

## ВЛИЯНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ РАДИАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДИНАМИКУ ПУЧКА В МЕДИЦИНСКОМ ЦИКЛОТРОНЕ C235-V3

*Г. А. Карамышева*<sup>1</sup>, *С. А. Костромин*, *Н. А. Морозов*,  
*Е. В. Самсонов*, *Е. М. Сыресин*<sup>2</sup>

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В работе представлены численные расчеты и экспериментальные результаты влияния возмущений радиальной компоненты магнитного поля на динамику пучка медицинского циклотрона C235-V3 для центра протонной терапии в Димитровграде. Эти возмущения в области минимума частоты аксиальных колебаний приводят к трансформации когерентного аксиального движения центра тяжести пучка в этой области в дальнейшее некогерентное движение отдельных частиц. Это вызывает двукратное увеличение аксиального размера пучка на радиусе  $\sim 20$  см и дополнительные потери протонов.

Для уменьшения нежелательного действия радиальной компоненты на аксиальное движение пучка магнитная система в центральной области была оптимизирована с помощью двух процедур: установки шимм-корректоров на секторах и выбора специального несимметричного расположения верхней и нижней центральных втулок. Это привело к двукратному снижению аксиального размера пучка и уменьшению потерь частиц. В конечном итоге трансмиссия пучка в C235-V3 была увеличена до 72 % без диафрагмы с ограничивающей апертурой, которая обычно используется в циклотроне этого типа. Это позволило уменьшить радиационные потери на элементах циклотрона и увеличить в 1,5 раза ток пучка на входе в дефлектор по сравнению с его серийным вариантом C235.

The paper presents the numerical simulations and the experimental results related to influence of the magnetic field radial component imperfection on the beam dynamics in the medical cyclotron C235-V3 of the Dimitrovgrad proton therapy center. This imperfection in the region of the minimal axial betatron frequency leads to transformation of coherent motion of the beam center gravity to incoherent motion of the separate particles. The radial component increases twice the axial beam size at radius of 20 cm which produces the additional losses of the protons.

To reduce unwanted actions of the radial component on the axial motion, the magnetic system in the central region has been optimized using two procedures: positioning of the shim correctors on sectors and selection of a special asymmetric arrangement of the upper and lower central plugs. This led to a reduction in the axial beam size by half and to decreasing of the proton losses. Eventually, the beam transmission in C235-V3 has been increased up to 72% without a limiting aperture diaphragm, which is commonly used in this type of cyclotron. This allows one to reduce irradiation dose of the machine elements in comparison with serial C235 cyclotron and permits one to increase 1.5 times beam current at the deflector entrance of cyclotron C235-V3 in comparison with cyclotron C235.

PACS: 29.20.db

---

<sup>1</sup>E-mail: gkaram@nusun.jinr.ru

<sup>2</sup>E-mail: syresin@nusun.jinr.ru

## ВВЕДЕНИЕ

В серийных циклотронах С235 происходят аксиальные потери пучка из-за когерентных аксиальных колебаний с амплитудой  $\sim 5$  мм, возникающих в центральной области ускорителя при наличии радиальной компоненты магнитного поля  $B_r$  в средней плоскости. В результате трансмиссия пучка в диапазоне радиусов 30–105 см, как правило, составляет не более 50%. Для уменьшения этих потерь в центральной области циклотрона С235 на радиусах 15–20 см, когда энергия протонов  $\sim 2$  МэВ, устанавливается диафрагма с ограничительной вертикальной апертурой 6 мм. При ее использовании эффективность ускорения от радиуса 30 см до радиуса вывода 105 см составляет  $\sim 90\%$ . При максимальном токе протонного пучка перед диафрагмой 2,5 мкА ток ускоренного пучка после нее составляет около 750 нА. В результате при эффективности вывода 50% ток выведенного пучка в соответствии со спецификацией циклотрона С235 равен 300 нА.

В ОИЯИ исследована динамика пучка в протонном медицинском циклотроне С235-V3 [1–3] (серийный номер фирмы ИВА — РАР116) с учетом эффектов радиальной компоненты магнитного поля  $B_r$  в средней плоскости циклотрона ( $z = 0$ ) и бампа аксиального магнитного поля  $B_z$  в центральной части ускорителя. Было выявлено, что основной причиной потерь во время ускорения в С235-V3 является наличие  $B_r$  в средней плоскости циклотрона. В ходе проведенных численных расчетов и экспериментальных исследований показано, что наличие  $B_r$  в области минимума частоты аксиальных колебаний  $Q_z \sim 0,04–0,05$  ( $r \sim 10$  см), обусловленного формой ведущего магнитного поля  $B_z$ , приводит к трансформации когерентного аксиального движения центра тяжести пучка в этой области в дальнейшее некогерентное движение отдельных частиц. При азимутальном среднем значении  $\bar{B}_r \approx 5$  Гс и градиенте  $d\bar{B}_r/dr \cong 3$  Гс/см эффект ведет к двукратному увеличению аксиального размера пучка на радиусе 20 см и дополнительным потерям протонов.

