

Безногих Ю.Д. и др.
Б2-9-9203.

+

✓



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С345 е

Б-399

Б2-9-9203

4657/75

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 75

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

Ю.Д. Безногих, Г.А. Боков, В.Н. Буддаковский, М.А. Воеводин,
В.И. Волков, Е.Д. Донец, В.П. Заболотин, Л.П. Зиновьев, А.С. Исаев,
И.Б. Иссинский, Г.С. Казанский, Н.А. Коруков, Б.Н. Кузихин, ✓
С.С. Нагдасев, С.А. Новиков, Л.Г. Макаров, В.А. Мончинский,
В.Н. Перфеев, И.Н. Семенюшкин, С.В. Федуков, В.Н. Черников,
К.В. Чехлов, Д.И. Шерстянов, И.Н. Яловой.

Б2-9-9203

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

(II квартал 1975 г.)

Руководитель лаборатории
В.И. Волков
26 сентября 1975

Объединенный институт
высоких энергий
БИБЛИОТЕКА

Дубна, 1975 г.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

стр

1. Введение.....	I
2. Магнитные измерения.....	2
3. Геодезические измерения.....	5
4. Синхрофазотрон и интенсивность.....	7
5. Вывод пучка.....	9
6. Вакуум на ускорителе.....	10
7. Ионный источник "Крион" на инжекторе ЛУ - 9М.....	II

I. Введение.

Во втором квартале 1975 г. синхрофазотрон ОИЯИ отработал на эксперимент 1049 часов (85.3 %) из планируемых 1229 часов. Из них на дальнейшее изучение и совершенствование систем ускорителя затрачено 396 часов (32.3 %). Средняя интенсивность после 100 мс ускорения составила: протоны - 1.8×10^{11} частиц в цикле, дейтроны - 6.0×10^{10} , ядер гелия - 5.0×10^8 .

В апреле в течение 160 часов рабочего времени ускорителя проводились магнитные измерения показателя магнитного поля \mathcal{N} при рабочей скорости нарастания поля - $\dot{B} = 4000$ Гс/с.

Продолжался геодезический контроль опорного "куста" реперов и рабочих объектов. Измерениями охвачена рабочая сеть зала синхрофазотрона, измерительного павильона, экспериментального зала - корпус IB, осадочная сеть подвала синхрофазотрона. Был сделан один цикл измерений стабильности положения электромагнита синхрофазотрона.

В результате продолжающихся работ по корректированию показателя поля \mathcal{N} и исследованию динамики ускоряемого пучка интенсивность после 100 мс ускорения увеличена до 1.5×10^{12} прот./цикл.

Получены хорошие результаты при трассировке пучка, выводимого на пузырьковые камеры. Продолжается работа над системой управления медленным выводом на базе использования ЭВМ ЕС 1010.

Высоковакуумная камера ускорителя является одним из узлов, требующих повседневного внимания. Работа по улучшению вакуума проводилась всегда, но особенно важное значение она приобрела в настоящее время, в условиях ускорения ядер.

На ионном источнике "Крион" для сокращения времени ионизации ядер были проведены эксперименты с электронным пучком высокой плотности (~ 150 А/см²).

2. Магнитные измерения.

Показатель магнитного поля измерялся в условиях рабочей скорости нарастания магнитного поля $\dot{B} = 4000$ Гс/с с помощью баллистического гальванометра по известной методике /1/.:

- а) При $B = 230$ Гс в плоскости Z_0 на 90 полюсах кольца электромагнита (ЭМ) с шагом 10 см и в плоскостях Z_0 и $Z_0 \pm 10$ см на 4-х полюсах с шагом 5 см.
- б) При $B = 310, 400 + 450, 550$ Гс в плоскости Z_0 на 6-ти полюсах.
- в) При $B = 160$ Гс в плоскости Z_0 на 8-ми полюсах.
- г) В начале апрельской остановки синхрофазотрона проведено измерение показателя поля n ст остаточного поля после отключения ЭМ ускорителя после цикла размагничивания с током 800 А на 40-ка полюсах в плоскости Z_0 с шагом 10 см.

Относительная точность измерений

$$\frac{\delta n}{n} = \pm 1.9 \%$$

В результате магнитных измерений при $B = 230$ Гс на 90 полюсах ЭМ построены усреднённые кривые показателя поля n для каждого квадранта (Рис.1,2,3,4) и кольца в целом (Рис.5). Кривая показателя поля n для кольца синхрофазотрона учитывает влияние остаточного поля (Δn_0) и возмущения, вносимого материалом 8-ми измерительных электродов, установленных на поверхности полюсов ЭМ (Δn_9). Из таблицы I видно, что показатели поля квадрантов отличаются один от другого. В некоторых областях радиусов имеет смысл проведение корректирования.

Разброс значений показателя поля n различных полюсов на одном и том же радиусе квадранта даёт т.н. "полосу" значений n . При этом наибольший разброс значений наблюдается на краю рабочей области (0.05 и более), в то время как внутри её величины показателя поля n укладываются в области 0.03 + 0.06.

6 полюсов кольца, а именно: № 40 (I квадрант), № 4,8 (II ква-

дрант), № 2, 31, 45 (III квадрант) имеют характер показателя поля сильно отличающийся от других полюсов квадрантов кольца. Особенно сильное искажение имеется на полюсе № 2 III квадранта. Вероятной причиной искажения можно предположить появление контуров токов на этих полюсах: на полюсе № 2 (III кв.) замыкание рельс на элементы камеры на радиусах $R_0 \pm 50$ см, на полюсе № 40 (I кв) - то же самое, но только на наружном радиусе $R_0 + 50$ см.

