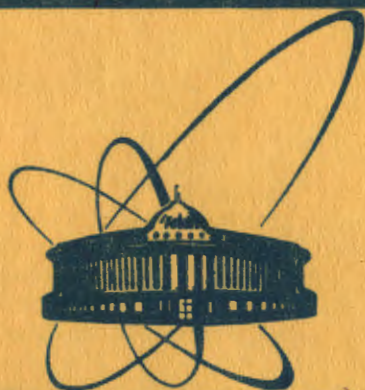


1600/82

5/IV-82



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P9-82-70

Г.В.Долбилов, М.Ковальский, Н.И.Лебедев,
В.А.Петров, В.А.Петров, А.А.Фатеев

**ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ
УСКОРИТЕЛЯ СИЛУНД-20**

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

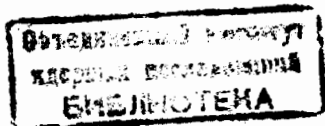
В данной работе изложены результаты исследований источника электронов с холодным катодом для ускорителя СИЛУНД-20 и получаемого пучка на частоте 50 Гц. Пучок исследовался в процессе транспортировки в магнитном поле и после выхода из него. Проведено измерение эмиттанса.

В источнике электронов ускорителя СИЛУНД-1^{1/1} катодом является вольфрамовая игла. При работе такого источника на повышенных частотах вольфрамовая игла оплавляется в течение нескольких секунд. При этом эмиссия электронов прекращается. Источник электронов ускорителя СИЛУНД-20 способен работать на частоте 50 Гц.

В разрядной трубке источника с помощью натекателя формируется перепад давления с 10^{-2} до 10^{-3} Тор от катода к аноду. Расстояние между катодом и анодом - 80 см. При подаче на катод импульса напряжения определенной амплитуды и длительности происходит эмиссия электронов с катода и образование прикатодной плазмы, концентрация которой возрастает в течение импульса тока. Когда плотность прикатодной плазмы достигнет величины $\sim 10^{13}$ см⁻³, напряжение оказывается приложенным не к катоду, а к границе расширяющегося "облака" плазмы. С этой границы и будет происходить эмиссия. Время достижения плазмой необходимой концентрации зависит от давления остаточного газа в области катода. При повышении давления это время уменьшается. Таким образом, уменьшается влияние катода на процесс эмиссии электронов. Прикатодная плазма с градиентом плотности от анода к катоду постепенно заполняет разрядную трубку. При включении индукторов ускоряющей секции напряжение сосредоточивается в узком слое, который делит плазменный шнур на две области: анодную, имеющую потенциал анода, и катодную, находящуюся под потенциалом катода. Слой представляет из себя область с пониженной концентрацией плазмы. Такая область появляется в месте возникновения магнитной "пробки", создаваемой фокусирующими катушками в районе анода. В этом слое происходит формирование электронного пучка.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА

Для предварительной ионизации газа в разрядном промежутке не требуется отдельного генератора, а достаточно положительно-



го предимпульса напряжения модулятора. Исследования показали, что величина катодного тока зависит от напряжения модулятора и давления в разрядной трубке. Давление измерялось в районе анода.

Измерение вольт-амперных характеристик источника /рис.1/ показало, что ток источника растет с увеличением напряжения модулятора. При давлении $8 \cdot 10^{-4}$ Тор и выше недостаточно максимального напряжения модулятора для полного сбора тока. Потенциальные возможности источника электронов велики. Можно предполагать, что при дальнейшем повышении давления на катоде ток возрастает до нескольких килоампер.

На рис.2 показано влияние величины магнитного поля внутри источника на коэффициент прохождения тока за анод К. Зависимость снималась при токе катода $I_k=600$ А, амплитуде импульса модулятора $U=340$ кВ, давлении $p=5 \cdot 10^{-4}$ Тор. Видно, что существует широкая область значений магнитного поля, при которых коэффициент прохождения близок к единице.

