

С 345е3

29/11-70

B-19

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

9 - 5064



Б.В. Васишин, Л.П. Зиновьев, И.Б. Иссинский,

Е.М. Кулакова, К.П. Мызников, Н.И. Павлов

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

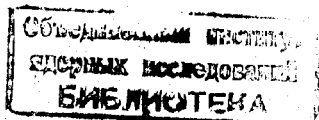
РАСЧЕТ ОДНОЙ СХЕМЫ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА  
ПРОТОННОГО ПУЧКА ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА

1970

9 - 5064

Б.В. Василишин, Л.П. Зиновьев, И.Б. Иссинский,  
Е.М. Кулакова, К.П. Мызников, Н.И. Павлов

РАСЧЕТ ОДНОЙ СХЕМЫ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА  
ПРОТОННОГО ПУЧКА ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА



## §1. В в е д е н и е

При быстром (порядка ста оборотов) выводе протонов из синхрофазотрона ОИЯИ применяется радиальный резонанс бетатронных колебаний  $\nu_R = 1/2^{1/1}$ . В работах/2,3/ предложена схема медленного вывода (от нескольких десятков до сотен миллисекунд), основанная на данном резонансе. В этом случае при выводе должна быть выполнена следующая последовательность операций:

1) смещение ускоренного пучка во внутреннюю часть вакуумной камеры ускорителя на радиус  $R_H$ ; 2) создание резонансных условий в наружной части камеры (рис. 1,1) путем изменения показателя поля  $n(R)$  в двух квадрантах на величину  $\Delta n(R)$ ; 3) выключение ускоряющей частоты в начале "стола тока" в системе питания основного магнита (при этом происходит дебанчировка ускоренного пучка); 4) перемещение в рабочую область камеры и включение септум-магнита (рис. 1,2); 5) медленное смещение пучка в резонансную область соответствующим наклоном "стола тока" и заброс пучка в зазор септум-магнита, после отклонения в котором пучок выходит из камеры ускорителя. Длительность вывода определяется величиной наклона "стола тока" ( $\frac{dB_z}{dt} = \dot{B}$ ), т.е. скоростью смещения пучка в резонансную область, начальным импульсным разбросом и радиальным размером пучка. Для частиц с разными начальными амплитудами свободных колебаний резонанс будет наступать в разное время, так как в нашем случае изменение  $n$  в направлении радиуса в I и II квадрантах имеет нелинейный характер (рис. 2, кривая 3).

В настоящей работе рассмотрена динамика процесса медленного вывода при использовании минимального количества полюсных проводников в зазоре магнита ускорителя - двух пар резонансных и одной пары корректирующих. Рассчитана трасса вывода с одним внутренним магнитом, расположенным в прямолинейном промежутке, и выходом пучка из ускорителя в конце следующего квадранта. Характеристики пучка при медленном выводе и элементов системы вывода получены путем расчёта траекторий протонов на ЭВМ БЭСМ-6. При этом учитывалась картина магнитного поля, которую дают измерения показателя поля  $n(R)$ .

## §2. Метод расчёта движения протонов в условиях резонанса

Метод моделирования медленного резонансного вывода протонов на ЭВМ по описанной выше схеме приведен в работе/4/. Траектории протонов в горизонтальной плоскости рассчитывались путем интегрирования полного уравнения движения в магнитном поле квадрантов ускорителя в полярной системе координат  $(R, \phi)$  (рис. 1). Магнитное поле во всех 4 квадрантах принято азимутально однородным. По радиусу оно описывается как функция  $n(R)$  в III и IV квадрантах и как функция  $n(R) + \Delta n(R)$  в I и II квадрантах. Поле, создаваемое проводниками резонансного возмущения, от времени не зависит. Основное поле ускорителя является функцией времени, в нашем случае - номера оборота. Изменение поля во времени определялось безразмерной скоростью изменения поля за оборот

$$\gamma = \frac{dB_z}{dt} \cdot \frac{\tau}{B_{z0}}$$
 Здесь  $\tau$  - период оборота в конце цикла ускорения,

$B_0$  - вертикальная составляющая магнитного поля на центральном радиусе  $R_0$ ). Для каждой амплитуды свободных колебаний при расчёте задавался набор начальных условий с определенным шагом по фазе бетатронных колебаний. При выборе начальных условий учитывалось распределение частиц в конце ускорения по амплитудам. Всего для каждого случая (§3) рассчитывалось около 100 траекторий. Расчёт траектории заканчивался после того, как отклонение протона достигало заданной величины на азимуте  $\pi$ .