Следующий этап измерений, хотя и охватывал всего лишь 4 полюса из 190 (по одному полюсу квадранта), но измерения проводились в трёх плоскостях Z_0 , $Z_0 \pm 10$ см с малым шагом 5 см. На трёх из четырёх полюсов в плоскостях $Z_0 \pm 10$ см обнаружены области с резким знакопеременным характером изменения показателя поля n . Амплитуда их 0.05 - 0.12, а протяжённость по радиусу не превышает 10 см. Особенно резкие выбросы наблюдаются в области радиусов $R_0 \pm 15$ см. Это - центральная область захвата пучка в режим ускорения и ускорения его на начальном этапе. График на рис.6 показывает, что если в плоскости Z_0 на всех радиусах $n = 0.68$, то на $R_0 + 5$ см частицы с амплитудой вертикальных колебаний > 10 см будут чувствовать $n = 0.75$. Т.о. на трёх близких радиусах пучок при ускорении будет проходить три опасные резонансные области, что может привести к потере частиц. Величины и амплитуды искажений на полюсах различны, но закономерность повторяется, что и позволяет дать усреднённую картину (Рис.6), на которой выделяются конкретные радиусы искажений. Всё это позволяет предположить одну и ту же причину искажений. Появление искажений при удалении от плоскости Z_0 по направлению к поверхности полюсов может быть объяснено наличием конструктивных отверстий в пакетах железа в районе радиусов $R_0 \pm 10$ см, $R_0 \pm 30$ см, $R_0 \pm 50$ см, заполненных материалом, в котором развиваются вихревые токи при \dot{B} . При изучении запасного полюса было действительно установлено, что шпильки,

стягивающие листы железа в пакетах, находятся на следующих радиусах: $R_0 \pm 17.5$ см, $R_0 \pm 52.5$ см и $R_0 \pm 87.5$ см. Причина искажений может быть выяснена, если демонтировать и исследовать один из рабочих полюсов ЭМ, тогда же может быть решен вопрос и об устранении её. Корректирование искажений показателя магнитного поля n на различных высотах в зазоре ЭМ представляет большую сложность.

Магнитные измерения, проведённые ранее, при увеличенной скорости нарастания магнитного поля $\dot{B} = 16000$ Гс/с, показывают появление аномального выброса в показателе магнитного поля n в плоскости Z_0 в области центрального радиуса R_0 на IV квадранте и отсутствие подобного рода искажений на III квадранте ускорителя /1,2/. Для исследования этого явления в данном сеансе измерений проводилось снятие характера показателя магнитного поля n при рабочей скорости нарастания магнитного поля $\dot{B} = 4000$ Гс/с, поле $B = 230$ Гс, в плоскости Z_0 и $Z_0 \pm 10$ см. При этом полюса на III и IV квадрантах были взяты те же, что и в измерениях, проведённых в 1974 г. /1,2/, но был уменьшен шаг измерений до 5 см, и в дополнение были обмерены полюса на I и II квадрантах. В результате оказалось, что присутствие аномального выброса в показателе магнитного поля подтверждается и при рабочей скорости нарастания магнитного поля только на I, II и IV квадрантах, на III квадранте аномальных выбросов, как и во время ранее проведённых измерений не обнаружено. Речь во всех случаях идёт о центральной области в районе радиуса R_0 .

Всё это позволяет сделать следующие выводы:

а) появление выброса в показателе поля n в области R_0 и в плоскости Z_0 при $\dot{B} = 16000$ Гс/с и появление аналогичных выбросов в плоскостях $Z_0 \pm 10$ см при $\dot{B} = 4000$ Гс/с вызваны одной и той же причиной;

б) на III квадранте (по крайней мере на многих его полюсах) отсутствуют выбросы в показателе поля n в плоскостях, отличных от Z_0 при $\dot{V} = 4000$ Гс/с.

Следующий этап измерений ставил своей целью измерение поведения показателя поля n при рабочей скорости $\dot{V} = 4000$ Гс/с в диапазоне полей $160 + 550$ Гс.

В результате измерений отмечается, что на полях больше, чем 230 Гс величина n на одинаковых радиусах несколько уменьшается. При $V = 310$ Гс (20 мс после включения ускоряющего напряжения) n уменьшается до 0.01, на радиусе инжектора - до 0.03. На полях $400 + 450$ Гс (40 + 60 мс после включения ускоряющего напряжения) уменьшение доходит до 0.015, а на поле $V = 550$ Гс (80 мс от включения в.ч.) - до 0.02, а на радиусе инжектора - до 0,03 + 0.04.

При $V = 160$ Гс (поле инъекции ЛУ - 9М) характер n значительно отличается от поведения n при $V = 230$ Гс (поле инъекции ЛУ - 20) (Рис.7). В области $R_0 \pm 60$ см различие носит линейный характер. На радиусе $R_0 \pm 65$ см скорость изменения увеличивается так, что при $V = 230$ Гс кривая показателя поля имеет более пологий характер, чем при $V = 160$ Гс. Это существенно облегчает условия корректирования n . И при ускорении без корректирования n должны уменьшаться и потери относительно поля $V = 160$ Гс, что и подтверждается последующими экспериментами.

3. Геодезические измерения.

Во втором квартале 1975 г. продолжались геодезические измерения наблюдаемых объектов синхрофазотрона. В ниже приводимой таблице даются данные результатов измерений геодезических сетей объектов и средние квадратические погрешности.

Здесь: K - число циклов измерений,

δ_n - средняя квадратическая погрешность.

Объект измерений	K	δ_n	
1) Опорная сеть: "куст" реперов	8	± 0.025	
2) Рабочая сеть: а) зал синхрофазотрона	I	± 0.023	
б) экспериментальный зал - к. IB	I	± 0.030	
в) измерительный павильон	I	± 0.030	
3) Осадочная сеть: подвал синхрофазотрона	I	± 0.030	
4) зал синхрофазотрона: а) перекоз полюсов электромагнита	I	± 0.056	★
б) положение медианной плоскости	I	± 0.056	★

★ - средняя вквadraticеская погрешность уравненных превышений.