Для уменьшения нежелательного действия радиальной компоненты на аксиальное движение пучка магнитная система в центральной области была оптимизирована с помощью двух процедур: установки шимм-корректоров на секторах и выбора специального несимметричного расположения верхней и нижней центральных втулок. Это привело к двукратному снижению аксиального размера пучка и уменьшению потерь частиц. В конечном итоге эффективность ускорения в С235-V3 была увеличена до 72% без диафрагмы с ограничивающей апертурой, которая обычно используется в циклотроне этого типа.

## ПАРАМЕТРЫ ПРОТОННОГО ПУЧКА, ИНЖЕКТИРУЕМОГО ИЗ ИСТОЧНИКА

В численных расчетах эмиттансы инжектируемого из протонного источника пучка составляли  $\varepsilon_z = 200\pi$  мм·мрад и  $\varepsilon_r = 50\pi$  мм·мрад. Стартовое распределение частиц на радиальной и аксиальной фазовых плоскостях приведено на рис. 1, а, б соответственно. Распределение частиц на плоскости ВЧ-фаза – аксиальная координата  $Z$  показано на рис. 1, в.

Инжектируемый пучок ограничен геометрией выходной щели протонного источника, которая имеет размер  $0,7 \times 4,0$  мм. В расчетах количество протонов в банче составляет 2000, их начальные ВЧ-фазы распределены в интервале  $30–70^\circ$ .

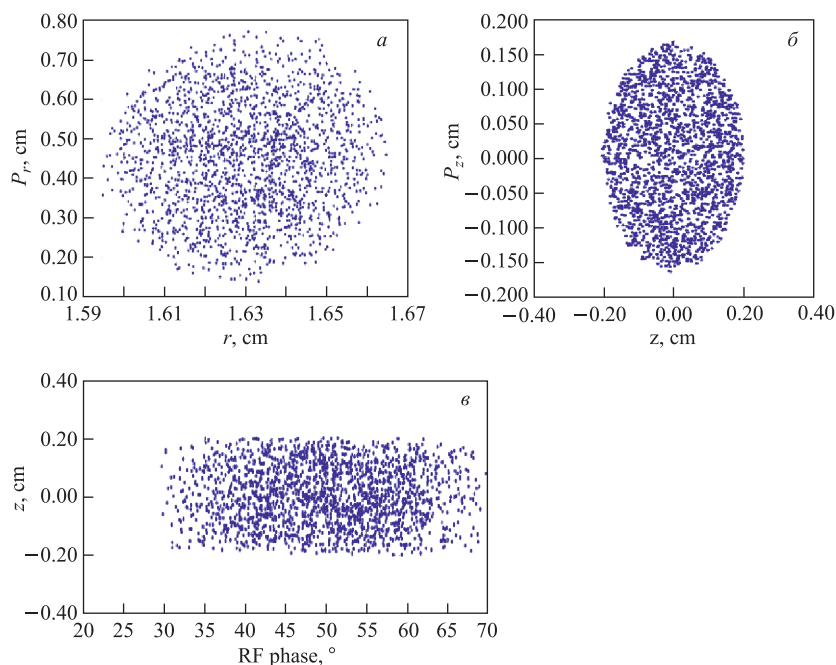


Рис. 1. Распределение частиц в банче, инжектируемом из протонного источника

### ЭФФЕКТЫ МЕДИАННОЙ ПЛОСКОСТИ ЦИКЛОТРОНА

Наличие радиальной компоненты магнитного поля  $B_r$  в средней плоскости циклотрона приводит к когерентному сдвигу пучка в вертикальном направлении. При этом происходит также смещение медианной плоскости (на которой, по определению, среднее значение радиальной компоненты равно нулю) от средней плоскости ускорителя. Основной причиной наличия радиальной составляющей магнитного поля в средней плоскости являются неточности в изготовлении и монтаже циклотрона.

Особенности динамики пучка в центральной области связаны с эффектами медианной плоскости, параметрами бампа среднего магнитного поля и минимальным значением частоты аксиальных колебаний. В циклотроне С235 бамп среднего поля дает увеличение аксиальной фокусировки на первых оборотах (радиусы 3–9 см), но приводит к ее уменьшению до уровня  $Q_z \sim 0,04–0,05$  (рис. 2) из-за слишком большого градиента среднего поля в месте перехода от бампа к изохронному полю.

Два варианта модельного распределения радиальной компоненты в средней плоскости, использованных в расчетах на радиусах меньше 35 см, приведены на рис. 3, а. Распределение 1 было измерено на циклотроне С235 с серийным номером РАР125 уже после запуска циклотрона С235-V3 (РАР116), распределение 2 — результат расчетной оптимизации кривой  $I$ , которая была сделана с целью уменьшения аксиального размера пучка.

