

УДК 621.384.663

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПУЧОК С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ ЧАСТИЦ

А. И. Ареништам, И. Н. Мешков, В. Г. Пономаренко, Р. А. Салимов,
А. Н. Скринский, Б. М. Смирнов и В. Г. Файнштейн

В работе описана установка для получения стационарного электронного пучка ($U = 100$ кв, $I = 1$ а) с рекуперацией энергии частиц. Использование электростатического и магнитного экранов в коллекторе позволило получить $\Delta I/I \leq 10^{-3}$, $\Delta U/U \leq 1.3 \cdot 10^{-2}$ (ΔI — ток потерь, ΔU — потенциал рекуперации), что существенно лучше результатов, описанных в литературе. Описан оригинальный метод измерения поперечных составляющих скоростей электронов в пучке с помощью импульсного отклонения пучка.

Реализация предложенного Г. И. Будкером электронного охлаждения в протон-антипротонных накопителях [1] предполагает возможность создания достаточно интенсивного и постоянного во времени пучка электронов. Для области энергий, в которой еще возможно применение

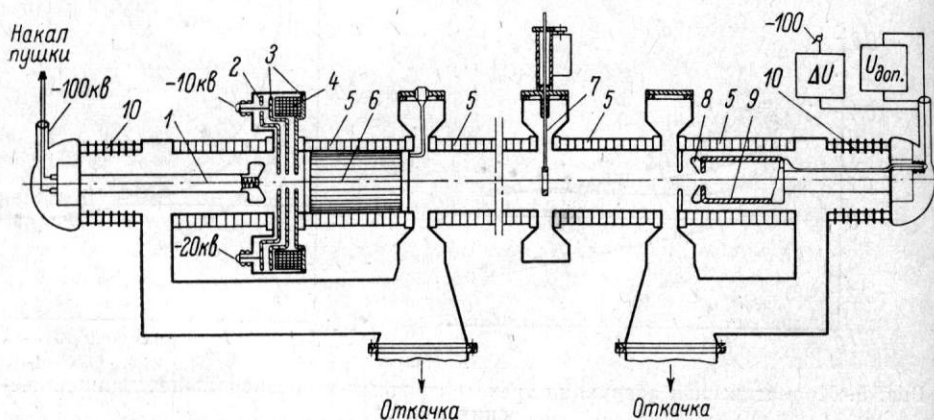


Рис. 1. Схема установки.

1 — электронная пушка, 2 — анод из немагнитного материала, 3 — аноды из магнитного материала, 4 — обмотка линзы, 5 — обмотки соленоида, 6 — импульсный магнитный дефлектор, 7 — пробник с дистанционным перемещением, 8 — электростатический экран коллектора, 9 — магнитный экран коллектора, 10 — высоковольтные изоляторы.

прямых методов ускорения, рационально использовать хорошо известный метод рекуперации энергии «отработанных» электронов [2].

Интенсивный пучок с рекуперацией энергии электронов изучался на установке (рис. 1), имевшей дрейфовый промежуток длиной 2 м с продольным магнитным полем, которое создавалось соленоидом с разрывами для ввода устройств наблюдения за пучком. Специальные компенсирующие обмотки позволяли получить однородность поля лучше 1%. Электронная пушка с плоским катодом диаметром 12 мм и прикатодным электродом Пирса имела три анода, два из которых служили одновременно щеками тонкой магнитной линзы, компенсирующей действие дефокусирующей выходной электростатической линзы.

Устройство с рекуперацией энергии электронов обладает реактивной мощностью $P_a = I_0 U_0$ и потребляет от источников питания активную мощность $P_0 = \Delta I U_0 + I_0 \Delta U$. Источник основного напряжения U_0 должен обладать достаточно высокой стабильностью (для задач электронного охлаждения — не хуже 0.1%), тогда как на источник рекуперации, создающий разность потенциалов ΔU между катодом пушки и коллектором, таких жестких требований не накладывается. Поэтому хотелось бы свести к минимуму потребление мощности от источника U_0 . Ток потерь ΔI складывается из потерь частиц основного пучка ΔI_0 , вызванных несовершенством оптической системы, и тока вторичных электронов ΔI_k , попадающих из пространства торможения в дрейфовый промежуток и затем на стенки камеры. Потери частиц, вызванные взаимодействием пучка с остаточным газом, в наших условиях пренебрежимо малы. Величина ΔI_k определяется конструкцией коллектора и зависит от выбранного значения ΔU . Минимальное значение P_a было получено при использовании коллектора с «магнитной пробкой» и запирающим электрическим полем.