Наблюдения за стабильностью "куста" реперов дали следующие максимальные отклонения реперов от средней плоскости:

№ репера	S_T мм	S_a мм
I	- 0.13	+ 0.07
2	+ 0.04	- 0.04
3	+ 0.09	+ 0.13
4	+ 0.07	+ 0.05

Здесь: S_T мм - текущая осадка последнего цикла измерений по отношению к предыдущему;

S_a мм - абсолютная осадка последнего цикла измерений по отношению к первому от начала наблюдений.

В зале синхрофазотрона измерения текущих осадок по вы-
сотной сети дают следующее:

а) по внутреннему кольцу в районе I и II

квadrантов $S_T = + 0.20$ мм;

б) в районе III и IV квадрантов $S_T = 0$

б) по внешнему кольцу сети по всем квадрантам

$S_T = + 0.30$ мм.

Данные результатов измерений при наблюдении за стабиль-
ностью положения магнита синхрофазотрона приводятся ниже:

Квадрант	Радиус мм	S_T мм
I	$R_o - 800$	+ 0.25
	$R_o + 800$	-
II	$R_o - 800$	+ 0.20 + 0.50
	$R_o + 800$	- 0.30
III	$R_o - 800$	+ 0.10 + - 0.10
	$R_o + 800$	- 0.10 + + 0.10
IV	$R_o - 800$	+ 0.20 + - 0.30
	$R_o + 800$	+ 0.30

Наблюдения за стабильностью положения магнита синхрофазотрона
продолжаются.

4. Синхрофазотрон и интенсивность .

Целью проводимых работ по исследованию динамики пучка и
оптимизации режимов отдельных систем ускорителя по-прежнему
остаётся повышение интенсивности ускоренного пучка. Для этого
корректирование показателя магнитного поля производится толь-
ко одной системой РЗМИ - 2. Корректирование азимутальной асим-
метрии осуществлено при помощи питания соответствующих обмоток

от импульсных источников с программным управлением для формирования динамического роста тока в обмотках коррекций. Инжектор ЛУ - 20 работал совместно с разгруппирователем, режим работы которого включал и модулирование энергии инжектируемых в камеру частиц. Амплитуда высокочастотного напряжения на ускоряющем электроде была установлена равной 27.5 кВ.

В сеансе работы 27 мая с.г. после 100 мс ускорения была получена интенсивность ускоренного пучка протонов 1.5×10^{12} частиц в цикле. При этом величина захвата в режим ускорения и панорама потерь выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} N_{\beta} &= (5.0 + 5.6) \times 10^{12} \text{ прот./цикл} \\ J_{3.0\text{мс}} &= (2.5 + 2.6) \times 10^{12} \text{ - " -} \\ J_{20.0\text{мс}} &= (2.0 + 2.1) \times 10^{12} \text{ - " -} \\ J_{100.0\text{мс}} &= (1.4 + 1.5) \times 10^{12} \text{ - " -} \end{aligned}$$

Из приведённых соотношений можно видеть, что величина потерь пучка заряженных частиц после формирования ускоряемого сгустка составляет всего лишь 40 %. Эти данные стало возможным получить в результате:

- а) оптимальной настройки модулятора энергии, в результате чего были получены минимальные амплитуды свободных колебаний;
- б) введения в коррекцию показателя поля N азимутальных гармоник;
- в) введения динамического роста тока в обмотках коррекции азимутальной асимметрии.

При работе по корректированию поля ускорителя вся информация о характере показателя поля N получается непосредственно по измерениям на пучке (Рис. 8,9). Кривые, полученные здесь

характеризуют усреднённое по азимуту значение величины показателя поля $n = f(r)$ в сеансах работы 21 июня с.г. и 28 мая с.г., когда на синхрофазотроне была получена максимальная интенсивность $-(1.4 + 1.5) \times 10^{12}$ прот/цикл. после 100.0 мс ускорения. При анализе кривых n , в том числе и полученных в предыдущие сеансы работы /3/, можно заметить, что характер показателя поля $n = f(r)$ в рабочей области стал более пологий, и оказалось, что основную роль в уменьшении темпа потерь при ускорении играют азимутальные гармоники $n(r) = \psi(\theta)$.

В настоящее время ещё не представляется возможным утверждать, что коррекции магнитного поля, вводимые системой РЗМИ - 2, являются полностью оптимальными. В частности, азимутальные вариации добавок, вносимых в магнитное поле ускорителя, имеют ярко выраженный нелинейный характер, имеется в виду зависимость $n = f(r)$. На данном этапе исследований динамических коррекций и их влияния на потери интенсивности такие добавки быстрее приводят к эффекту, так как с их помощью проще вносятся азимутальные вариации в производные магнитного поля второго и третьего порядков, ответственных за возбуждение резонансов /4,5/.

5. Вывод пучка.

В течение II квартала система медленного вывода проработала на физический эксперимент 506 часов. Работа велась с протонами, дейтронами и ядрами гелия.

Была продолжена работа по внутренней трассировке пучка, выводимого на пузырьковые камеры. Цель работы - уточнить положение отверстия для выхода пучка из вакуумной камеры первого квадранта ускорителя. Установлено, что, с изменением радиального положения магнита - дефлектора (МД), отклоняющего пучок к наружной стенке камеры, его траектория в этой области меняется как по положению, так и по кривизне в достаточно ши-

роких пределах. В дальнейшем это должно обеспечить прохождение выводимого пучка через патрубок с поперечным диаметром порядка 200 мм. Результаты измерений траекторий пучка, полученных облучением фотоплёнок, приводятся ниже:

Положение МД (мм)	Координаты пучка в окне 9 (мм)	Координаты пучка в окне 10 (мм)
$R_0 - 500$	$R_0 + 845$	$R_0 + 989$
$R_0 - 600$	$R_0 + 845$	$R_0 + 950$

В соответствии с планом создания системы управления медленным выводом на базе ЭВМ ЕУ 1010 были проведены следующие работы:

а) с помощью программного имитатора произведена отладка программы - диспетчера приёма информации с датчиков системы медленного вывода в автономном режиме;

б) смонтированы линии двухсторонней связи между пультом управления медленным выводом и ЭВМ.

7. Вакуум на ускорителе.