Как указывалось в работе/4/, была применена методика расчёта медленного вывода с двумя скоростями смещения равновесной орбиты,  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . Скорость  $\gamma_1$  вводилась в начале смещения орбиты, когда траектория еще не входила в возмущенную область и поэтому могла быть взята достаточно большой. При подходе траектории частицы к резонансной области скорость смещения снижалась до  $\gamma_2$  - величины, позволяющей рассматривать достаточно медленный процесс развития резонанса. Это дало возможность сократить время счёта. Как показали расчёты, характеристики пучка на входе в септум-магнит при длительности вывода от 0,7 до 140 мсек не зависят от  $\gamma_1$  и слабо меняются при изменении значения  $\gamma_2$ .

Условно выбранная скорость  $\gamma_0$  соответствует  $\dot{V} = 330$  гс/сек.

На движение протонов в условиях резонанса существенно влияет наличие азимутальной асимметрии орбиты во внутренней части камеры, которая появляется, когда половина проводников резонансной обмотки в I и II квадрантах замкнута внутрь от  $R_0$ , а половина - наружу (т.н. поле 1, рис. 3, кривая 1). Максимальное искажение радиальной проекции орбиты во внутренней части камеры при расположении проводников на  $R_0 + 5$  и  $R_0 + 15$  см достигает в этом случае  $5,2$  см/5/.

### §3. Характеристики пучка при выводе

В настоящем разделе рассмотрено поведение пучка протонов в процессе медленного вывода в ряде характерных случаев при величине резонансной добавки  $\Delta n = 0,3$  (табл. 1). Имелась возможность изменять положение проводников резонансной обмотки по радиусу, вводить или не вводить азимутальную асимметрию поля в области устойчивого движения пучка (поля 1 и 2), расширять рабочую область поля во внутренней части камеры с помощью существующей коррекции  $n$  на высокой индукции ( $\Delta n_k$ ).

Рис. 1. Схема медленного вывода и система полярных координат, I, II, III, IV - квадранты ускорителя,  $O_1, O_2, O_3, O_4$  - центры полярных систем координат каждого квадранта, 1 - область существования резонансного возмущения, 2 - септум-магнит,  $R_0 = 2800$  см - центральный радиус ускорителя.

