

ИЗМЕРЕНИЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ
ЭЛЕКТРОНОВ В СТОЯЧИХ СТРАТАХ

А. А. Зайцев, М. З. Новгородов, И. А. Савченко

УДК 533.9.621.033.61.

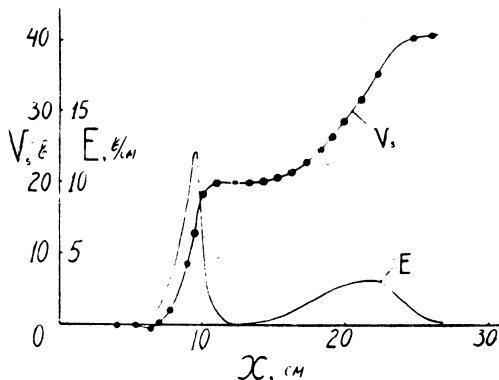
Зондовым методом измерены функции распределения электронов по энергиям, концентрации и средней энергии электронов вдоль оси стратифицированного положительного столба в He. Выявлены основные закономерности поведения электронов в затухающих стратах начала положительного столба.

Эксперименты /I-6/ показывают, что в стратах большой амплитуды функция распределения энергии электронов может иметь два максимума, соответствующие двум группам электронов с низкой и высокой энергией. Высокоэнергетическая группа образуется электронами, ускоренными в области сильного электрического поля (или скачка потенциала), находящейся на краю страты, обращенном к катоду.

Наши результаты относятся к разряду в гелии, происходящему в трубке с холодными электродами формы полого цилиндра ($p = 0,15$ тор, $i = 30$ ма, $2R = 6$ см, $L = 80$ см). При указанных условиях в начале положительного столба существуют затухающие стоячие страты. Длина страты $\lambda = 13$ см. Измерения производились в пределах первой и начала второй страты, а также в прилегающей к положительному столбу части Фарадеева темного пространства (FDS).

Распределение энергии электронов изучалось методом второй, производной зондовой характеристики (i_g^*). Двойное дифференцирование осуществлялось путем введения в зондовую цепь синусоидального сигнала малой амплитуды, по так называемому методу второй гармоник. Записанные на двухкоординатном самописце вторые

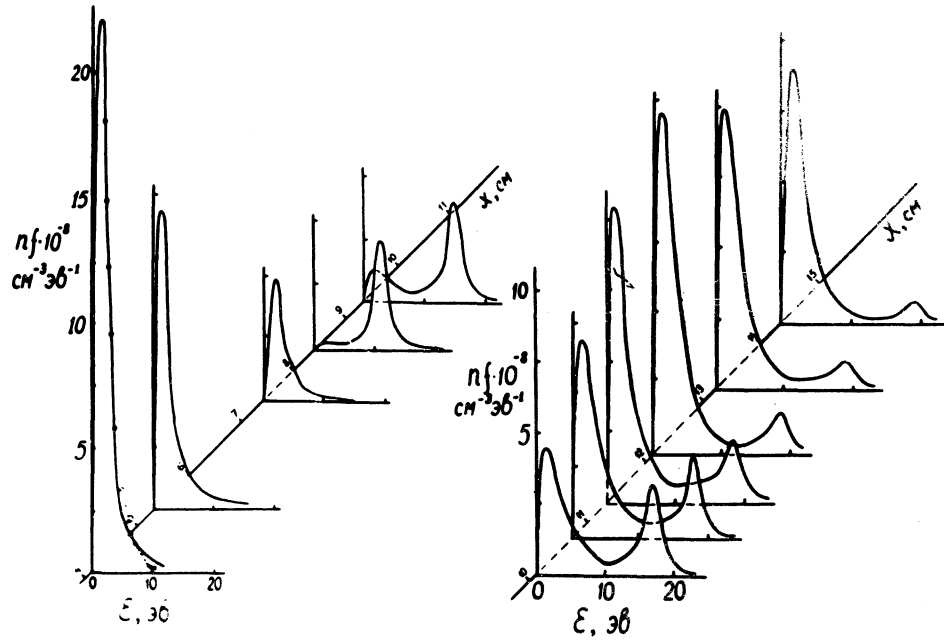
производные i_g^* обрабатывались на ЭМ. Программа обработки включала нормировку кривых распределения, вычисление средней энергии, средней скорости и концентрации электронов. За потенциал пространства плазмы принимается такое значение потенциала зонда, при котором i_g^* обращается в нуль.