В период апрельской остановки синхрофазотрона был демонтирован сильфонный компенсатор на участке вывода и устранена труднодоступная течь в высоковакуумный объём камеры. В результате вакуум на участке вывода установился 2.0×10^{-6} тор.

Вакуум в основных объёмах ускорителя следующий:

Камера (Р - 20)	-	2.0×10^{-6}	тор
ЛУ - 20	-	5.0×10^{-7}	"
ЛУ - 9	-	2.0×10^{-7}	"

Продолжалась работа с насосами безмасляной откачки: насосом НЭМ - 300 в трубе диаметром 250 мм и длиной 6.5 м получен предельный вакуум 6.0×10^{-9} тор. после прогрева трубы в течение 32 -х часов при температуре + 180°C.

7. Ионный источник "Крион" на инжекторе ЛУ - 9М.

Для уменьшения времени ионизации в источнике была увеличена плотность тока электронного пучка /3/. Эксперименты проводились в данном квартале с электронным пучком плотностью $\sim 150 \text{ А/см}^2$. Они показали, что ионы удерживаются таким пучком, по крайней мере, несколько миллисекунд. Однако на выходе из источника ионы высаживаются в основном на вытягивающем электроде. Эксперименты по трассировке пучка показали, что в этом случае ионы вытягиваются через боковую стенку электронного пучка, что и приводит к резкому искажению траектории ионов. Эксперименты по корректировке траектории электронного и ионного пучков перенесены на стенд. На источнике "Крион" возобновлены эксперименты при плотности электронного пучка $\sim 30 \text{ А/см}^2$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Безногих Ю.Д. и др. ОИИИ, Б1-9-8460, Дубна, 1974 г.
2. Безногих Ю.Д. и др. ОИИИ, Б2-9-8513, Дубна, 1974 г.
3. Безногих Ю.Д. и др. ОИИИ, Б2-9-8999, Дубна, 1975 г.
4. Безногих Ю.Д. и др. ОИИИ, Р9-9115, Дубна, 1975 г.
5. Безногих Ю.Д. и др. ОИИИ, Р9-9120, Дубна, 1975 г.

Таблица I

Зависимость изменения показателя магнитного поля (Δn)
в квадрантах от радиуса относительно усреднённого
значения показателя поля n кольца.

$$B = 230 \text{ Гс}, \quad \dot{B} = 4000 \text{ Гс/с.}$$

КВ Δr см	I	II	III	IV
+ 65	+0.005	+0.005	-0.020	-0.010
+ 60	+0.010	+0.010	-0.015	-0.015
+50	+0.010	+0.010	-0.015	-0.005
+ 40	+0.010	+0.010	0.000	-0.005
+ 30	+0.020	-0.005	0.000	-0.010
+ 20	+0.015	-0.025	0.000	-0.005
+ 10	+0.005	-0.015	0.000	+0.005
R_0	+0.005	0.000	-0.005	+0.010
- 10	+0.010	+0.005	-0.005	+0.005
- 20	+0.015	+0.010	-0.005	-0.020
- 30	0.000	+0.010	-0.010	-0.005
- 40	0.000	0.000	0.000	-0.005
- 50	-0.005	-0.010	+0.005	0.000
- 60	0.000	-0.005	+0.005	+0.005
- 65	-0.005	-0.005	+0.005	0.000

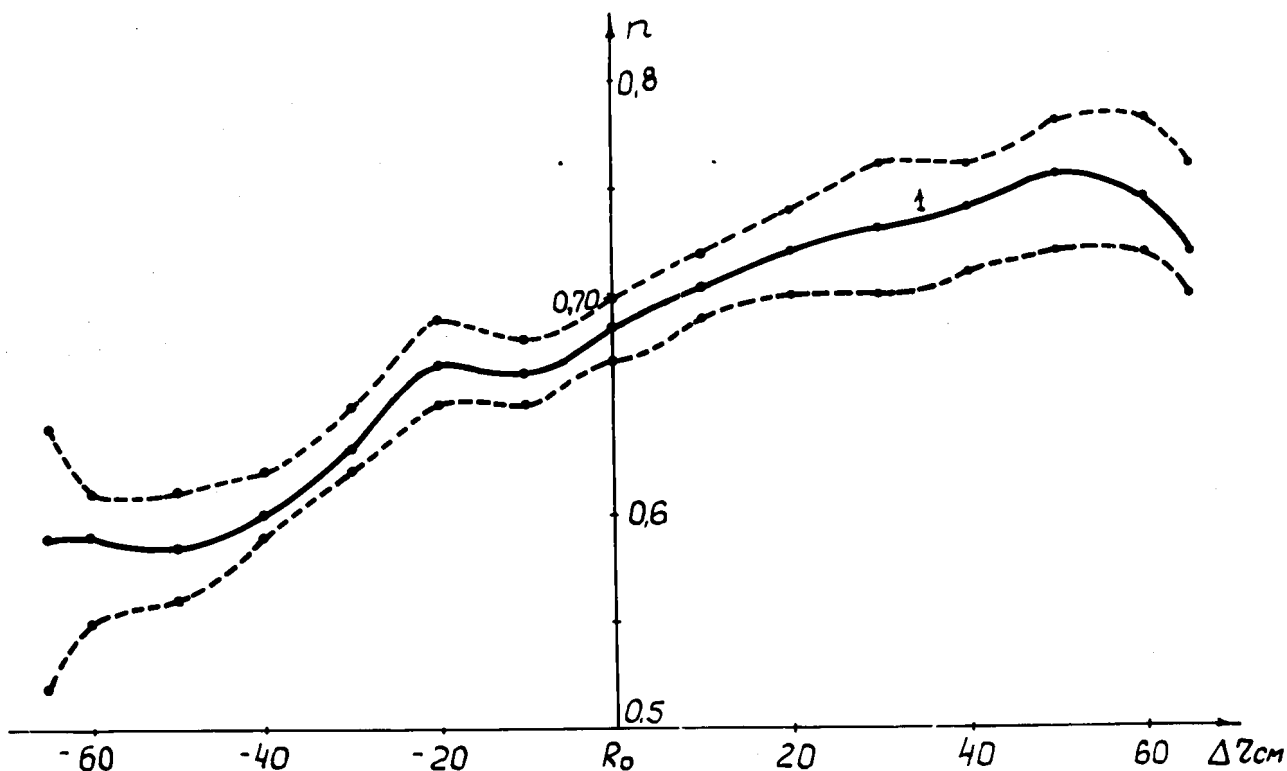


Рис. I. Усреднённое значение показателя поля n для I квадранта в плоскости Z_0 построено внутри т.н. "полосы значений" — области разброса по полюсам.
 $B = 230$ Гс, число обмеренных полюсов — 22.
шаг измерений — 10 см.