На коэффициент прохождения влияет задержка между предимпульсом и самим импульсом напряжения/см.рис.3, зависимость снималась при $I_k=600$ А, $U=340$ кВ, $p=5 \cdot 10^{-4}$ Тор/. Эта задержка должна быть достаточной для того, чтобы плазма успела заполнить разрядную трубку. Из рис.3 была определена скорость распространения плазмы в данных условиях. Она получается равной приблизительно 10^8 см/с. Нестабильность тока катода и проходящего тока по амплитуде не превышает 1%, что примерно соответствует нестабильности импульса напряжения модулятора.

3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА

Для измерений была создана экспериментальная установка, в которой после источника пучок электронов с током ~ 500 А и энергией ~ 350 кэВ транспортировался в однородном магнитном поле на расстояние 2,5 м и попадал на датчик, коллекторы которого расположены крестообразно. Диаметр каждого коллектора - 1 мм, расстояние между коллекторами - 4 мм. В измерениях использовалась ЭВМ MERA-60. Была создана программа EMITTANCE для управления измерениями, математической обработки результатов, вывода данных на перфоленту и ее чтения, вывода результатов на печать и монитор. Математическая обработка результатов проводилась ЭВМ непосредственно в ходе эксперимента.

С помощью датчика измерялся проходящий ток и исследовалось распределение плотности тока пучка по сечению. Сигналы с 29 коллекторов поступали на входы блока годоскопов. В годоскопах сигналы сравнивались с задаваемым с помощью ЭВМ уровнем дискриминации.

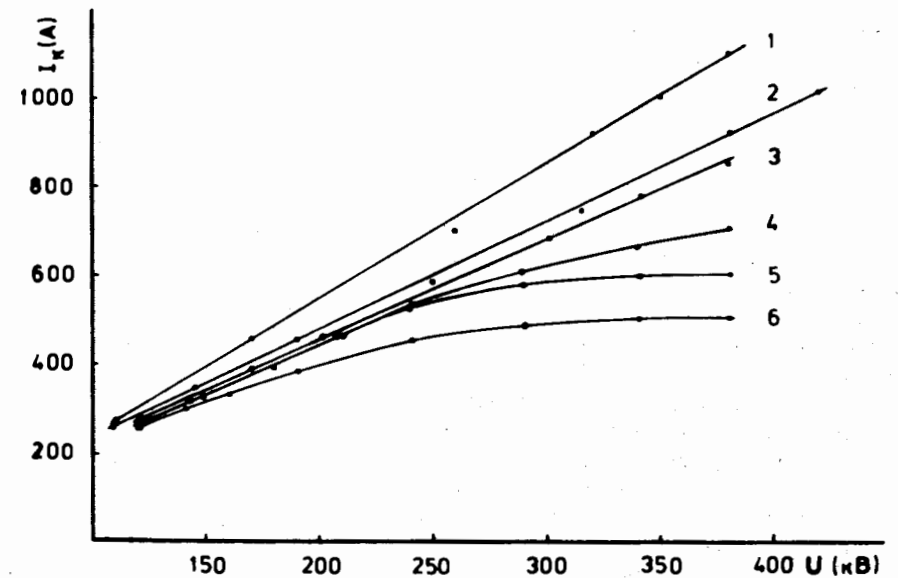


Рис.1. Кривая 1 - $2 \cdot 10^{-3}$ Тор, 2 - 10^{-3} Тор, 3 - $8 \cdot 10^{-4}$ Тор, 4 - $6 \cdot 10^{-4}$ Тор, 5 - $5 \cdot 10^{-4}$ Тор, 6 - $4 \cdot 10^{-4}$ Тор.

