

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



G345H
M-345

21/11-77

P9 - 10795

4551/2-77

И.М.Матора, Л.А.Меркулов

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПЛОТНОСТИ ЭМИССИИ КАТОДА
НА ХАРАКТЕР ПОТОКА
В СИЛЬНОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКЕ

1977

P9 - 10795

И.М.Матора, Л.А.Меркулов

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПЛОТНОСТИ ЭМИССИИ КАТОДА
НА ХАРАКТЕР ПОТОКА
В СИЛЬНОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКЕ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Матора И.М., Меркулов Л.А.

P9 - 10795

Влияние распределения плотности эмиссии катода на характер потока в сильноточной электронной пушке

Рассматривается влияние двух видов зависимости плотности эмиссии от напряженности электрического поля на поверхности эмиттера сильноточной электронной пушки (закон Шоттки и закон "3/2") на выбор формы меридионального сечения этого эмиттера при условии ламинарности потока электронов. Дан пример расчёта электронной пушки с близким к ламинарному потоком в предположении справедливости закона Шоттки. Приведены результаты расчётов изменений в характере ламинарного потока, возникающих при изменении параметров этой пушки на напряжение 500 кВ и ток 250 А.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Matora I.M., Merkulov L.A.

P9 - 10795

Effect of Density Distribution of Cathode Emission on the Flux Character in a Strongcurrent Electron Gun

The effect of two kinds of a dependence of the emission density from the electric field voltage on the emitter surface of a strongcurrent electron gun (the Schottky law and the "3/2" law) is considered upon the choice of a form for the meridional cross section of this emitter at the condition of electron flux laminarity. A calculation example is given for an electron gun with close to laminar flow assuming the validity of the Schottky law. The results of calculation of varying the laminar flux character are given which appears when varying parameters of the gun at the voltage 500 kV and current 250 A.

The investigation has been performed at the Neutron Physics Laboratory, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Введение

В^{1-4/} была развита теория и описана методика, с помощью которой для заданной оптической схемы осесимметричной электронной пушки с учетом параметров пучка можно рассчитать на ЭВМ такую форму поверхности эмиттера, при которой пучок на выходе будет близок к ламинарному. Там же был приведен расчет экспериментальной сильноточной электронной пушки ЭЭП-2 с ламинарным потоком^{3/} для линейного индукционного ускорителя ЛИУ-30/250^{5-7/}, сооружаемого в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

В этих самосогласованных расчетах предполагалось, что на поверхности эмиттера плотность эмиссии описывается законом "3/2":

$$j = A \cdot E^{3/2},$$

где A - коэффициент пропорциональности, E - напряженность электрического поля вблизи поверхности эмиттера.

На основании серии расчетов стало ясно, что путем подбора конфигурации электродов пушки можно одновременно с формированием ламинарного потока увеличивать напряженность электрического поля у поверхности эмиттера, доводя ее /с учетом объемного заряда/ до десятков кВ/см при анодных напряжениях в сотни кВ/см. таблицу/:

r [см]	E [кВ/см]
0	38,6
0,5	38,5
1,0	38,1
1,5	38,1
2,0	38,6
2,5	39,6
3,0	40,4
3,5	40,9

В этих условиях распределение плотности эмиссии от напряженности электрического поля на поверхности эмиттера должно подчиняться закону Шоттки.

Во избежание существенного искажения характера потока за счет изменения закона распределения плотности эмиссии от E мы обеспечили в рассчитанных нами пушках минимально возможный перепад напряженностей электрического поля на поверхности эмиттера. Однако следовало проверить непосредственным расчетом, насколько формы поверхности эмиттера, вычисленные в предположении справедливости закона "3/2" и закона Шоттки, отличаются друг от друга. Следовало также проверить, как изменится характер потока в пушке с эмиттером, форма которого вычислена при условии справедливости закона Шоттки, если после этого подчинить распределение плотности эмиссии с катода закону "3/2". Результаты такой проверки излагаются ниже /§1/.