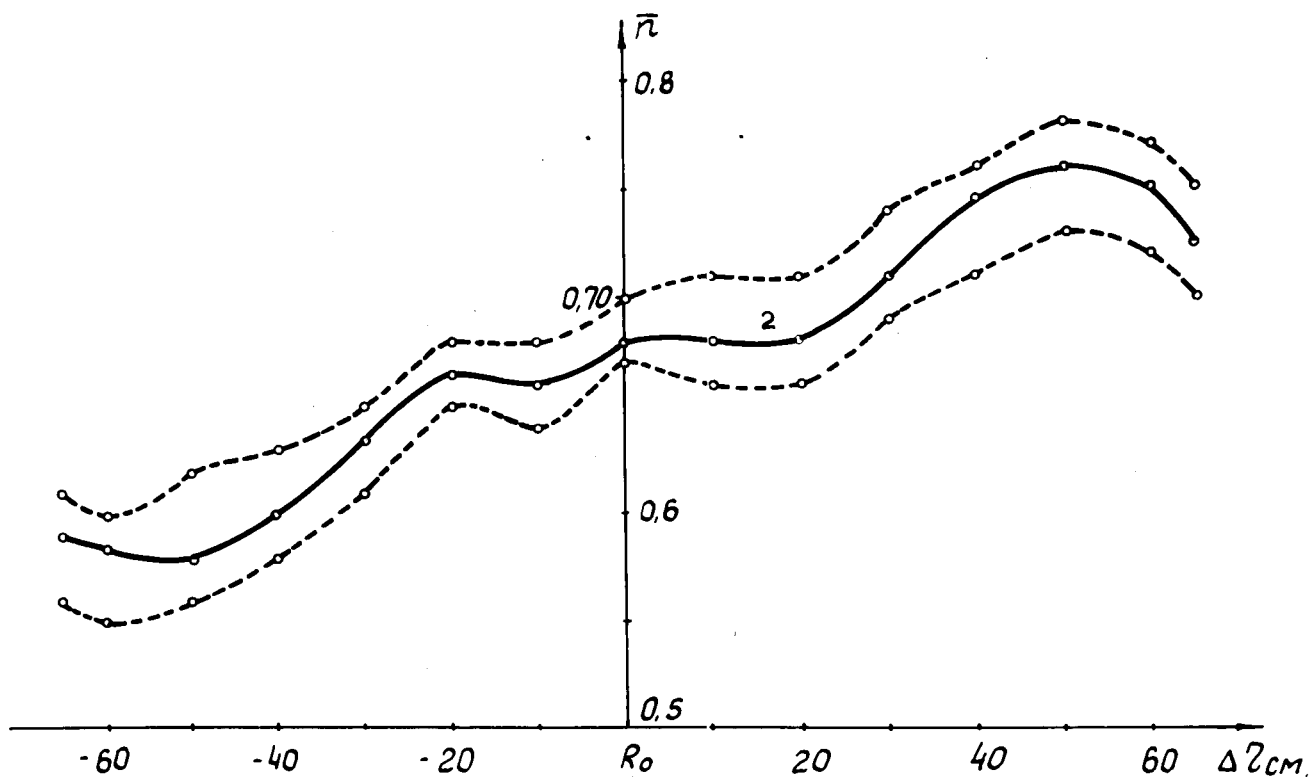


Рис. 2. То же , что и на Рис.1, но для II квадранта
 $B = 230$ Гс, число обмеренных полюсов - 21.

