — $E = 2820$ эВ, $U_{упр}/U_{отр} = 0$; 2 — $E = 2820$ эВ, $U_{упр}/U_{отр} = 1930$ эВ; 3 — $U_{упр} = 0$; 4 — $E = 2835$ эВ, $U_{упр}/U_{отр} = 320$ эВ; 5 — $E = 840$ эВ; 6 — $E = 320$ эВ, $U_{упр}/U_{отр} = 0$.

Результаты экспериментального исследования изменения эффективности фокусировки от фокусного расстояния и угла влета на отражатель. Чем меньше угол влета, тем лучше фокусировка, поскольку в электроде, например, от подобных о...

ть из двух электро-
нных конфокально

бходимым условием
является довольно
(до нескольких со-
димость достигнутой
ие этих требований
шений.

ован гальванический
дующей армировкой
ый шаблон-электрод,
вовала зеркальному
ванне высаживался
ый слой меди, наруж-
атую структуру. По-
сь изоляционным ма-
собой тонкую метал-
очным изолятором,
и, а удельное объем-
шаблона-электрода
ерхность которых в
та.

вливался с помощью
ениях наматывалась
ьным кольцом намо-
а, а затем на нее галь-
кие слои меди и ни-
жки не превышала

отражаются с помо-
азом, что направле-
е, имея ту же кине-
направление вектора
асходит их селекция
исходит без воздей-
йоне одной точки —

. При этом происхо-
рамму направленно-
При использовании
плектора возможно
как в узком, так и

те частицы, кинети-
гражения $U_{отр}$, что
и больших энергий.
ественно превышает
величение числа от-
рфлектор, начинает
ающего напряжения
ощего поля и начи-
ижения в непосред-
де искажение элект-
тол вылета частиц
нные исследования
етки, обуславливаю-
ию реального фоку-

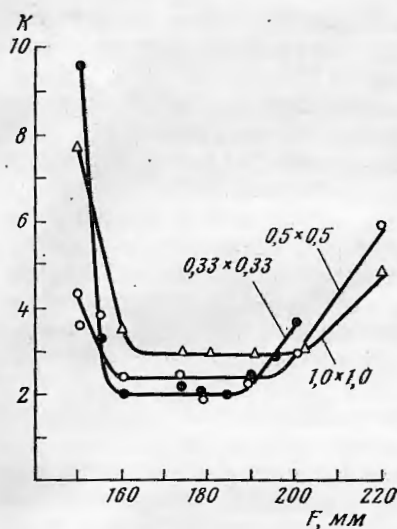


Рис. 2

Рис. 2. Изменение эффективности фокусировки K (коэффициента потерь) от фокусного расстояния F для разных размеров ячеек сетчатого электрода отражателя

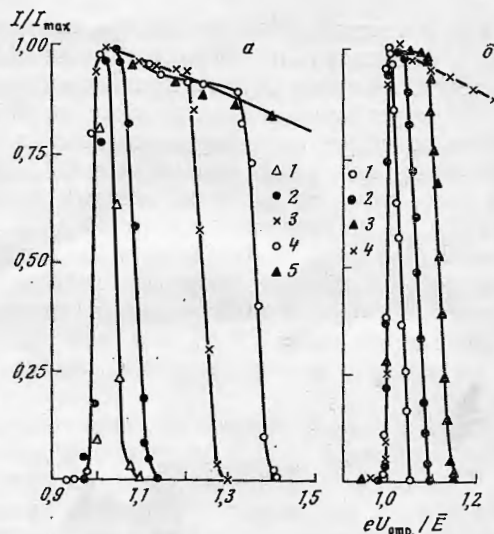


Рис. 3

Рис. 3. Энергетические характеристики анализатора

а — энергия регистрируемых частиц $\bar{E} = 320$ эв; 1 — $U_{см} = 15$ в, 2 — 30 в, 3 — 60 в, 4 — 100 в, 5 — $U_{см} = U_{отр}$
б — энергия регистрируемых частиц $\bar{E} = 1840$ эв; 1 — $U_{см} = 30$ в, 2 — 60 в, 3 — 100 в, 4 — $U_{см} = U_{отр}$

Рис. 4. Угловые характеристики анализатора:

1 — $E = 2820$ эв, $U_{упр}/U_{отр} = 0,815$; 2 — $E = 2820$ эв, $U_{упр}/U_{отр} = 0,903$; 3 — $E = 1930$ эв, $U_{упр} = 0$; 4 — $E = 2836$ эв, $U_{упр} = 0$; 5 — $E = 840$ эв, $U_{упр} = 0$; 6 — $E = 2835$ эв, $U_{упр}/U_{отр} = 0,903$; 7 — $E = 320$ эв, $U_{упр} = 0$