В дополнение к рассчитанному в ^{12/} поведению электронного пучка в пушке с эмиттером, форма которого соответствует распределению плотности эмиссии по закону "3/2", рассчитано и приводится в §2 поведение потока в пушке с эмиттером, форма которого определена в предположении справедливости распределения Шоттки.

§1. Результаты сравнения

Как отмечалось в ^{1/}, действительное движение электронов в осесимметричных электронных пушках при наличии

удерживающего магнитного поля с единственной составляющей векторного потенциала $A_\phi \neq 0$ не является плоским, так как помимо изменений радиуса происходит и азимутальное перемещение каждого электрона.

Однако ход траекторий мы будем условно изображать в единственной меридиональной плоскости $\phi = \text{const} = 0$, что и имеет место на рис. 1а, где приведена оптическая схема и изображен ход нескольких радиальных траекторий в ЭЭП-2 при энергии электронов на выходе 500 кэВ / $V_0 = 500 \text{ кэВ}$ / и токе $I_0 = 250 \text{ А}$. Здесь в масштабе дана схема пушки с диаметром эмиттера 7 см . Расчеты проделаны также и для диаметра эмиттера 5 см при тех же $V_0 = 500 \text{ кВ}$, $I_0 = 250 \text{ А}$ и зазоре между катодом и анодом $L = 5,5 \text{ см}$. Схема в этом случае аналогична.

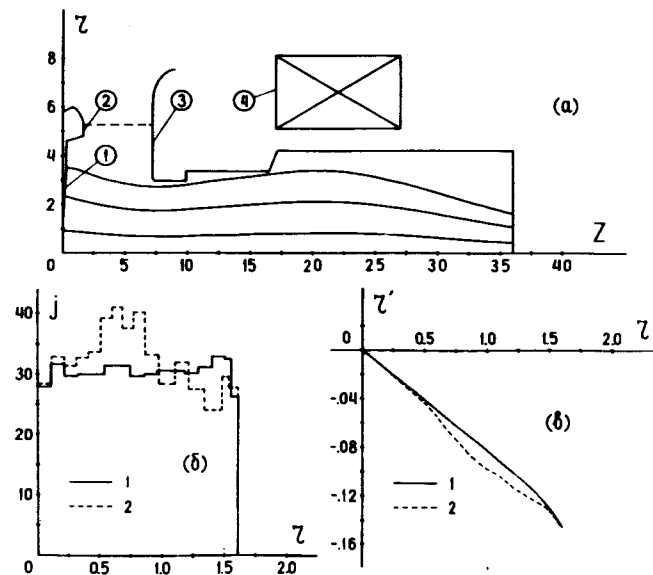


Рис. 1. Электронно-оптическая схема экспериментальной электронной пушки ЭЭП-2 /а/, распределение плотности тока в ней по сечению /б/ на выходе при номинальных параметрах и проекция фазового объема пучка /в/. /Кривая 1 - в случае справедливости закона Шоттки, кривая 2 - в случае справедливости закона "3/2", r и z в см; j в А/см^2 /. 1 - эмиттер, 2 - катод, 3 - анод, 4 - фокусирующий соленоид.

На *рис. 1а* изображены контуры меридионального сечения эмиттера катода и поверхностей других электродов пушки. Форма контура эмиттера дана для случая справедливости закона Шоттки. Разницу в масштабе изображения между этой формой и вычисленной при распределении эмиссии по закону "3/2" заметить нельзя, они практически совпадают /*рис. 2*/, вследствие чего оба катода должны обеспечивать поток, близкий к ламинарному для обоих распределений плотности эмиссии.

Другие параметры пушки в этих расчетах: минимальное расстояние между катодом 2 и анодом 3 /пунктир на *рис. 1а*/ равно 5,5 см, начальная производная огибающей пучка $r'_0 = -0,001$. Соленоид 4 создает незранируемое магнитное фокусирующее поле H_0 , которое для номинальных параметров пушки / I_0 и V_0 / в максимуме /центре симметрии соленоида/ на оси равно 474 Э, что соответствует величине магнитного поля $H = 15,5$ Э на поверхности катода в точке $r_0 = 3,5$ см.

