

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ СИЛЬНОТОЧНОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ЕГО ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ГАЗ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

*А. А. Коломенский, В. М. Лихачев, И. В. Синильщикова,
О. А. Смит*

Приведены результаты эксперимента по прохождению сильно-точного электронного пучка через газ низкого давления. Показано, что при давлении 0,4 – 1 тор наблюдается газовая фокусировка. При давлении 0,1 – 0,4 тор замечены характерные особенности структуры пучка. Эксперименты выполнены при энергии электронов 300 и 700 кэВ.

На сильноточном ускорителе "Импульс" нами были проведены эксперименты по прохождению электронного пучка через газ различной плотности при двух режимах работы установки с $E_1 = 300$ кэВ и $E_2 = 700$ кэВ. Схема эксперимента показана на рис. 1. Ускоритель "Импульс" состоит из генератора Аркадьева – Маркса, двойной формирующей линии, трансформирующей линии и электронной пушки с холодным катодом. Максимальная энергия электронов 700 кэВ, ток 30 кА, длительность импульса $50 \cdot 10^{-9}$ сек. Конструкция ускорителя описана в работах [1, 2]. Дрейфовая камера, следующая за блоком электронной пушки, представляет собой стеклянную трубу длиной около двух метров. Ее внутренняя поверхность покрыта сеткой из нержавеющей стали. Вывод электронов из блока электронной пушки в камеру осуществлялся через титановую фольгу толщиной 50 мк. В ходе эксперимента регистрировались величина и длительность импульса тока, напряжение на диодном промежутке, а также световое, рентгеновское излучение и общее свечение газа в камере.

На рис. 2 приведены фотографии свечения газа при прохождении пучка в камере при двух режимах установки и различных условиях транспортировки пучка. Область свечения газа определяется его давлением и составом, а также энергией пучка. На рис. 2, а видно, что при энергии пучка $E_1 = 300 \text{ кэв}$ и давлении 10^{-2} тор пучок вследствие кулоновского расталкивания практически не проходит, и газ светится только в начале камеры. По мере увеличения давления форма и размеры области свечения существенно меняются. В диапазоне давлений $0,1 - 0,4 \text{ тор}$ наблюдается яркий шнур диаметром $\sim 3,5 \text{ см}$ вдоль всей камеры.

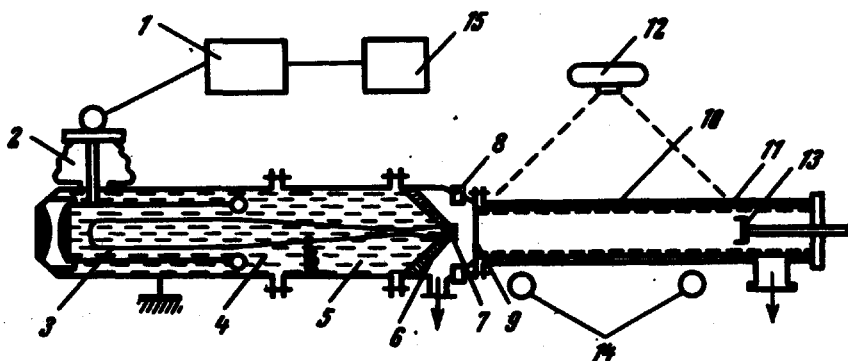


Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента: 1. — генератор импульсного напряжения (ГИН) Аркадьева — Маркса, 2. — зарядный изолятор, 3. — двойная формирующая линия (ДФЛ) и коммутирующий ее разрядник, 4. — трансформирующая линия, 5. — диэлектрик (глицерин, $\epsilon = 44$), 6. — изолятор электронной пушки, 7. — катод электронной пушки, 8. — шунт для регистрации тока, 9. — фольга из титана (50 мк), 10. — стеклянная дрейфовая камера, 11. — проводящий лайнер, 12. — фоторегистратор, 13. — передвижной цилиндр Фарадея, 14. — приемники излучения в видимой и рентгеновской областях спектра, 15. — блок управления ускорителем.

Характерной новой особенностью структуры пучка в этой области, не наблюдавшейся в других экспериментах [3 — 5], является наличие ярких выбросов — полос, идущих под острым углом к основному шнуру (рис. 2, б). При $E_1 = 300 \text{ кэв}$, $I_{\text{max}} = 11,7 \text{ ка}$, $P = 0,1 \text{ тор}$ (газ, воздух) угол наклона полос составляет $15 - 20^\circ$. Среднее расстояние между ними 6 см . Полосы наблюдаются до расстояния 50 см от фольги, места входа пучка в камеру. Возможное объяснение возникновения и закономерностей расположения этих выбросов полос основано на учете взаимодействия пучка с его собственным магнитным полем¹⁾.

При давлении $0,4 - 1 \text{ тор}$ наблюдаются ярко выраженные эффекты газовой фокусировки (рис. 2, в), некоторые из которых отмечались в работах [3 — 6]. Пучок в камере фокусировался до диаметра $\sim 1 \text{ см}$ при диаметре сечения пучка на входе $\sim 4 \text{ см}$. Эффекты фокусировки пучка подтверждаются также по картине "автографа" пучка на свинцовых пластинках, располагаемых на пути движения пучка (рис. 3А, Б).