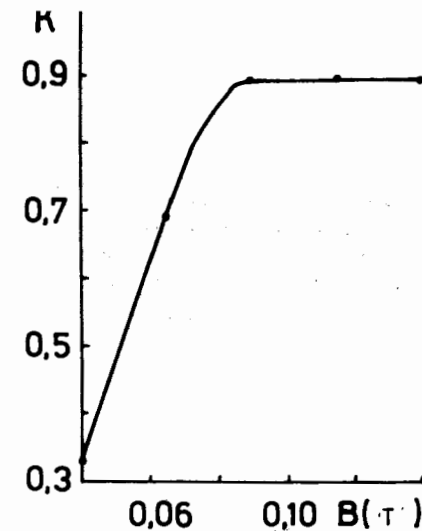


Рис.2

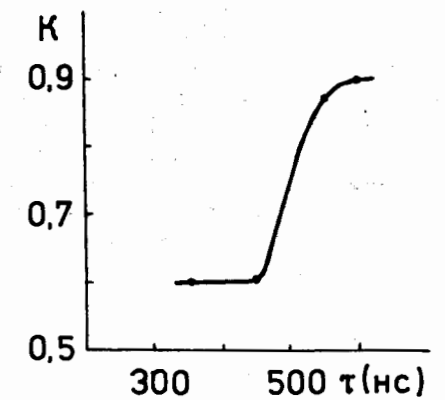


Рис.3

Синхронизация с электронным пучком осуществлялась посредством стробирующего импульса. Блок годоскопов имел 29 двоичных регистров - выходов /по числу коллекторов датчика/. До проведения сравнения регистры очищались. После сравнения состояние каждого выхода соответствовало 1, если амплитуда сигнала была больше заданного уровня дискриминации, и 0 - в противном случае. Сравнение проводилось 5 раз для каждого уровня дискриминации, а биты, определяющие состояния выходов, арифметически складывались. Результаты измерения отображались в виде матрицы, строкам которой соответствовали уровни дискриминации, а столбцам - координаты коллекторов. Эта матрица являлась картиной профиля пучка. В данном случае ее элементы принимали значения от 0 до 5, и это позволяло судить о стабильности распределения плотности тока пучка в пространстве от импульса к импульсу. При определенном, одинаковом, приращении уровня дискриминации от строки к строке длина столбцов, образованных матричными элементами больше нуля, являлась мерой амплитуды сигналов, поступающих с коллекторов. Принято учитывать длину столбцов, образованных матричными элементами, равными только 4 или 5.

4. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА

Исследования показали, что центр тяжести пучка сохраняет свое положение с точностью $\pm 1,5$ мм. Изменения размеров пучка при транспортировке в однородном магнитном поле замечено не было. Зависимость диаметра пучка, измеренного на половине высоты профиля, от величины фокусирующего магнитного поля приведена на рис.4. При оптимальном магнитном поле $B=0,1$ Т пучок имеет размер $d=8\pm 3$ мм.

При выходе из магнитного поля диаметр пучка увеличивается, центр тяжести пучка сохраняет свое положение. На рис.5 изображена экспериментально снятая зависимость диаметра электронного пучка с током 500 А и энергией 340 кэВ от пройденного им в пространстве без магнитного поля расстояния и аналогичная теоретическая зависимость. R и Z на рисунке - безразмерные величины, связанные со значениями радиуса пучка r и расстояния z следующими соотношениями:

$$\frac{r}{r_{\min}} = R, \quad \frac{z}{r_{\min}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\beta^3 \gamma^3 I_0}{I} \right)^{1/2} Z,$$

где $r_{\min} = 4$ мм, $I_0 = 17$ кА, β, γ - лоренцевские факторы, I - ток пучка. Точка с координатой $Z=0$ соответствует концу фокусирующего соленоида. Хорошее совпадение экспериментальной и теоретической кривых свидетельствует о том, что расплывание

пучка в основном определяется действием пространственного заряда. Кроме того, из графика можно сделать вывод о полной незамагниченности или незначительной замагниченности виртуального катода источника электронов.