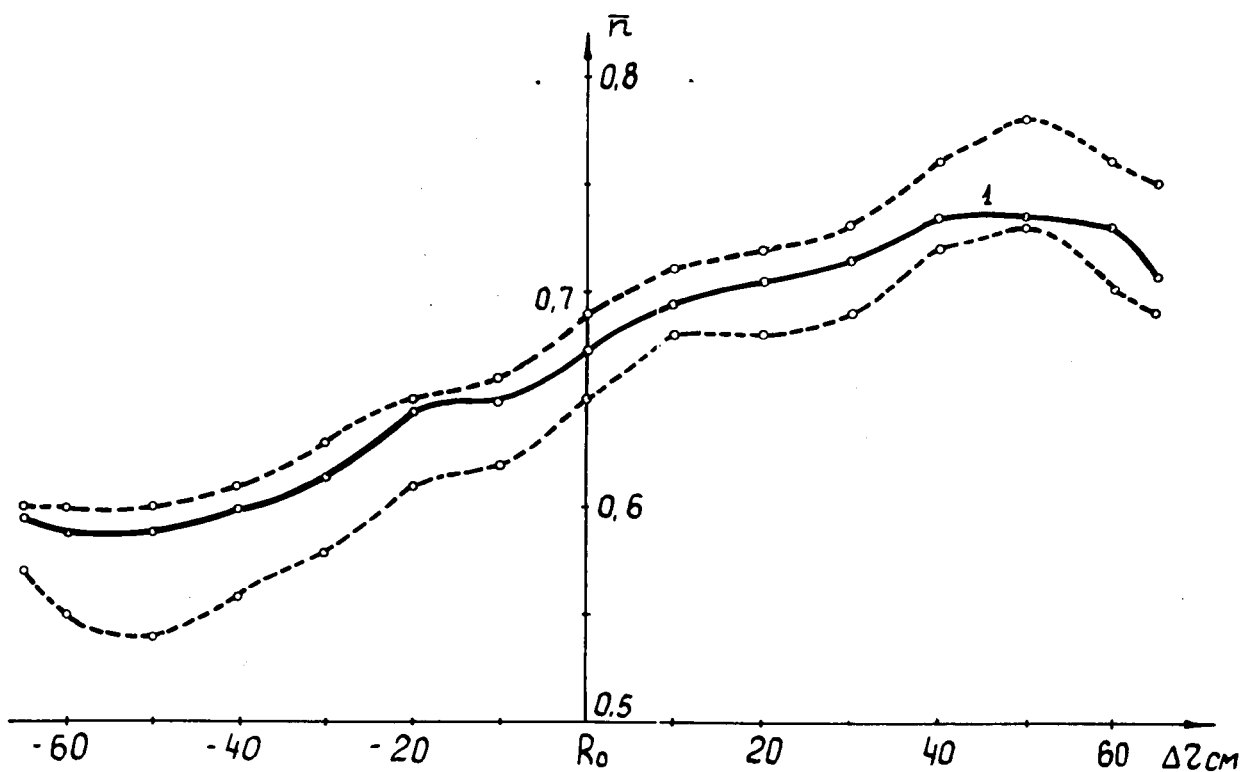


Рис.3. То же , что и на рис I, но для III квадранта.
 $B = 230$ Гс, число обмеренных полюсов - 26.

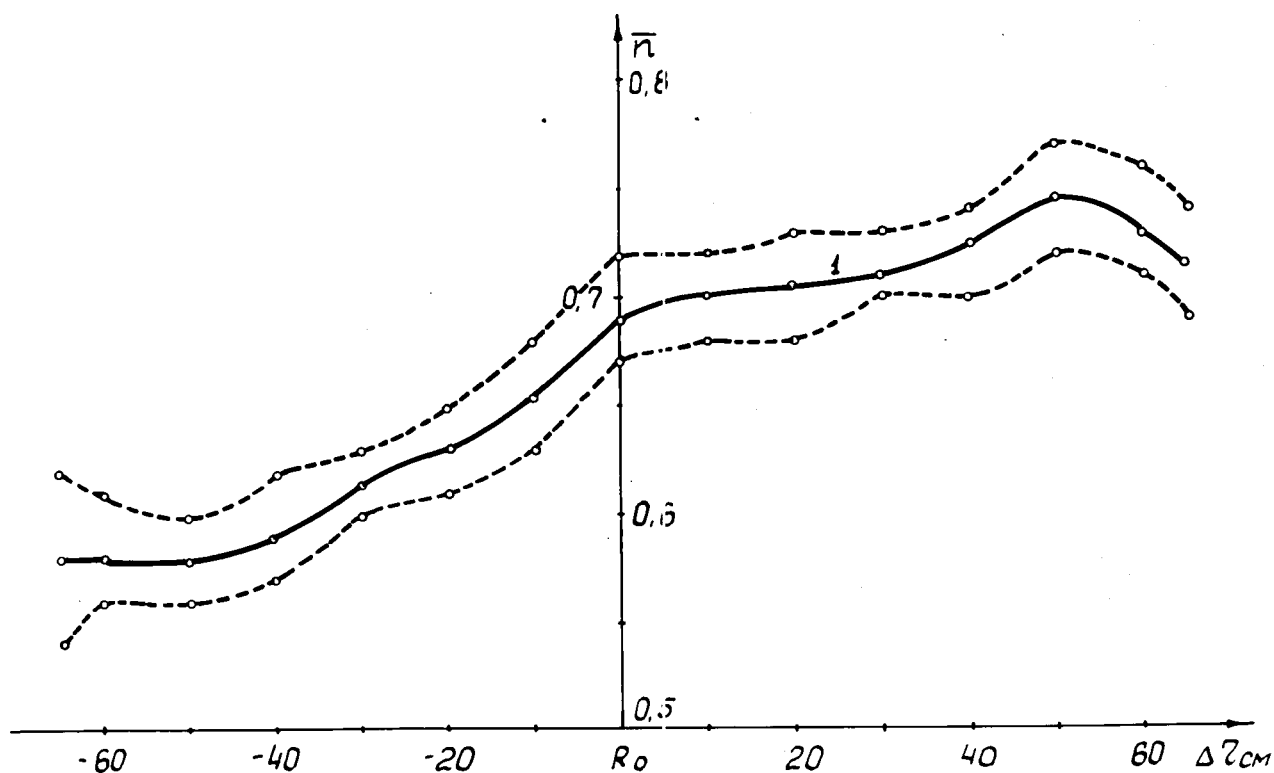


Рис.4. То же , что и на Рис.1, но для IV квадранта.
 $B = 230$ Гс, число обмеренных полюсов - 21.