Расчеты динамики протонного пучка во всей области ускорения были выполнены для трех распределений радиальной компоненты магнитного поля: 1)  $\bar{B}_r = 0$  на всех радиу-

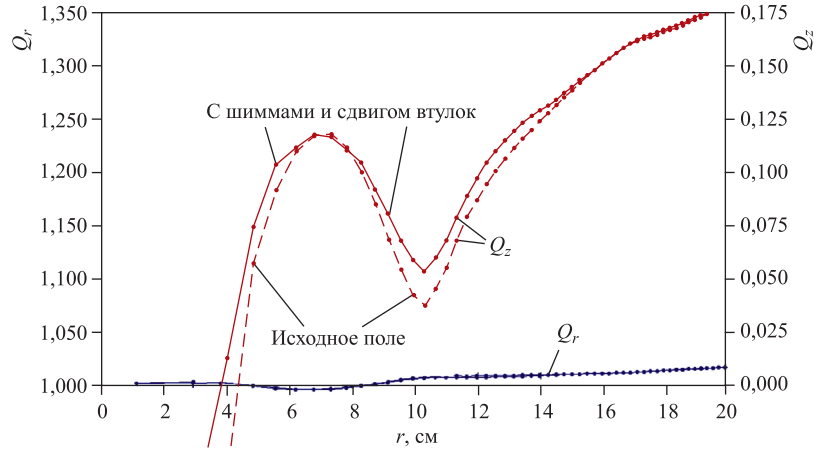


Рис. 2. Зависимость частот свободных колебаний от радиуса в циклотроне С235-V3 до и после использования шимм на секторах и сдвига центральных втулок

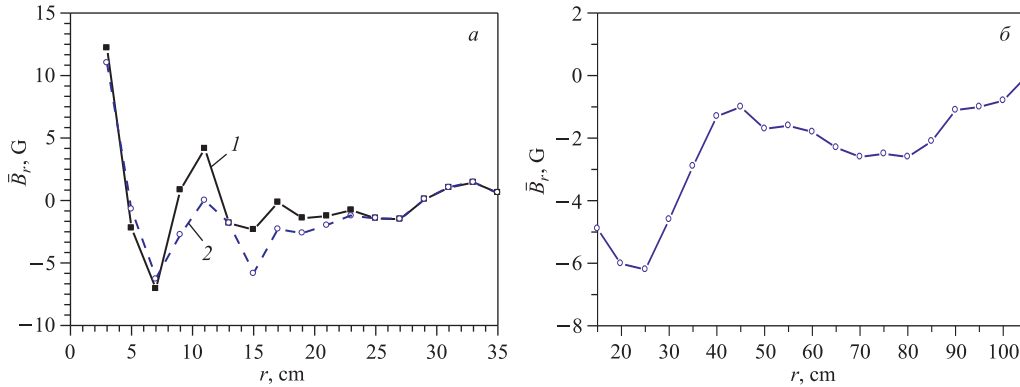


Рис. 3. Распределения  $\bar{B}_r$ -компоненты в средней плоскости: а) 1 — измерено на циклотроне С235 РАР125 с шиммами толщиной 2 мм; 2 — рассчитано при изменении симметрии магнитной системы в центре с целью минимизации  $\bar{B}_r$  в районе минимума  $Q_z$  за счет уменьшения толщины до 1,7 мм; б) рассчитано на основе измеренного вертикального положения центра тяжести протонного пучка в циклотроне С235-V3 РАР116

сах, 2) на радиусах  $r < 35$  см  $\bar{B}_r$  соответствует экспериментальной кривой 1 рис. 3, а при использовании шимм толщиной 2 мм, на радиусах  $r > 35$  см  $\bar{B}_r$  соответствует кривой рис. 3, б, полученной исходя из экспериментального положения пучка в С235-V3 на радиусах  $r < 35$  см, 3) на радиусах  $r < 35$  см  $\bar{B}_r$  соответствует расчетной кривой 2 рис. 3, а для шимм на секторах с толщиной 1,7 мм, на радиусах  $r > 35$  см  $\bar{B}_r$  соответствует кривой рис. 3, б.

Если в области минимума  $Q_z$  в средней плоскости ускорителя присутствует  $\bar{B}_r$  величиной  $\sim \pm 5$  Гс и градиентом  $\pm 3$  Гс/см (кривая 1 рис. 3, а), то это приводит к трансформации когерентного движения центра тяжести пучка в этой области в дальнейшее некогерентное движение отдельных частиц.