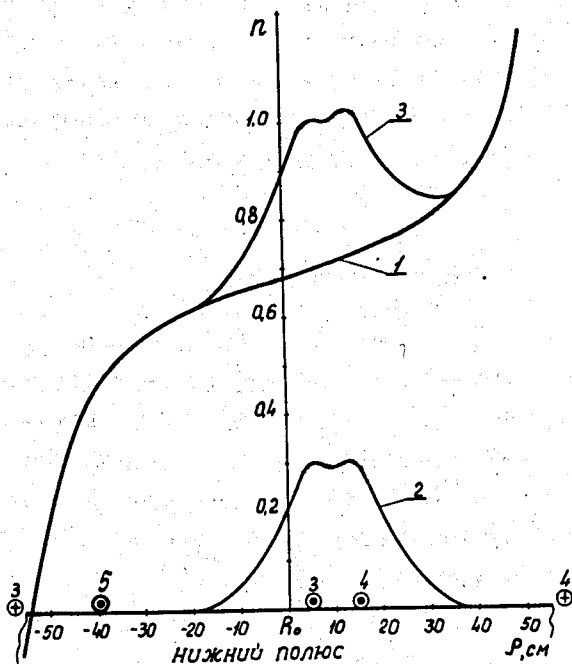
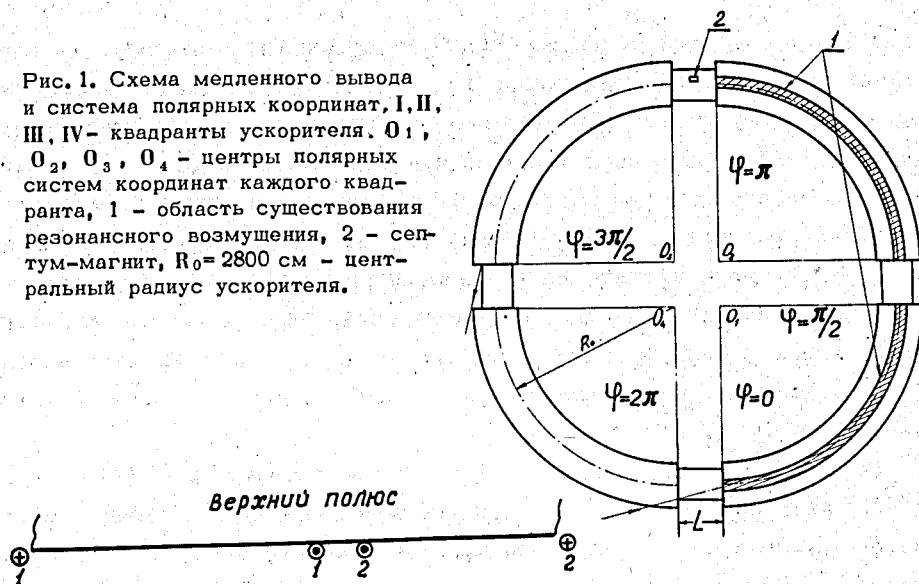


Рис. 2. Зависимость  $n$  от радиуса при индукции 12600 гс (кривая 1) и величина  $\Delta n$  при токе 340 а (кривая 2). Распределение  $n + \Delta n$  (кривая 3); 1, 2, 3, 4 - проводники резонансной обмотки, расположенные на радиусах  $R_0 + 5$  и  $R_0 + 15$  см, 5 - проводник системы коррекции  $n$  ( $\rho = R - R_0$ ).

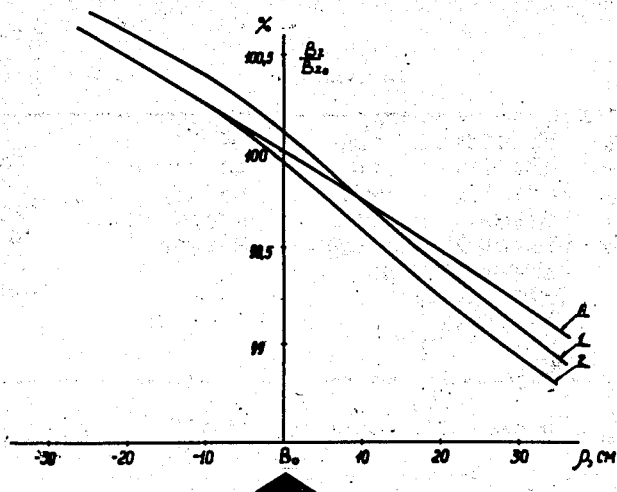


Рис. 3. Зависимость  $V_z/V_{z0}$  от радиуса в квадрантах III и IV (кривая А), в квадрантах I и II при поле 1 (кривая 1) и при поле 2 (кривая 2) при том же расположении проводников, что и на рис. 2. По оси абсцисс отложено расстояние  $\pm \rho$  от центрального радиуса ускорителя  $R_0$ , по оси ординат  $-V_z/V_{z0}$  в процентах.

Рис. 4. Фазовые координаты протонов на двух последовательных оборотах в случае а). По оси абсцисс отложено расстояние от  $R_0$  в см, по оси ординат - угол (град). Приняты обозначения:  $\square$  - большие начальные амплитуды колебаний;  $\circ$  - средние;  $\times$  - малые. Пунктиром показан край септума.