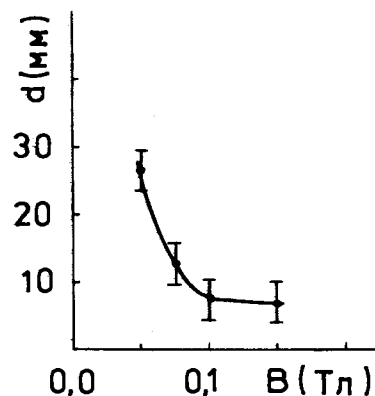


Рис. 4

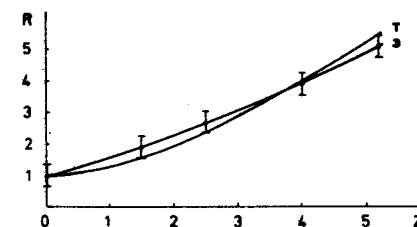


Рис. 5

Эмиттанс пучка измерялся методом диафрагмирования^{/2/}. В конце фокусирующего соленоида устанавливалась подвижная диафрагма со щелью шириной 2 мм, расположенной горизонтально, вдоль оси x. Этой щелью в плоскости измерения выделялись частицы с конкретной координатой y, но с различными значениями y', x, x' . Датчик располагался на расстоянии 100 мм от диафрагмы. Значение $y' = \frac{dy}{dz}$ находилось из картины профиля пучка. Магнитное поле в пространстве между диафрагмой и датчиком отсутствовало. Фазовый объем пучка на плоскости y, y' изображен на рис.6.

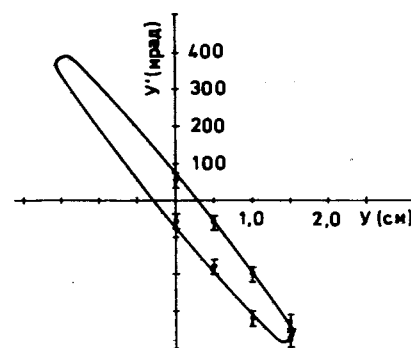


Рис. 6

Эмиттанс пучка электронов находится из соотношения

$$E = \frac{1}{\pi} \int dy \cdot dy'$$

и равняется в нашем случае 100 ± 30 мрад·см, если принять, что фазовый объем ограничен эллипсом. Отрицательный наклон эллипса свидетельствует о том, что в плоскости измерения электронный пучок является сходящимся.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Долбилов Г.В. и др. Исследования источника электронов ускорителя СИЛУНД-20

P9-82-70

Исследования источника электронов с холодным катодом проведены для получения информации о механизме его работы, определения перспектив совершенствования и применимости в данном ускорителе. Электронный пучок исследовался с помощью многоколлекторного датчика. Управление измерениями и обработка результатов проводились при использовании ЭВМ MERA-60. Картина распределения плотности тока отображалась в виде матрицы. В источнике был получен импульсный пучок с током ~ 1 кА и частотой 50 Гц. Нестабильность тока не превышала 1%. Вольфрамовый катод проработал ~ 500 часов при токе $500 \div 1000$ А без ухудшения его стабильности. При оптимальном магнитном поле $B = 0,1$ Т диаметр пучка d составляет 8 ± 3 мм. Эмиттанс E равен 100 ± 30 мрад. см. Пучок является приемлемым для ускорителя СИЛУНД-20. Предполагается получение пучков с током до нескольких килоампер при увеличении давления в разрядной трубке и ускоряющего напряжения.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Dolbilov G.V. et al. On SILUND-20 Accelerator Electron Source Investigation

P9-82-70

The cold cathode electron source has been investigated to get information on its work mechanism, to find the device development outlooks and to describe its applicability to the SILUND-20 accelerator. Its beam has been investigated with many-collector probe. The MERA-60 computer controlled the measurements and processed the results. Current density distribution figure was presented in a matrix form. The electron pulsed beam of about 1 kA with 50 Hz frequency has been obtained from the source. Its current instability is not greater than 1%. Tungsten cathode has been working about 500 hours with current of 500 to 1000 A with no current stability violation. At optimal magnetic field amplitude $B = 0.1$ T, diameter of the beam $d = 8 \pm 3$ mm. Emittance $E = 100 \pm 30$ mrad.cm. The beam with current of some kiloamperes may be obtained when pressure in discharge tube and accelerating tension are greater.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.