Подробнее обсудим данный эффект. Уравнение аксиальных бетатронных колебаний в присутствии радиальной компоненты  $\bar{B}_r$  в средней плоскости имеет вид

$$z'' + \frac{Q_z^2}{r^2} z = -\frac{1}{r} \frac{\bar{B}_r}{B_z},$$

где  $z$  — аксиальная координата траектории протона относительно средней плоскости;  $z''$  — вторая производная аксиальной координаты вдоль траектории частицы  $s$ ;  $r$  — радиус;  $B_z = B_z(0, r)$  — аксиальная компонента магнитного поля в средней плоскости;  $Q_z$  — частота аксиальных колебаний. Частота аксиальных колебаний определяется градиентом среднего магнитного поля, параметрами азимутальной вариации поля, а также действием электрической фокусировки, которая зависит от ВЧ-фазы протонов в момент пролета ускоряющих щелей:

$$Q_z^2 = -\frac{r}{B_z} \frac{\partial B_z}{\partial r} + F[1 + 2(\text{tg } \delta)^2] + Q_{\text{el}}^2,$$

где  $F$  — флаттер;  $\delta$  — угловая спиральность секторов;  $Q_{\text{el}}^2$  — квадрат аксиальной частоты, обусловленный электрической фокусировкой. Решение уравнения аксиальных колебаний с правой частью имеет вид

$$z \approx z_0 \sqrt{\frac{Q_0}{Q_z}} \cos \left( \int_0^s \frac{Q_z ds'}{r} + \varphi_0 \right) - \frac{r \bar{B}_r}{Q_z^2 B_z} + \sqrt{\frac{Q_1}{Q_z}} \alpha \left( \frac{r_1 \bar{B}_{r_1}}{Q_1^2 B_z} \right) \cos \left( \int_{s_1}^s \frac{Q_z}{r} ds' + \varphi_1 \right).$$

Здесь  $z_0$  — амплитуда аксиальных колебаний в точке  $s = 0$ , соответствующей  $Q_0$ ;  $\varphi_0$  — фаза аксиальных колебаний в этой точке;  $s$  и  $s'$  — текущие координаты вдоль траектории протона;  $r_1$  — радиус орбиты протона, соответствующий минимуму частоты  $Q_1$ ;  $\varphi_1$  — фаза колебаний протона, возникающих вблизи радиуса  $r_1$ ;  $s_1$  — продольная координата протона, соответствующая  $r_1$ ;  $\bar{B}_{r_1}$  — характерная величина азимутального среднего значения радиальной компоненты поля в области минимума частоты;  $\alpha$  — параметр, зависящий от изменения фазы аксиальных колебаний в области минимума частоты. Отметим, что параметр  $\alpha$  также зависит от конкретного вида функции  $\bar{B}_r(r)$ . Рассмотрим область возмущения  $\bar{B}_r$  в средней плоскости с характерным радиальным масштабом  $\Delta_r$  в области минимума бетатронной частоты  $Q_1$ . Изменение фазы бетатронных колебаний при прохождении этого возмущения оценивается соотношением  $\Delta\varphi \approx 2\pi Q_1 n$ , где  $n = \Delta_r / \delta r$  — число оборотов частицы, за которое она перемещается в радиальном направлении на расстоянии  $\Delta_r$ ,  $\delta r$  — радиальное смещение частицы за один оборот. Учитывая, что за один оборот набор энергии протона на 4-й гармонике ВЧ составляет  $4eU_{\text{RF}} \sin(2\psi_d)$ , где  $U_{\text{RF}}$  — ВЧ-напряжение,  $\psi_d$  — угловая протяженность дуанта, получаем  $\delta r / r_1 = 4eU_{\text{RF}} \sin(2\psi_d) / 2E_1$ , где  $E_1$  — энергия протона на орбите с радиусом  $r_1$ .

В результате имеем  $\Delta\varphi \approx \pi Q_1 \left( \frac{E_1}{eU_{\text{RF}} \sin(2\psi_d)} \right) \left( \frac{\Delta_r}{r_1} \right)$ . Параметр  $\alpha$  зависит от изменения фазы  $\Delta\varphi$ : при  $\Delta\varphi \approx 1$  рад  $\alpha \approx 1$ , а при  $\Delta\varphi \gg 1$  рад  $\alpha \approx \exp(-\Delta\varphi) / \Delta\varphi$ . Типичные параметры в центральной области циклотрона С235-V3 следующие:  $\Delta_r \cong 2$  см,  $r_1 \cong 10$  см,  $Q_1 \cong 0,05$ ,  $E_1 \cong 2$  МэВ,  $eU_{\text{RF}} = 0,06$  МэВ,  $\psi_d = 40^\circ$  и  $\Delta\varphi \approx 1$  рад.

Наличие радиальной компоненты в медианной плоскости приводит к двум эффектам. Первый эффект связан с когерентным смещением протонного пучка на  $\Delta z = \frac{r\bar{B}_r}{Q_z^2 B_z}$ . Второй эффект связан с ростом амплитуды некогерентных колебаний, сохраняющихся после прохождения возмущения  $\bar{B}_r$  в области минимума бетатронной частоты, если  $\Delta\varphi \approx 1$  рад.