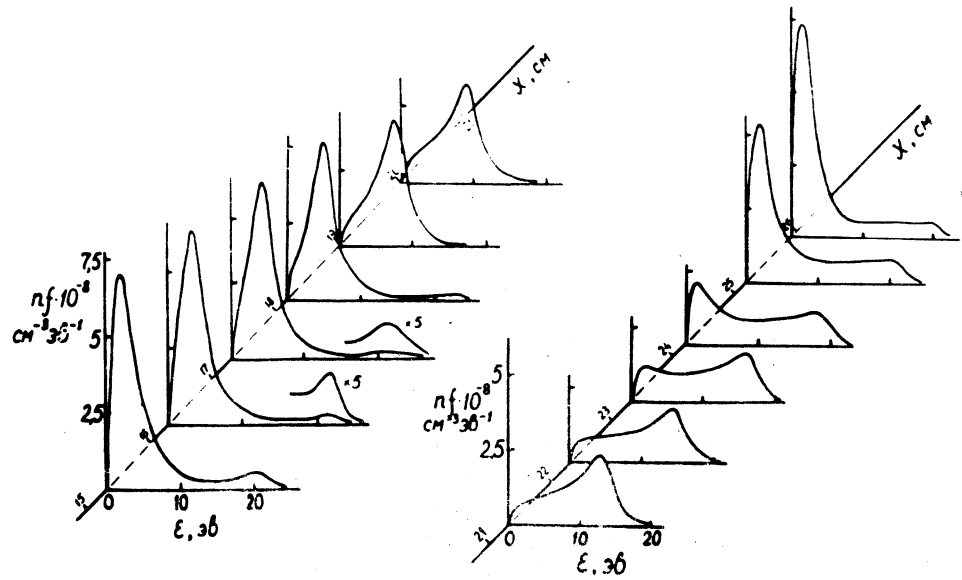
Р и с. 1. Распределение потенциала пространства V_s и продольного электрического поля E вдоль оси разряда.

На рис. 1 показаны кривые распределения потенциала пространства V_s и продольного электрического поля E вдоль оси разряда (x растет в сторону анода). Поле E получено графическим дифференцированием кривой V_s . Крутой подъем (или скачок) потенциала при переходе из FDS в положительный столб происходит в зоне шириной в 3,5 см. Среднее значение поля в положительном столбе, определяемое как $E = U_\lambda / \lambda$ (U_λ - падение потенциала на длине страты), равно 1,54 в/см. Максимум световой эмиссии приходится в первой страте на точку $X = 10$ см, во второй - на точку $X = 23$ см.

На рис. 2 и 3 приведены кривые распределения энергий. Распределение в FDS в области малых энергий может быть аппроксимировано максвелловским (кружки), но число частиц с высокими энергиями здесь несколько больше. Средняя энергия электронов $\bar{\epsilon}$ и концентрация n_e в точке $x = 4,1$ см равны соответственно 2,5 эв и 10^{10} см $^{-3}$, в точке $x = 5,3$ см $n_e = 4,3 \cdot 10^9$ см $^{-3}$, $\bar{\epsilon} = 2,5$ эв. В зоне скачка потенциала распределение сильно деформируется. Здесь формируется распределение с двумя максимумами - один (высо-