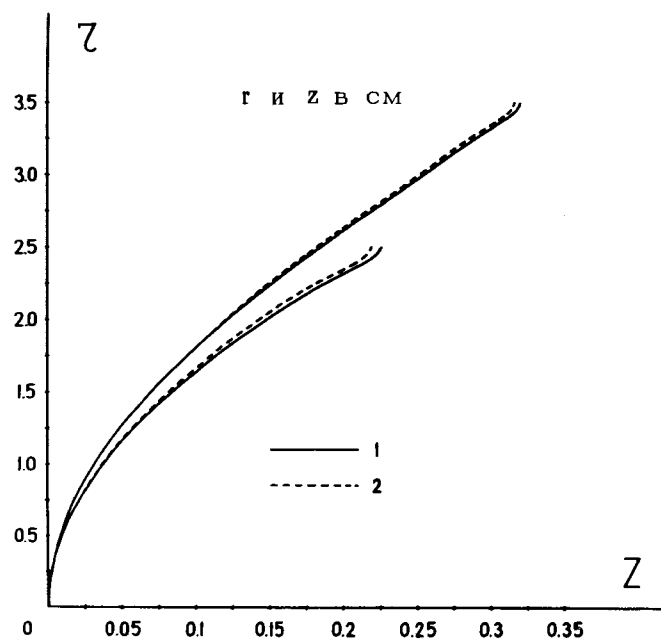


Рис. 2. Меридиональные сечения эмиттеров, создающих ламинарный поток. 1 - закон Шоттки; 2 - закон "3/2".

Непосредственный расчет поведения характера потока в пушке с эмиттером, рассчитанным для закона Шоттки, был проделан в обоих предположениях, и оказалось /*рис. 1б* и *1в*/, что эмиттанс в обоих случаях равен нулю /разумеется, в пренебрежении тепловыми начальными скоростями электронов/, а равноплотность пучков, так же как и линейность зависимости $r'(r)$ на выходе из пушки, и для закона Шоттки /по которому рассчитана форма эмиттера/, и для закона "3/2" удовлетворительны.

Аналогичные результаты были получены также и для диаметра эмиттера 5 см.

§2. Поведение ламинарного пучка электронной пушки, в которой форма катода рассчитана в соответствии с распределением плотности эмиссии по закону Шоттки

Как и в ^{12/}, мы варьировали значения отдельных параметров пушки /при остальных номинальных/: амплитуду напряжения V , ток I и величину H - и рассчитывали при этом характер потока. Расчеты проводились для диаметров эмиттера 7 и 5 см. Ввиду аналогичности результатов приводим результаты лишь для диаметра 7 см. На *рис. 3* изображены кривые распределения плотности тока j по радиусу при $0,9 \leq \frac{V}{V_0} \leq 1,2$; на *рис. 4* - те же зависимости при $0,8 \leq \frac{I}{I_0} \leq 1,1$ и на *рис. 5* - при $0,8 \leq \frac{H}{H_0} \leq 1,1$.

Все эти результаты подтверждают существование достаточно широкого диапазона изменения V , I и H в окрестности их номинальных значений, где ламинарный характер потока не нарушается, аналогично тому, как это было и в ^{12/}.

Были также рассчитаны изменения в характере потока при одновременном изменении I и V , связанных между собой законом Шоттки. Результаты даются на *рис. 6*.

Заметим в заключение, что так же, как и в ^{12/}, несмотря на приближенный характер расчетов по причине

Рис. 3. Плотность тока на выходе из ЭЭП-2 при изменении V / г в см; j в A/cm^2 /. 1. $V/V_0 = 1,2$; 2. $V/V_0 = 1,1$; 3. $V/V_0 = 0,95$; 4. $V/V_0 = 0,9$.