Отметим, что в условиях центральной области циклотрона С235-V3 характерный масштаб изменения  $\bar{B}_r(r)$  сравним с радиальным размером, на котором происходит половина периода аксиальных колебаний. В результате этого частично сохраняются когерентные колебания пучка, приобретенные им в области минимума бетатронной частоты, несмотря на заметное снижение возмущения радиального поля в области радиусов  $r > 20$  см, и частично происходит трансформация когерентных колебаний пучка в некогерентные колебания отдельных частиц.

Как показывают аналитические расчеты для С235-V3, наличие возмущений радиальной компоненты магнитного поля в средней плоскости с уровнем поля  $\pm 5$  Гс и градиентом  $\pm 3$  Гс/см (кривая 1, рис. 3, а) при  $\Delta\varphi \approx 1$  рад приводит примерно к двукратному увеличению среднеквадратичного аксиального размера пучка на радиусах 20 см по сравнению со случаем, когда  $\bar{B}_r = 0$ . Отметим, что параметр  $\alpha \approx 1$  при  $\Delta\varphi \approx 1$  рад, но его точная величина зависит от конкретного вида функции  $\bar{B}_r(r)$ . Оптимизация функции  $\bar{B}_r(r)$  в области минимума аксиальной частоты (кривая 2 на рис. 3, а) приводит к снижению среднеквадратичного аксиального размера пучка.

### ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ ДИНАМИКИ ПУЧКА

Результаты численного моделирования динамики частиц в центральной области циклотрона С235-V3 в течение первых 30 оборотов приведены на рис. 4 в отсутствие  $\bar{B}_r$  в средней плоскости и для модельных распределений  $\bar{B}_r$  (рис. 3, а). Протонный пучок на радиусе 10 см во всех случаях полностью заполняет апертуру дуантов. Наличие радиальной компоненты приводит к возникновению когерентных аксиальных колебаний. Амплитуда колебаний составляет  $\sim 5$  мм на радиусе 14 см для радиальной компоненты рис. 3, а, кривая 1. Амплитуда этих колебаний уменьшается до 3 мм в случае радиальной компоненты рис. 3, а, кривая 2. Также благодаря наличию  $\bar{B}_r$  в области минимума аксиальной частоты происходит трансформация когерентных колебаний пучка в некогерентные колебания отдельных частиц.

Аксиальные потери были рассчитаны с учетом увеличения апертуры дуантов от 10 мм на радиусе 1,5 см до 20 мм, начиная с радиуса 10 см. Протоны также считались потерянными, если их радиус уменьшался с начального значения 1,6 см до 1 см. Аксиальные потери рассматривались только на дунтах, их потери на секторах магнитной системы не учитывались, так же как и потери на дефлекторе системы вывода.

Наличие  $\bar{B}_r$  в средней плоскости (кривая 1 рис. 3, а) приводит к двукратному увеличению потерь в центральной области ускорителя (таблица). Такой рост аксиальных потерь в сумме с радиальными потерями приводит к снижению интенсивности пучка примерно в 1,5 раза.

Распределение аксиальных потерь протонов по радиусу показано на гистограммах рис. 5. Несмотря на разную форму гистограмм  $b$  и  $v$ , суммарные аксиальные потери