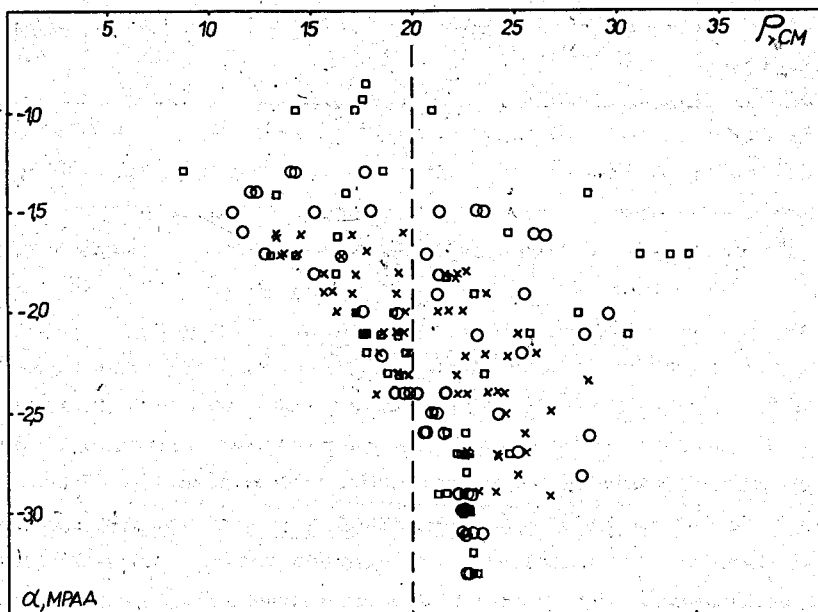


Таблица 1

Случай	Положение резонансной обмотки	Наличие или отсутствие азимутальной асимметрии (поле I или 2)	$R_s$ , см. радиус края септума	$\Delta n_k$ во внутренней части камеры	$\gamma_2$	Глубина заброса $\Delta p$ , см	Длительность вывода, обороты
а)	$R_0$ и $R_0+10$ см	поле I	2820	0,2	$20\gamma_0$	13	$\sim 1300$
б)	$R_0$ и $R_0+10$ см	поле 2	2820	0,2	$20\gamma_0$	18	$\sim 700$
в)	$R_0+5$ и $R_0+15$ см	поле I	2820	0	$20\gamma_0$	19	$\sim 1000$
г)	$R_0-5$ и $R_0+15$ см	поле 2	2820	0	$20\gamma_0$	19	$\sim 1000$
д)	$R_0+5$ и $R_0+15$ см	поле 2	2830	0	$20\gamma_0$	20	$\sim 1000$

Случай а). Пучок смещен в начале вывода на  $R_H = 2780$  см, во внутренней части камеры и исправлено с помощью проводника 5 (рис.2). Распределение протонов в фазовой плоскости до заброса в зазор магнита и после заброса (рис. 4) показывает наличие большой плотности в области септума - до 15% на 1 см. Это связано с тем, что вследствие сдвига орбиты наружу часть частиц попадает с малым шагом в область септума, еще не успевая войти в резонанс. Угол траекторий протонов на входе магнита  $\alpha(N)$  меняется во времени от  $-3$  до  $-1,5$  мрад (рис. 5) в связи со смещением наружу искаженной радиальной орбиты, амплитуда которой зависит от радиуса. Угловой раcтвор  $\Delta\alpha \approx 0,5+0,7$  мрад и от  $N$  не зависит. В данном случае начало и конец вывода определяются большими амплитудами колебаний, что связано также с наличием азимутальной асимметрии. Временная плотность протонов показана на рис. 6.