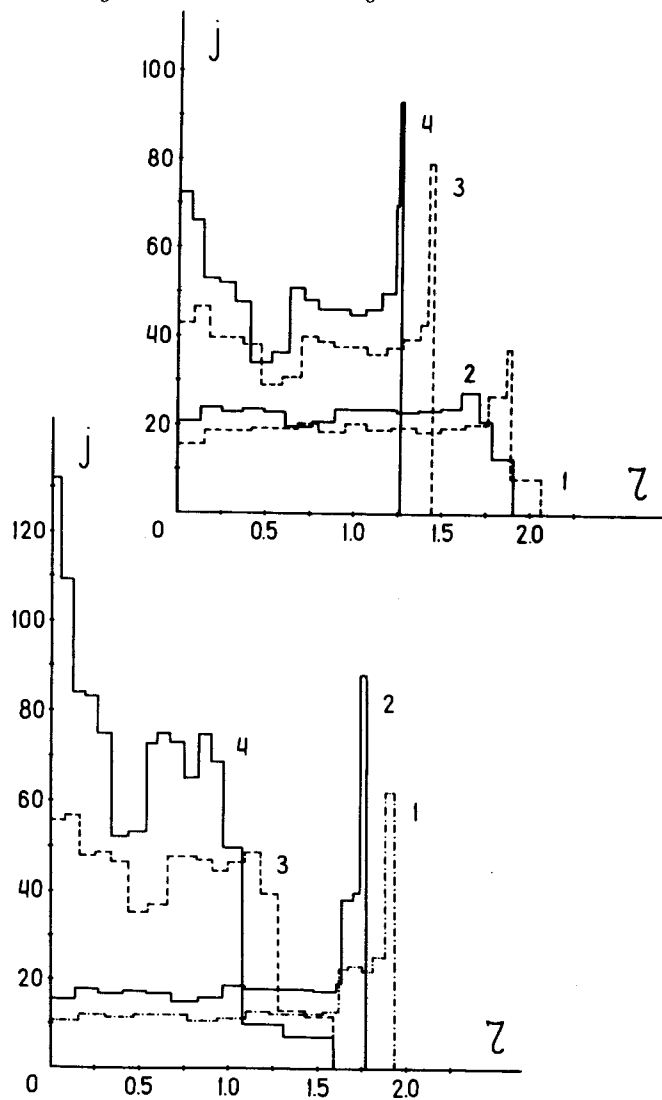


Рис. 4. Плотность тока на выходе из ЭЭП-2 при изменении I / г в см; j в A/cm^2 /. 1. $I/I_0 = 0,8$; 2. $I/I_0 = 0,9$; 3. $I/I_0 = 1,05$; 4. $I/I_0 = 1,1$.

Рис. 5. Плотность тока на выходе из ЭЭП-2 при изменении H / г в см; j в A/cm^2 /. 1. $H/H_0 = 0,8$; 2. $H/H_0 = 0,9$; 3. $H/H_0 = 1,05$; 4. $H/H_0 = 1,1$.