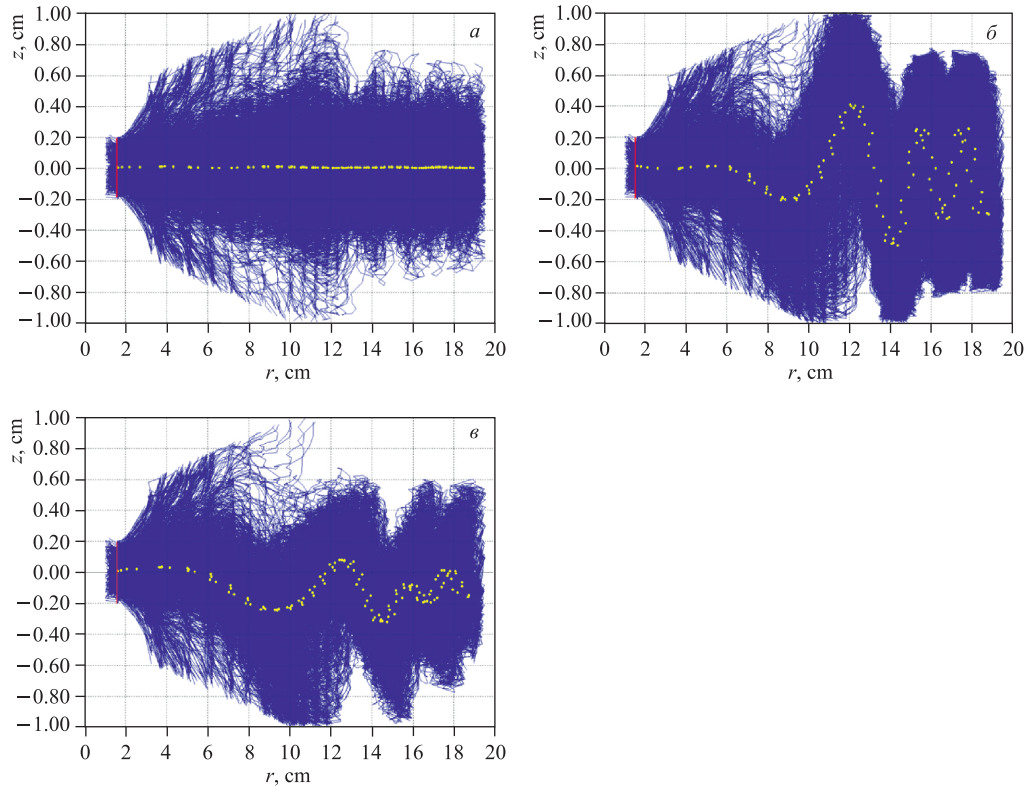


Рис. 4. Аксиальные траектории протонов во время первых 30 оборотов. а)  $\bar{B}_r = 0$ ; б)  $\bar{B}_r$  соответствует кривой 1 на рис. 3, а; в)  $\bar{B}_r$  соответствует кривой 2 на рис. 3, а. Светлыми точками показана траектория центра тяжести протонного пучка

**Расчетное распределение потерянных и захваченных в ускорение протонов в центре циклотрона**

Радиальные потери, %	Аксиальные потери, %	Захвачено в ускорение, %	$\bar{B}_r$
18	21	61	0
18	42	40	Рис. 3, а

протонов с точностью до 1% получились одинаковые. Увеличение потерь на радиусах 10–11 см в случае кривой 2 рис. 3, а компенсируется их отсутствием на радиусах 13–15 см.

Однако в основной области ускорения потери протонов начинают существенно зависеть от распределения  $\bar{B}_r$  в центре циклотрона. Аксиальный среднеквадратичный ( $\pm 2\sigma$ ) размер пучка во всей области ускорения в отсутствие  $B_r$  в средней плоскости и при наличии двух зависимостей  $B_r$  показан на рис. 6. В отсутствие  $B_r$  аксиальный размер

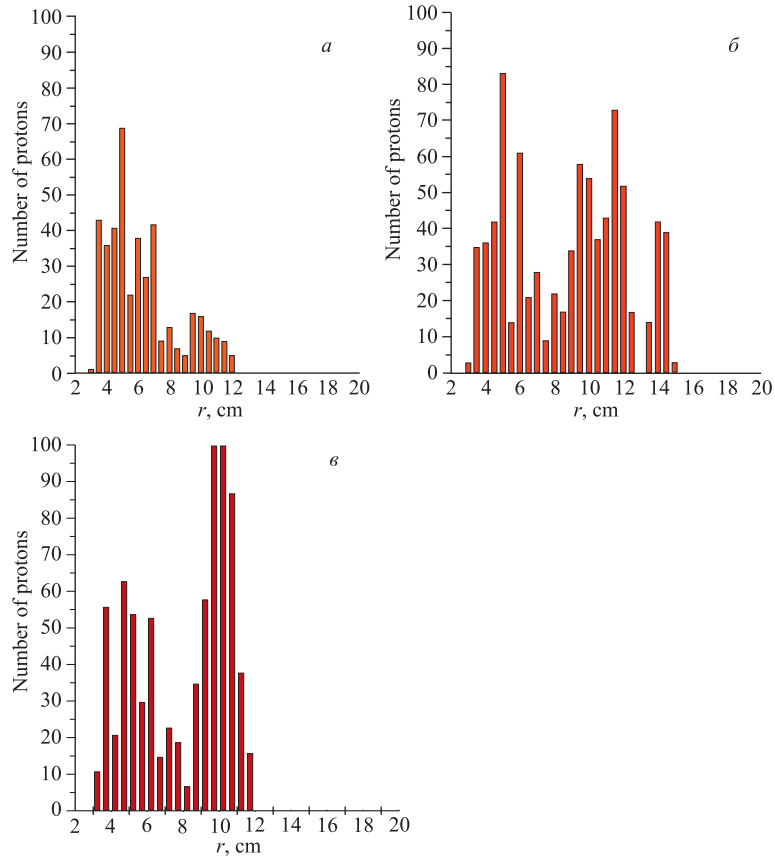


Рис. 5. Распределение аксиальных потерь протонов по радиусу в центре циклотрона: а)  $\bar{B}_r = 0$ ; б)  $\bar{B}_r$  соответствует кривой 1 на рис. 3, а; в)  $\bar{B}_r$  соответствует кривой 2 на рис. 3, а