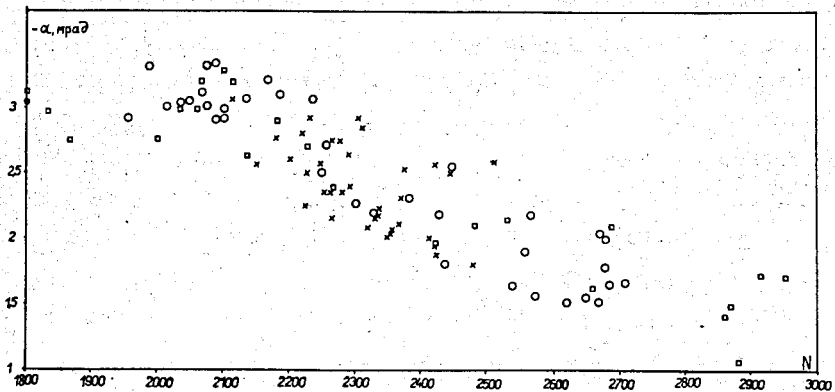


Рис. 5. Зависимость  $\alpha(N)$  на входе септум-магнита в случае а). По оси ординат отложен угол в мрад, по оси абсцисс - номер оборота.

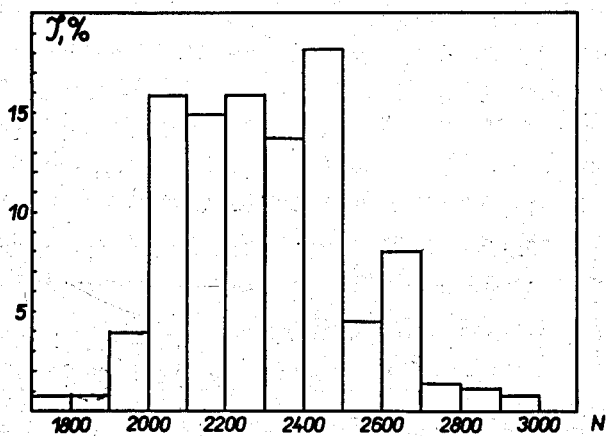


Рис. 6. Временная гистограмма выведенных протонов при наличии азимутальной асимметрии во внутренней части камеры (случай а). По оси абсцисс отложены номера оборотов протонов, по оси ординат - число протонов (в %), попавших в интервал 100 оборотов.

Случай б). Пучок на  $R_H = 2780$  см находится вне области азимутальной асимметрии, его радиальный размер не увеличивается. Протоны имеют шаг за оборот не менее 10 см, что сказывается на распределении их плотности в районе септума (рис. 7). В область по радиусу от 2820 до 2821 см теперь попадает  $\approx 8\%$  всех частиц. Средний угол  $\alpha(N)$  растет от 0 до 1,0 мрад,  $\Delta\alpha$  равняется  $\approx 0,6$  мрад и от  $N$  практически не зависит (рис. 8). Распределение плотности протонов во времени (рис. 9) определено неискаженным распределением по амплитудам свободных колебаний: вначале вступают в резонанс большие амплитуды, в конце - малые.

Случай в). Приведены характеристики пучка при расположении проводников резонансной обмотки на  $R_0 + 5$  и  $R_0 + 15$  см и наличии азимутальной асимметрии во внутренней части камеры ( $R_H = 2790$  см и ток в проводник 5 включен не был). Расчёты показали, что теперь протоны с некоторыми начальными фазами больших и средних амплитуд забрасываются на  $R > 2820$  см в течение нескольких первых оборотов. На рис. 10 показана искаженная орбита на  $R = 2790$  см (кривая 2) и траектория с начальной амплитудой 6 см (кривая 1). Видно, что частица попадает в зазор магнита на шестом обороте от начала движения. Те протоны, начальный угол траекторий которых близок к углу наклона искаженной орбиты, испытывают резонанс не сразу, а после смещения орбиты к резонансной области. Однако большое число частиц в начале вывода попадает в область, близкую к септуму (24% на 1 см). Эти же частицы имеют большой угловой разброс в начале вывода:  $\Delta\alpha \cong 2$  мрад. Как и для случая а), угол протонов  $\alpha(N)$  отрицателен и уменьшается во времени по абсолютной величине от  $-2,5$  мрад до  $-0,5$  мрад. Вывод происходит в течение 1000 оборотов, 34% пучка выводится в течение первых 100 оборотов.