¹⁾ Соответствующая теория, предложенная К.В.Ходатаевым, излагается в работе [6].

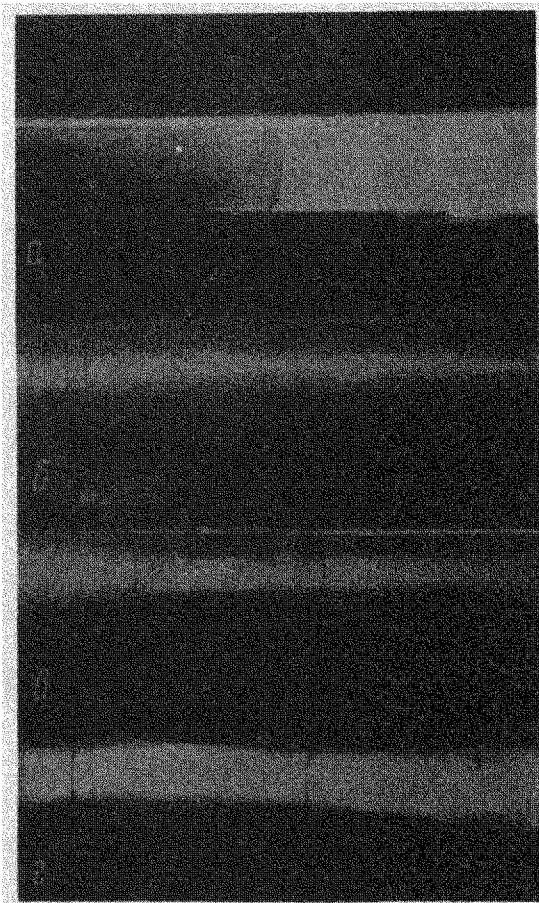


Рис. 2. Свечение газа (воздуха) при прохождении пучка электронов через дрейфовую камеру: *a* - $E_1 = 300$ кэв, $P = 10^{-2}$ тор, *б* - $E_1 = 300$ кэв, $P = 10^{-1}$ тор; *в* - $E_1 = 300$ кэв, $P = 7 \cdot 10^{-1}$ тор; *г* - $E_2 = 700$ кэв, $P = 7 \cdot 10^{-1}$ тор

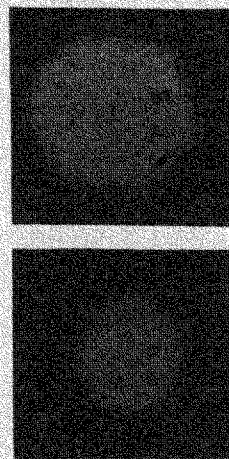


Рис. 3. "Автограф" пучка на свинцовых пластинках

Расстояние λ , на котором происходит фокусировка пучка при наших условиях эксперимента, можно оценить по формуле

$$\lambda = (2\pi \gamma m \beta^2 c^3)^{1/2} [e(\beta^2 + f - 1)]^{-1/2} j^{-1/2},$$

которая дает значение 26 см. Здесь N_e, N_i - линейные плотности электронов пучка и ионов, $f = N_i / N_e$, j - плотность тока. Экспериментально полученное значение равно 30 см. В области давления 1 тор наблюдается возникновение неустойчивостей пучка - искривление, тенденция к закручиванию и т. д.

При энергиях электронов в пучке $E_2 = 700$ кэв (второй режим работы ускорителя) и разных газах (He, Ar, Xe, воздух) также имеют

место отмеченные выше эффекты поведения пучка при прохождении его через газ низкого давления, однако характерные выбросы — полосы не появляются. Развитие неустойчивостей приводит дополнительно к поперечному смещению пучка (рис. 2, 4).

В заключение авторы выражают благодарность Н.С.Беловой, Л.Н.Казанскому, Ю.Н.Чехонадскому за помощь при проведении эксперимента.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
5 июня 1973 г.

Литература

- [1] Л.Н.Казанский, А.А.Коломенский, Г.О.Месхи, Б.Н.Яблоков. Труды II Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Москва 1970г., изд-во ВИНТИ, 1972 г., т. 2
 - [2] Л.Н.Казанский, А.А.Коломенский, В.М.Лихачев, Г.О.Месхи, Б.Н.Яблоков. Симпозиум по коллективным методам ускорения, г.Дубна 1972 г. изд-во ОИЯИ, стр. 161.
 - [3] Л.И.Казанский, В.М.Лихачев, И.В.Синильщикова, О.А.Смит, Ю.Н.Чехонадский. Сб. Краткие сообщения по физике (ФИАН) №10, 1972.
 - [4] Л.И.Рудаков, В.П.Смирнов, А.М.Спектор. Письма в ЖЭТФ, 15, 9, 1972.
 - [5] Ю.В.Ткач, Я.Б.Файнберг, И.И.Магда, В.Д.Шапиро, В.И.Шевченко, А.И.Зыков, Е.А.Лемберг, И.Н.Мондрус, Н.Ф.Гадецкий. Письма в ЖЭТФ, 16, 7, 1972.
 - [6] К.В.Ходатаев. Письма в ЖЭТФ, данный номер, стр. 184.
-