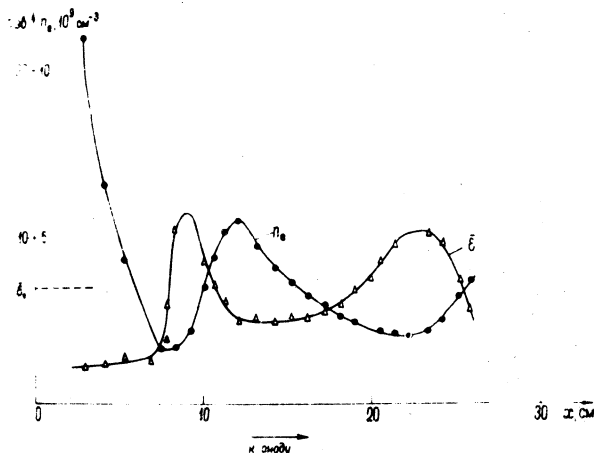


Р и с. 2. Распределение электронов по энергиям.



Р и с. 3. Распределение электронов по энергии.

коэнергетический) происходит от группы быстрых электронов, получивших ускорение в сильном поле, другой (низкоэнергетический) — от группы медленных электронов, образующихся при неупругих соударениях. Становление высокоэнергетического максимума выявляется вполне отчетливо. За скачком потенциала электроны попадают сначала в сравнительно узкую зону, в которой почти нет никакого поля, а затем — в широкую смежную зону медленно изменяющегося ускоряющего поля. Начиная с этого момента оба максимума на кривой распределения начинают перемещаться в сторону более высоких энергий. Смещение максимумов определяется величиной пройденной электронами разности потенциалов. Высокоэнергетическая группа ослабляется при движении вдоль разряда благодаря неупругим соударениям и диффузии к стенкам и, наконец, перестает наблюдаться. Это происходит в точке $x = 18,5$ см. Энергия быстрых электронов достигает перед этим 23 эв. В дальнейшем функция распределения испытывает такие же по характеру изменения, как и в зоне скачка потенциала. Низкоэнергетический максимум постепенно трансформируется в высокоэнергетический. В начале второй страты ($x = 23,3$ и $24,2$ см) распределение снова обнаруживает два определенных максимума.



Р и с. 4. Распределение средней энергии $\bar{\epsilon}$ и концентрации электронов n_0 вдоль оси разряда.

В условиях наших опытов высокоэнергетическая группа электронов, образовавшаяся в зоне скачка потенциала, обнаруживается на протяжении $3/4$ длины страты. В водороде при одинаковых условиях геометрии трубки и давления газа стоячие страты имеют в $1,5 - 2$ раза меньшую длину, чем в инертных газах. Поэтому часть электронов, ускоренных в одном скачке потенциала, может пройти всю длину страты и снова ускориться в следующем скачке потенциала, образуя группу сверхбыстрых электронов $/1,4/$.

Рис. 4 иллюстрирует изменение средней энергии \bar{E}_e и концентрации n_e электронов.

Максимум средней энергии находится в точке $x = 9,8$ см, максимум концентрации в точке $x = 12,1$ см.

Максимум концентрации электронов смещен относительно максимума средней энергии в сторону анода на $\lambda/4$.

Поступила в редакцию
2 марта 1973 г.

Л и т е р а т у р а

1. R. L. Boyd, N. D. Twiddy. Proc. Roy. Soc., A250, 1260 (1959).
2. S. W. Raymond, N. D. Twiddy. Nature, 216, 5116 (1967).
3. Д. М. Каган, Н. Б. Колоколов, Т. А. Крылова, В. М. Миленин. ЖТФ, 41, 120 (1971).
4. Д. М. Каган, Н. К. Митрофанов. ЖТФ, 41, 2065 (1971).
5. А. Благоев, Н. Б. Колоколов, В. М. Миленин. ЖТФ, 42, 170 (1972).
6. К. Ф. Бессонова, О. Н. Орешак, Е. П. Остапченко, В. А. Степанов. ЖТФ, 41, 779 (1971).