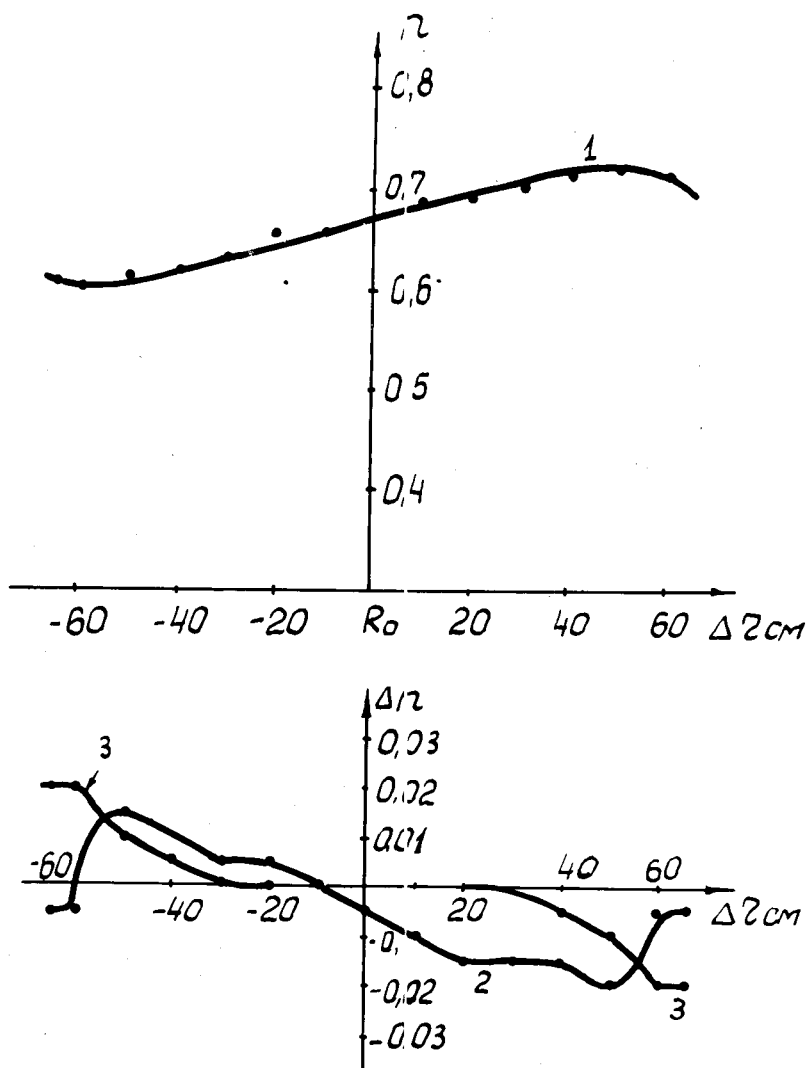


Рис. 5. 1 - усреднённое значение показателя поля n , по кольцу ЭМ по 90 полюсам, с учётом влияния Δn_0 остаточного поля и Δn_9 сигнальных электродов. 2 - значение показателя поля от остаточного. $-\Delta n_0$. 3 $-\Delta n_9$ - возмущение от сигнальных электродов.
 $\dot{B} = 4000$ Гс/с.

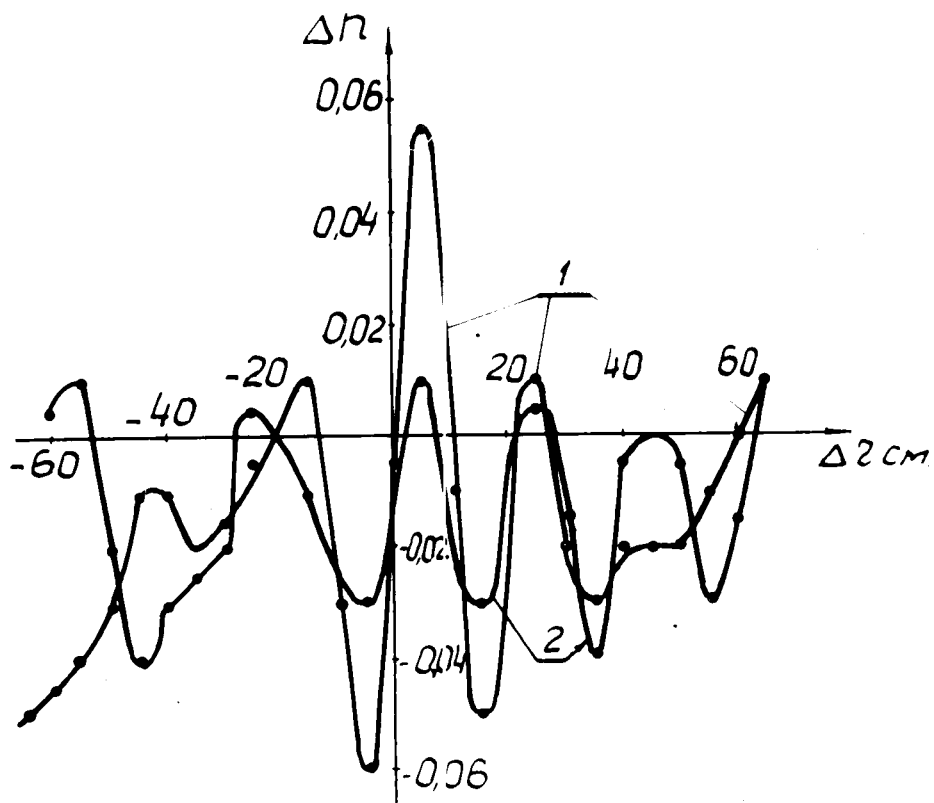


Рис. 6. Усреднённое значение изменения показателя магнитного поля Δn по 4 - м полюсам в плоскости $z_0 \pm 10$ см, относительно плоскости z_0 .

$$B = 230 \text{ Гс.}, \quad \dot{B} = 4000 \text{ Гс/с.}$$

1 - Δn в плоскости $z_0 + 10$ см,
 2 - то же, но для $z_0 - 10$ см.