Коллектор представлял собой железный цилиндр (магнитный экран) с внешним электростатическим экраном, выполненным в виде катодного электрода Пирса. Магнитное поле внутри коллектора убывает в 30 раз на длине 2 см. Между магнитным и электростатическим экранами прикладывалось дополнительное напряжение $U_{\text{доп.}}$, запирающее вторичные электроны. Быстро спадающее магнитное поле внутри коллектора приводит к расфокусировке пучка и образует магнитную пробку для вторичных (отраженных) электронов. Наилучший результат по рекуперации энергии был получен при следующих значениях параметров установки: $U_0 = 100$ кв, $I_0 = 1.1$ а, $\Delta I \leq 1$ ма, $\Delta U = 1.3$ кв, что соответствует $\Delta P/P \approx 1.4 \cdot 10^{-2}$. При этом $U_{\text{доп.}} = -1$ кв, потенциалы анодов 0, -10 кв и -20 кв соответственно. Поле в соленоиде 190 э, в магнитной линзе 390 э.

На рис. 2 показана зависимость ΔI от ΔU и $U_{\text{доп.}}$. Измерения проводились при $I_0 = 0.5$ а, $U_0 = 100$ кв. Интересно отметить, что потери остаются еще малыми в некоторой области значений $\Delta U < |U_{\text{доп.}}|$.

Полученные результаты существенно лучше известных нам из литературы (см., например, [3, 4]).

При работе в постоянном режиме не применимы обычные методы измерения размеров интенсивного пучка и поперечных скоростей электронов — пробники, диафрагмирование и т. п. Поэтому измерения производились с помощью сброса пучка на пробник импульсным дефлектором, создающим однородное магнитное поле H_{\perp} , перпендикулярное оси пучка в области протяженностью $l \approx 35$ см. При напряженности продольного поля $H = 2\pi r c / e l$ пучок выходит из дефлектора, сместившись как целое параллельно своей оси вдоль вектора H_{\perp} на расстоянии $l H_{\perp} / H$ и не претерпев относительных возмущений.

Если импульс $H_{\perp}(t)$ имеет пилообразную форму, сигнал с пробника характеризует распределение плотности тока по сечению пучка. Удобно применять двухламельные пробники, тогда легко установить пространственный масштаб картины на экране осциллографа. Измеряя таким способом размер пучка d_0 в двух точках, отстоящих друг от друга на расстояние $(2k + 1)\pi r c / e H$, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ вдоль оси установки, можно оценить относительные поперечные скорости частиц, вызывающие пульсации размеров пучка,

$$\frac{v_{\perp}}{v_{\parallel}} \approx (d_{01} - d_{02}) \frac{eH}{rc}. \quad (1)$$

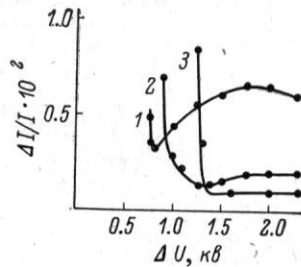


Рис. 2. Коллекторные характеристики.

$I_0 = 0.5$ а, $U_0 = 100$ кв, 1 — $U_{\text{доп.}} = -0.8$, 2 — -1.25 , 3 — -1.75 кв.

197
197

Теми же пробниками можно измерить угол пучка как целого с направлением магнитного поля. Вдвигая второй пробник в «тень» первого (что контролируется, например, по совмещению импульсов сброшенного тока на экране двухлучевого осциллографа) и измеряя разность их расстояний от оси установки, определяем перекося пучка по формуле (1).

Полученные с помощью такой методики значения относительных поперечных скоростей не превышали 10^{-2} , а перекося пучка составлял около $2 \cdot 10^{-2}$.

Литература

[1] Г. И. Будкер. АЭ, 22, № 5, 346, 1967. — [2] А. И. Аренштам, Г. И. Будкер, И. Н. Мешков, В. Г. Пономаренко, А. Н. Скринский. Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, 1968 г., III, стр. 400. ВИНТИ, М., 1970. — [3] M. O. Bryant, A. Thomas, P. W. Wells. J. of Electronics and Control. (I Ser.), 12, № 1, 49, 1962. — [4] А. Р. Комарчук, И. А. Андраковская, М. В. Дереновский. Изв. вузов, Радиоэлектроника, 10, № 11, 1062, 1967.

Институт ядерной физики
СО АН СССР
Новосибирск

Поступило в Редакцию
17 января 1970 г.

ци
жел
вел
ни
дел
экр

ста
при
ни
ной
дуг
нос
при
тре
про

и с

зар
ни
не
тат
нап

же
хро

М
рит
α —
пот