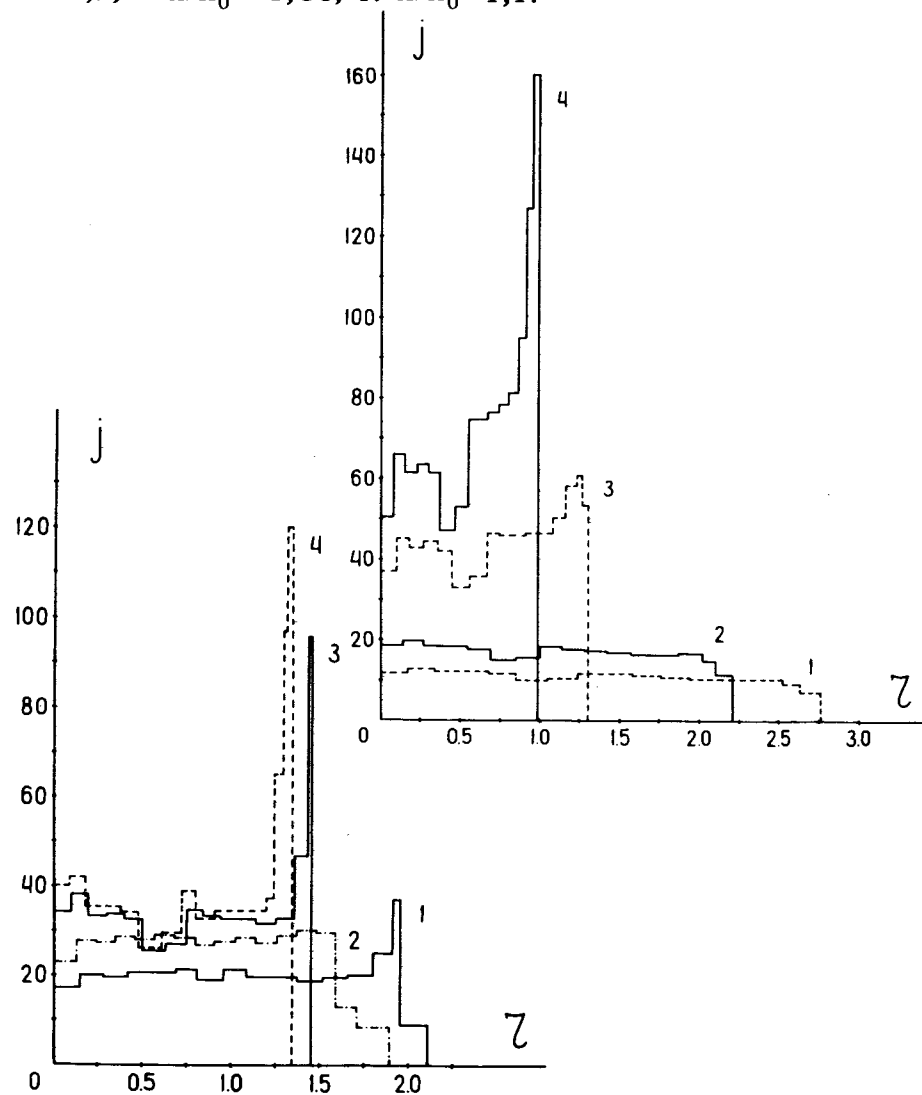


Рис. 6. Плотность тока на выходе из ЭЭП-2 при изменении V и I по закону Шоттки. / г в см; j в A/cm^2 /. 1. $I = 269,3$ А; $V = 600$ кВ. 2. $I = 259,7$ А; $V = 550$ кВ. 3. $I = 244,9$ А; $V = 475$ кВ. 4. $I = 240,2$ А; $V = 450$ кВ.

возникновения существенной неравноплотности и даже пересечений траекторий в потоке, результаты эти близки к истине, так как пересечения имеют место лишь в непосредственной близости к выходу из пушки, а на большей части пути имеет место упорядоченность веера траекторий.

Литература

1. Матора И.М., Меркулов Л.А. ОИЯИ, Р9-9476, Дубна, 1976.
2. Матора И.М., Меркулов Л.А. ОИЯИ, Р9-9818, Дубна, 1976.
3. Матора И.М., Меркулов Л.А. "Расчет экспериментальной электронной пушки ЭЭП-2". В сб.: "Разработка и практическое применение электронных ускорителей" /Материалы Всесоюзной конференции, г. Томск, 3-5 сентября 1975 г./, Изд. ТГУ, г. Томск, 1975.
4. Матора И.М., Меркулов Л.А. ОИЯИ, Р9-10504, Дубна, 1977.
5. Ананьев В.Д. и др. ОИЯИ, 13-4395, Дубна, 1969; в сб. "Fast Burst Reactors". USAEC CONF-690102, 1969, с. 173 /на англ. яз./.
6. Ананьев В.Д. и др. ОИЯИ, 13-4392, Дубна, 1969.
7. Анцупов П.С. и др. НИИЭФА, А-0213, Ленинград, 1974; Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц /г. Москва, 18-20 ноября 1974 г./, т. 1, "Наука", М., с. 298, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 июня 1977 года.