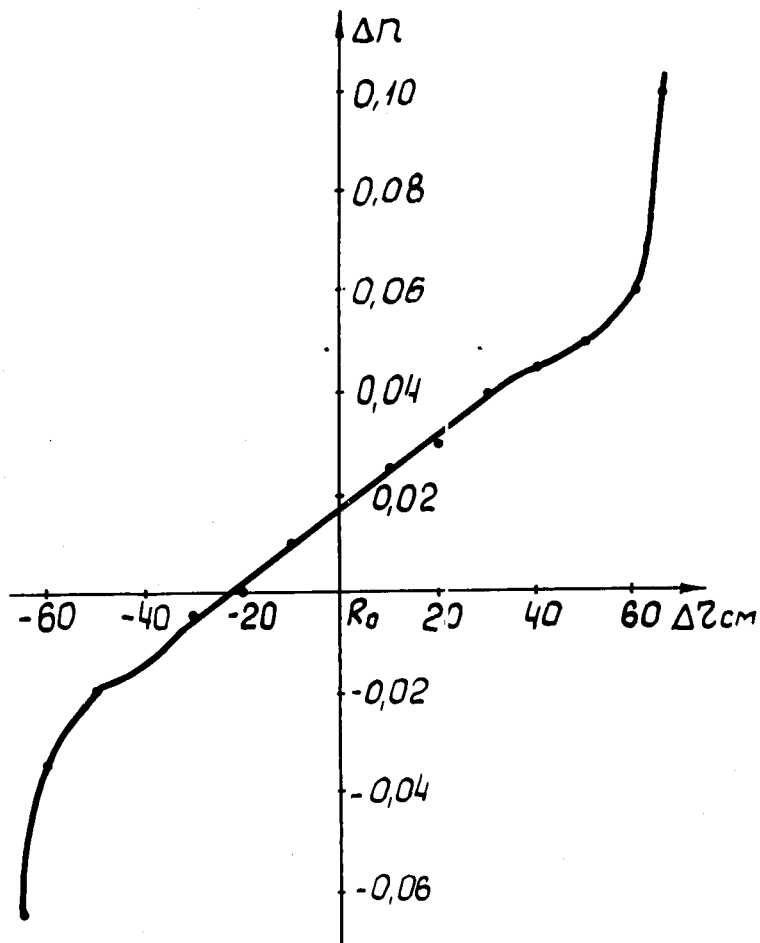


Рис. 7. Усреднённое по 8-ми полюсам изменение показателя поля $-\Delta n$ при $V = 160$ Гс относительно $V = 230$ Гс. Плоскость Z_0 , $\dot{V} = 4000$ Гс/с.

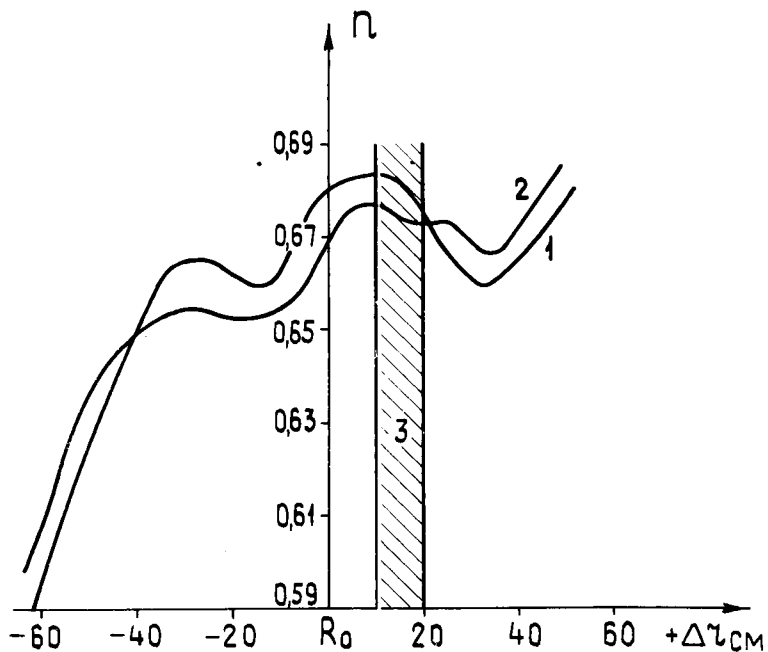


Рис. 8. Усреднённое по азимуту (по кольцу) значение показателя поля n 28 мая 1975 г.

$$I_{100.0 \text{ мс}} = 1.5 \times 10^{12} \text{ прот./цикл.}$$

- 1 - показатель поля n через 10 мс после начала ускорения,
 2 - то же, через 50.0 мс,
 3 - область положения центра тяжести заряда пучка.

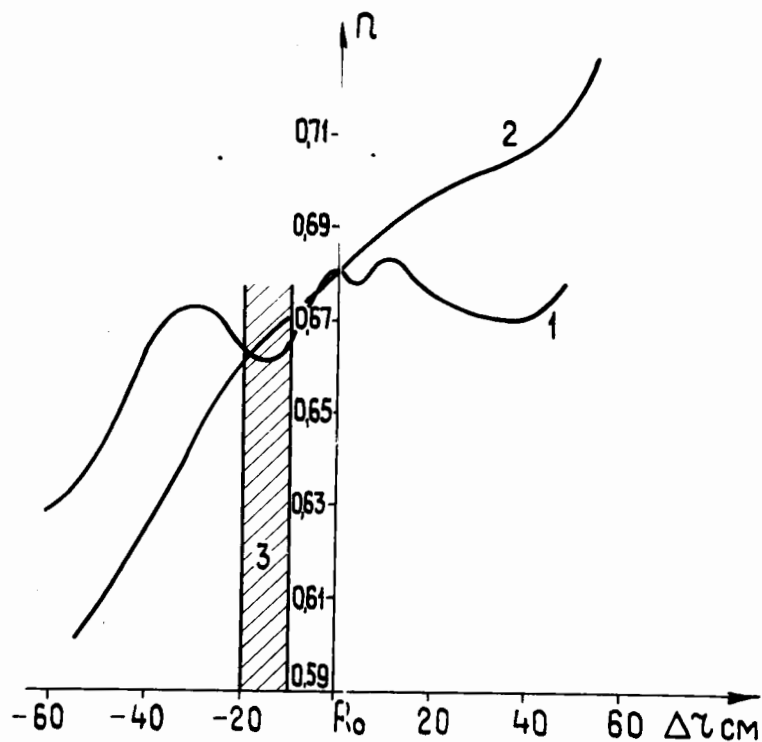


Рис.9. 1 - усреднённое по кольцу значение показателя поля n 21 июня 1975 г. $\int_{100,0 \text{ мс}} = 4.0 \times 10^{11}$ пр/ц.
 2 - значение показателя поля n при отключённых кор-рекциях
 3 - область положения центра тяжести заряда пучка. Измерения через 10,0 мс после начала ускорения.