

- [5] С о т и н В.Е., Ш е в ц о в В.М. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. № 8. С. 475-479.
- [6] K i t a g a w a M., T a t e d a M. // Appl. Opt. 1985. V. 24. No 20. P. 3359-3362.
- [7] K h u r g i n J. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. No 25. P. 2100-2102.
- [8] R o x l o C.B., A b e l e s B., T i e d j e T. // Phys. Rev. Lett. 1984. V. 52. No. 25. P.2100-2102.
- [9] А г а п о в А.Ю., С о т и н В.Е., Ш е в ц о в В.М. // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 65. № 1. С. 217-220.
- [10] К е л и х С. Молекулярная нелинейная оптика. М.: Наука, 1981. 672 с.
- [11] Б и р м а н Д. Пространственная симметрия и оптические свойства твердых тел. М.: Мир, 1978, т. 2. 352 с.
- [12] Г р и б к о в с к и й В.П., З ю л ь к о в В.А., К а з а ч е н к о А.Э. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 10. С. 874-877.

Университет
Дружбы народов
им. Патриса Лумумбы

Поступило в Редакцию
21 декабря 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 5
10

12 марта 1989 г.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ПОВОРОТУ НА 180° СИЛЬНОТОЧНОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ В ВИНТОВОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

М.А. А л е к с е е в, Б.Ф. Б а б е н к о, В.Д. З ю з и н,
В.Н. К а н у н н и к о в, А.А. К о с а р е в,
А.К. М я з д р и к о в, С.Г. Р о т т, Н.В. С у л х а н о в

Для формирования пространственной винтовой орбиты пучка [1] в индукционном линотроне [2] на участке поворота на 180° предложено использовать ПФМ¹ с однородным вертикальным полем B_z и тороидальным полем $B_\theta(r) = B_\theta(R)(R/r)$ (применяется цилиндрическая система координат r, θ, z ; R - большой радиус тора). Система круглых катушек ПФМ охватывает вакуумную камеру-тороидальный электропровод из нержавеющей стали с внутренним радиусом сечения 7 см и толщиной стенки ~ 0.5 см. Катушки равномерно распределены по длине камеры с периодом ~ 10 см, $R = 100$ см. Составляющая B_z возбуждается двумя одинаковыми рамками, имеющими форму полуколец и лежащими выше

¹ Поворотнo-фокусирующий магнит.

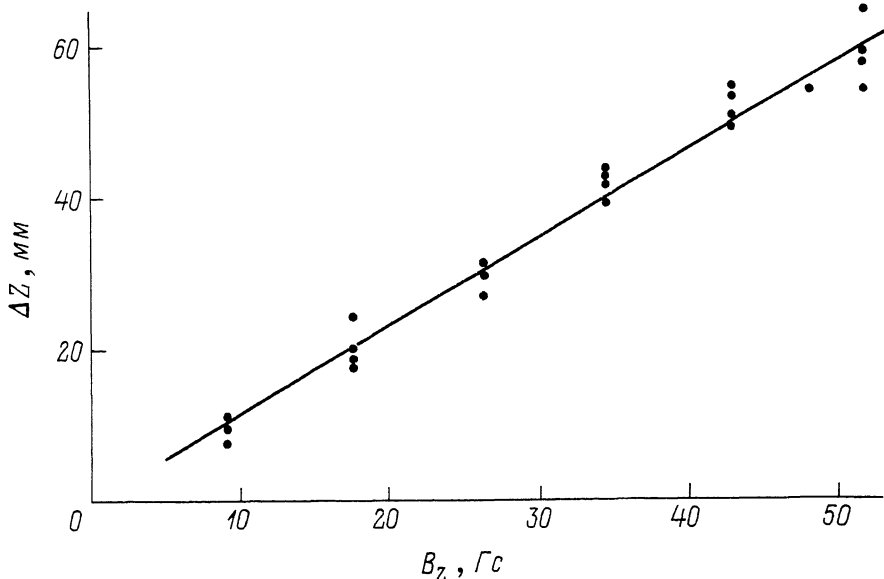


Рис. 1. Зависимость вертикального смещения центра пучка $\Delta Z = |Z - Z_d|$ от индукции вертикального поля B_z .

и ниже катушек тороидального поля; расстояние между проводниками рамок по радиусу - 41 см, по вертикали - 24 см. Форма импульсов тока в обмотках ПФМ - полусинусоида длительностью 3 мс (по основанию).

Источником электронного пучка служит электронная пушка (ЭП) - коаксиальный диод с магнитной изоляцией, присоединенный к ПФМ через переходную цилиндрическую камеру с однородным магнитным полем. ЭП питается от генератора импульсного напряжения (ГИН), амплитуда напряжения на катоде регулировалась при экспериментах в пределах 0.35...0.55 МВ, длительность импульса ~ 3 мкс, диаметр катода 1 см, давление остаточного газа не хуже 10^{-5} мм рт. ст., ток пучка - до 4 кА.

Напряжение на ЭП измеряли, используя резистивный делитель и осциллограф; кроме того, контролировали зарядное напряжение ГИНа. На выходе ПФМ установлена сменная мишень (пластина из нержавеющей стали, свинца или полиэтилена). След, оставляемый пучком на мишени, позволяет определить положение, форму и поперечные размеры пучка в конце тороидальной камеры. В неизменных условиях эксперимента положение и форма следов воспроизводится от импульса к импульсу с отклонением менее 0.1 см. Ток на мишень измеряли с помощью резистивного шунта и осциллографа.