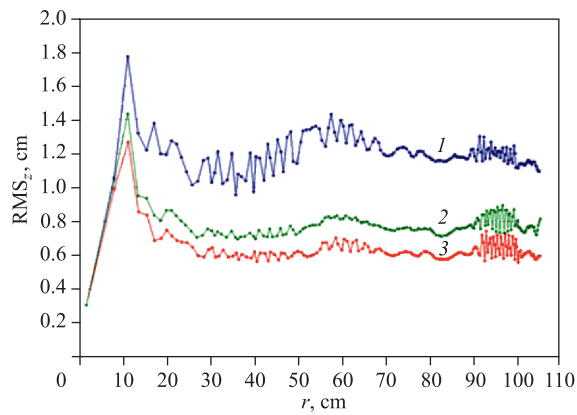


Рис. 6. Зависимость аксиального среднеквадратичного ( $\pm 2\sigma$ ) размера пучка от радиуса: 1 —  $\bar{B}_r$  соответствует кривой 1 на рис. 3, а и кривой на рис. 3, б; 2 —  $\bar{B}_r$  соответствует кривой 2 на рис. 3, а и кривой на рис. 3, б; 3 —  $\bar{B}_r = 0$



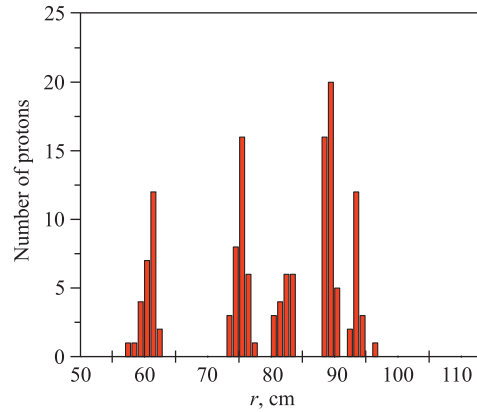


Рис. 7. Распределение потерь пучка в диапазоне радиусов 60–100 см для  $\bar{B}_r$ , соответствующей кривой 1 на рис. 3, а и кривой на рис. 3, б

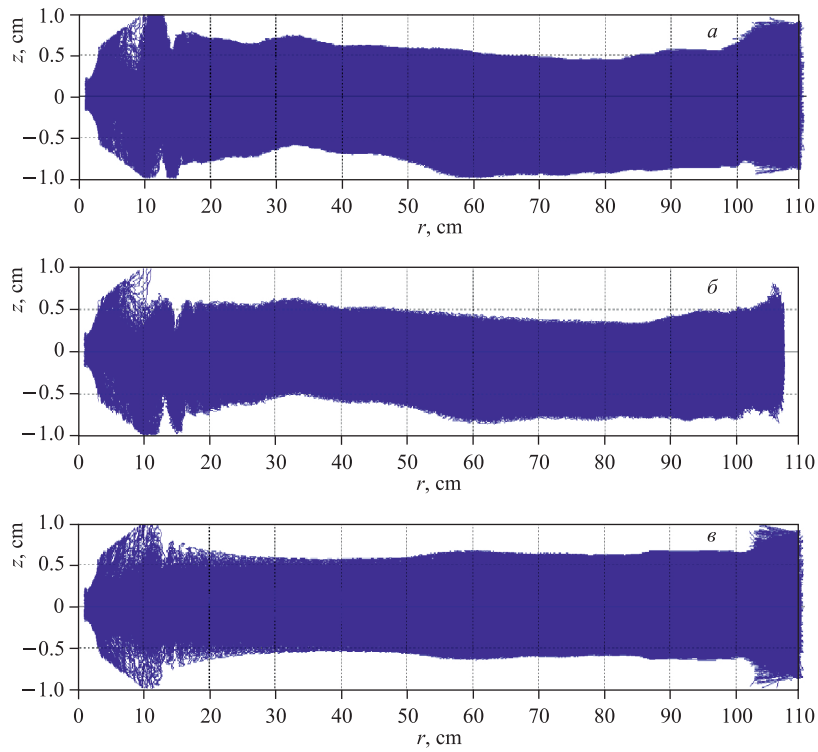


Рис. 8. Профили протонного пучка в плоскости  $(r, z)$ : а)  $\bar{B}_r$  соответствует кривой 1 на рис. 3, а при  $r < 35$  см и кривой на рис. 3, б при  $r > 35$  см; б)  $\bar{B}_r$  соответствует кривой 2 на рис. 3, а при  $r < 35$  см и кривой на рис. 3, б при  $r > 35$  см; в)  $\bar{B}_r = 0$

пучка, начиная с радиуса 30 см, равен 6 мм. Наличие  $B_r$  в центральной области циклотрона в виде кривой 1 рис. 3, а приводит к увеличению аксиального размера до 12 мм и дополнительным потерям 20 % протонов в диапазоне радиусов 60–100 см (рис. 7). Снижение  $B_r$  в области минимума  $Q_z$  (рис. 3, а, кривая 2) вызывает уменьшение размера пучка до 8 мм, при этом потери пучка в диапазоне радиусов 60–100 см отсутствуют, что приводит к увеличению трансмиссии пучка на 20 % в диапазоне радиусов 15–105 см по сравнению с  $\bar{B}_r$ , соответствующей кривой 1 рис. 3, а.