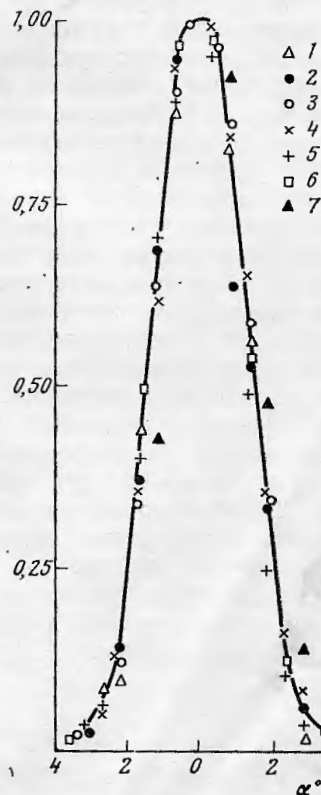


Рис. 4

Результаты экспериментов приведены на рис. 2, откуда следует, что изменение эффективности фокусировки (коэффициента потерь) $K = I_{расч}/I_{эксп}$ от фокусного расстояния существенно зависит от размеров ячеек сетки отражателя. Чем ячейка меньше, тем выше острота фокусировки. Кроме того, поскольку в электростатическом отражающем анализаторе, в отличие, например, от подобных оптических приборов, фокус в принципе не может

быть точечным, ибо при электростатическом отражении точка влета частицы в отражатель не совпадает с точкой вылета, оптимальное фокусное расстояние не имеет строгих критических размеров.

Для устранения этого недостатка вблизи коллектора прибора была установлена сетка, на которую подавалось управляющее напряжение $U_{упр}$, по величине несколько меньше, чем $U_{отр}$. Таким образом, на коллектор могли попасть лишь те частицы, энергии которых заключены внутри интервала от $E_{мин}$, определяемой величиной $U_{упр}$, до $E_{макс}$, определяемой $U_{отр}$. Вполне очевидно, что величина измеряемого интервала энергий может быть выбрана любой в зависимости от необходимых требований. Очевидно, что при выборе достаточно малой величины смещения $U_{см} = U_{отр} - U_{упр}$ частицы, обладающие энергией $E \ll eU_{отр}$ и, как говорилось выше, наиболее подверженные эффекту расфокусировки, вообще не будут зарегистрированы прибором.

На рис. 3 представлены зависимости коллекторного тока в относительных единицах от $U_{отр}$, полученные для различных значений $U_{см}$.

Из сравнения приведенных на этом рисунке зависимостей видно, что, во-первых, для довольно широкого диапазона значений $U_{см}$ энергетический интервал регистрируемых частиц описывается практически прямоугольной функцией, а, во-вторых, энергетическое разрешение прибора может быть сделанным сколь угодно узким.

Экспериментальные угловые характеристики прибора, полученные для частиц различных энергий, представлены на рис. 4.

Видно, что угловая диаграмма анализатора не зависит от энергии регистрируемых частиц. Ширина ее основания $\pm 4^\circ$, а на уровне полувысоты — $\pm 1^\circ$, что свидетельствует о чрезвычайно высокой избирательности прибора по направлению прихода заряженных частиц.

Изменение характеристик анализатора в присутствии фонового ультрафиолетового излучения интенсивностью $0,3 \text{ вт/см}^2$ показали, что конструкция прибора обеспечивает подавление паразитных фототоков более чем на два порядка по сравнению со смотрящими на источник излучения приборами, которые используются в режиме постоянного тока.

Таким образом, приведенные экспериментальные характеристики отражающего анализатора свидетельствуют, что используемый в приборе способ анализа заряженных частиц путем их отражения и последующей фокусировки был успешно реализован. Конструкция прибора обеспечивает подавление паразитных фототоков более чем на два порядка по сравнению со смотрящими на излучатель приборами, которые работают в режиме постоянного тока. С помощью такого прибора можно получать дифференциальные энергетические спектры с разрешением до нескольких вольт независимо от средней энергии частиц.

Острота угловой характеристики позволяет в пределах угловой точности $\sim \pm 1-1,5^\circ$ непосредственно измерять функцию распределения заряженных частиц по энергиям.

Дата поступления
27 июня 1974 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Первушин, Н. М. Шютте. ПТЭ, № 3, 112, 1972.