В условиях нашего эксперимента вертикальное смещение следа пучка (ΔZ), связанное с кривизной R^{-1} магнитного поля, и радиальное отклонение следа (Δr), вызванное взаимодействием пучка

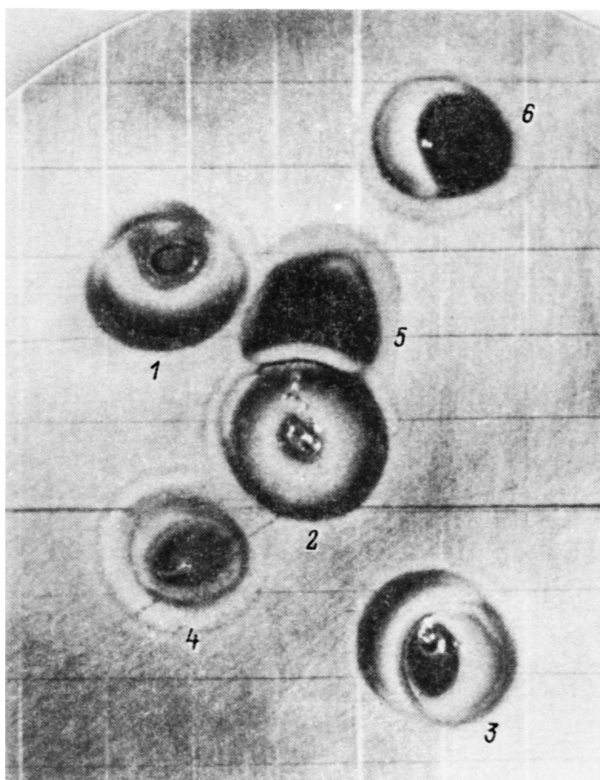


Рис. 2. Фотография мишени из нержавеющей стали со следами пучка, полученными при различных значениях индукции поля B_θ и B_z . Длина стороны квадрата у координатной сетки, нанесенной на мишень, = 1 см.

со стенкой металлической камеры, близки по величине. Поэтому при исследованиях одних только эффектов кривизны пучок на входе в ПФМ диафрагмировали, уменьшая ток до ~ 0.2 кА. Сильно диафрагмированный пучок (с током ~ 0.2 кА) оставлял заметный след только на полиэтиленовой или свинцовой мишени; при этом смещение следа по радиусу при изменении поля B_z практически отсутствовало ($\Delta r \leq 1$ мм).

Величина индукции $B_\theta(R)$ при экспериментах была равна ~ 2.7 кГс, измерения проводили как при $B_\theta > 0$ (по направлению скорости пучка v_θ), так и при $B_\theta < 0$. Составляющую $B_z > 0$ изменяли в диапазоне $0 \dots 52$ Гс с шагом ~ 9 Гс. При $B_z = 0$ регистрировался центробежный дрейф пучка, т. е. измерялась величина вертикального смещения $Z_d = (c\rho_\theta / eR) B_\theta^2(R) R\theta$, где $R\theta$ — длина пути, c — скорость света, e — заряд электрона, ρ_θ — азимутальная составляющая импульса частицы. Измерения при $B_z \neq 0$

имели цель экспериментально проверить возможность управления центробежным дрейфом в соответствии с формулой

$$Z = (c\rho\theta/eR + B_z) B_\theta^{-1}(R) R \cdot \theta.$$

На рис. 1 приведены результаты, полученные как с интенсивным, так и с диафрагмированными пучками при энергии 0.35 МэВ. По оси ординат отложена величина $\Delta Z = |Z - Z_d|$, т. е. смещение пучка относительно верхнего (при $B_\theta < 0$) или нижнего (при $B_\theta > 0$) уровня, достигаемого пучком при $B_z = 0$. Сплошная кривая — теоретическое значение $|Z - Z_d|$, а точки — результаты измерений с шестью различными мишенями и при различных токах пучка на мишени в диапазоне $\sim 0.2 \dots 2$ кА. Погрешность измерений оценивается величиной $\pm 10\%$.

На рис. 2 представлена фотография мишени со следами, оставленными недиафрагмированным пучком (~ 4 кА, ~ 0.5 МэВ). Следы 1, 2, 3 получены при $B_\theta = -2700$ Гс и $B_z = 0$; 26 и 52 Гс соответственно, а следы 4, 5, 6 — при $B_\theta = 2700$ Гс и $B_z = 0$; 26 и 52 Гс соответственно. Центры следов первой группы (1, 2, 3) лежат на прямой, составляющей с вертикалью угол $\varphi_1 \approx +30^\circ$, а центры следов второй (4, 5, 6) — на прямой с $\varphi_2 \approx -30^\circ$.

Наблюдаемое перемещение следов сильноточного пучка на мишени согласуется с известными представлениями (см. например, [3]) о его взаимодействии со стенками камеры при движении в продольном магнитном поле (дрейф в скрещенных полях: $E_{орп}$, B_θ).

Эксперименты подтвердили возможность управления центробежным дрейфом пучка в ПФМ с точностью, достаточной для формирования пространственной орбиты в индукционном линотроне [2].

Авторы благодарят В.В. Еяна и А.В. Мищенко за поддержку и обсуждение работы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] З ю з и н В.Д., К о р е н е в И.Л., Ю д и н Л.А. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. В. 16. С. 977-980.
- [2] Б а б е н к о Б.Ф., З ю з и н В.Д., К а н у н н и к о в В.Н. // ЖТФ. 1987. Т. 57. В. 4. С. 721-728.
- [3] H u m p h r i e s S., Jr. and L e n L.K. // J. Appl. Phys. 1987. V. 62. N 5. P. 1568-1575.

Поступило в Редакцию
10 декабря 1988 г.