Полные аксиальные профили пучка показаны на рис. 8 для трех вариантов, которые соответствуют кривым среднеквадратичного размера пучка, изображенным на рис. 6.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПУЧКА В ЦИКЛОТРОНЕ С235-V3

В С235-V3 структура магнитного поля в области минимума  $Q_z$  ( $r \sim 10$  см) была впервые оптимизирована среди циклотронов серии С235 с помощью двух процедур: установки шимм-корректоров на секторах и выбора специального несимметричного расположения верхней и нижней центральных втулок магнитной системы. При малых значениях частоты  $Q_z \sim 0,04$  присутствие средней радиальной компоненты магнитного поля приводит к когерентному смещению пучка в соответствии с формулой  $\Delta z = r\bar{B}_r/\bar{B}_z Q_z^2$  и возникновению некогерентных колебаний, сохраняющихся после прохождения возмущения радиальной компоненты поля. В результате этого среднеквадратичный аксиальный размер пучка в диапазоне радиусов 15–20 см в первых экспериментах с пучком составлял  $\sim 17$ –18 мм (рис. 9, кривая 1), что сравнимо с вертикальной апертурой 20 мм дуантов ускорителя.

В результате оптимизации центральной области циклотрона аксиальный размер протонного пучка в диапазоне радиусов 15–20 см был уменьшен в два раза и составил

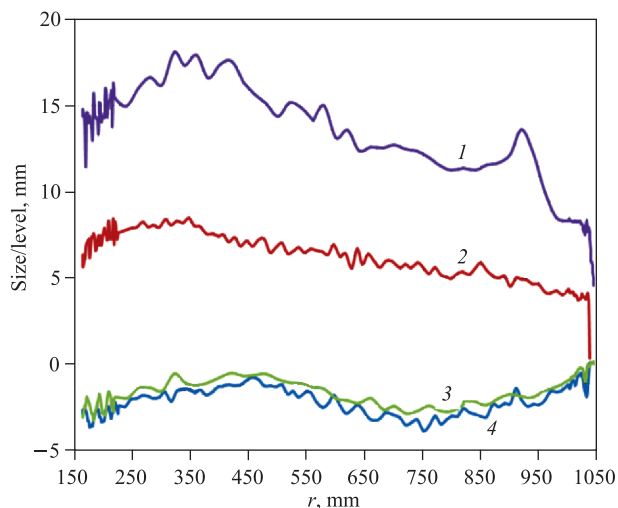


Рис. 9. Аксиальный среднеквадратичный размер пучка (1, 2) и положение его центра тяжести (3, 4), начиная с радиуса 150 мм. 1, 3 — до оптимизации магнитного поля; 2, 4 — после оптимизации

~ 7–8 мм (рис. 9, кривая 2). Это привело к тому, что эффективность ускорения в циклотроне С235-V3 была увеличена до 72 % без установки диафрагмы, ограничивающей вертикальную апертуру.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование динамики пучка показало, что оптимизация радиальной компоненты магнитного поля в области минимальной аксиальной фокусировки приводит к уменьшению аксиального размера пучка в 1,5 раза и увеличению его трансмиссии на 20 % в диапазоне радиусов 15–105 см.

В результате экспериментальной оптимизации структуры магнитного поля в центральной области циклотрона эффективность ускорения протонного пучка без установки диафрагмы, ограничивающей вертикальную апертуру, достигла 72 %, что позволило примерно в 1,5 раза увеличить ток ускоренных протонов на входе в дефлектор С235-V3 по сравнению с серийным циклотроном С235.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Karamysheva G. et al.* Development of the IBA–JINR Cyclotron C235-V3 for Dimitrovgrad Hospital Center of the Proton Therapy // Proc. of the Intern. Part. Accel. Conf. «IPAC'10», San-Sebastian, Spain, 2011. WEPS085. P. 2706–2708.
2. *Kostromin S. et al.* Development of the IBA–JINR Cyclotron C235-V3 for Dimitrovgrad Hospital Center of the Proton Therapy // Proc. of the Rus. Part. Accel. Conf. «RUPAC 12», Saint-Petersburg, Russia, 2012. P. 221–223.
3. *Kostromin S., Syresin E.* Trends in Accelerator Technology for Hadron Therapy // Phys. Part. Nucl., Lett. 2013. V. 10, No. 7. P. 833–853.

Получено 6 февраля 2014 г.