Случай г). В этих условиях пучок в начальный момент времени находится также на радиусе  $R_H = 2790$  см. Даже если все витки резонансной обмотки замкнуты наружу от  $R_0$ , на этом радиусе существует азимутальная асимметрия поля. Глубина заброса в зазор магнита, как и в случае в), составляет 19 см. В область по радиусу от 2820 до 2921 см попадет  $\approx 6\%$  частиц. Снижение  $\Delta n$  до 0,28 уменьшает глубину заброса до 14 см. При этом уменьшается также шаг за оборот, и резонанс начи-

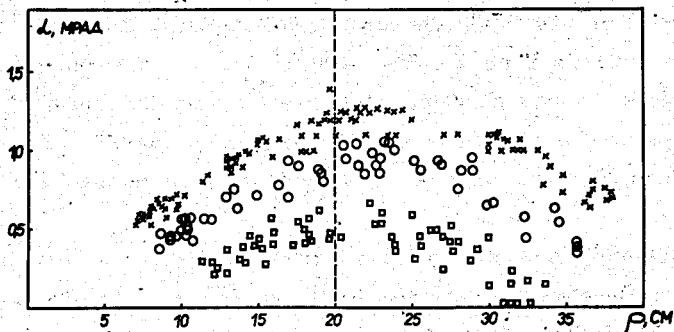


Рис. 7. Фазовые координаты протонов на двух последовательных оборотах в случае б). Обозначения те же, что и на рис. 4. Пунктиром показан край септума.

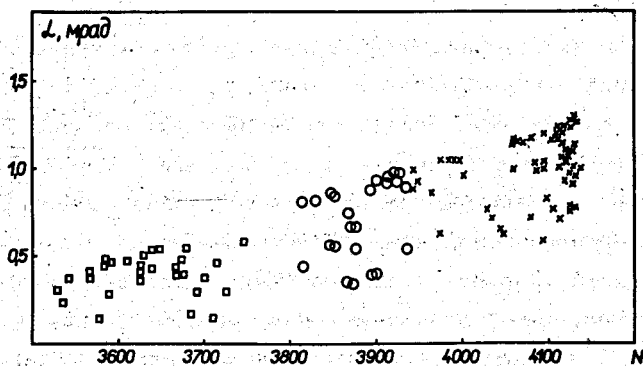


Рис. 8. Зависимость  $\alpha(N)$  на входе септум-магнита для случая б). Обозначения те же, что и на рис. 4.

нается позднее (т.е. при больших номерах оборотов). Угол  $\alpha(N)$  меняется за время вывода от 0 до 2 мрад. Для частиц с малыми амплитудами, которые определяют конец вывода, наблюдается большой угловой разброс:  $\Delta\alpha = 1,6$  мрад. Эти частицы, кроме того, как правило, попадают на большие радиусы, глубина заброса в данном случае возрастает с номером оборота.

Для выбранного положения края септума ( $R_s = 2820$  см) было установлено, что область по радиусу от 15 до 20 см пучок проходит однократно, т.е. не испытывает биений. В противном случае это привело бы к дополнительным потерям протонов на септуме.

Случай д). Для этого случая была рассмотрена возможность уменьшения угла поворота, а следовательно, поля в септум-магните при выводе пучка в конце III квадранта ускорителя. Это можно сделать, отодвинув магнит на большее расстояние от  $R_0$ , например,  $R_s = 2830$  см. Поэтому был выбран вариант, в котором проводники резонансной обмотки отстоят дальше от  $R_0$ . Были рассчитаны характеристики пучка на  $\phi = \pi$  при забросе на радиусы, большие 2830 см. Особенности пучка в этом случае следующие: 1) угловой раствор  $\Delta\alpha$  в начале и середине вывода увеличивается до 1 мрад, в конце вывода равен  $\approx 1,6$  мрад; 2) средний угол  $\alpha(N)$  растет от  $-0,5$  до 2 мрад; 3) на септум толщиной 1 см попадает  $\approx 8\%$  частиц.

Из сравнения вышеприведенных характеристик пучка следует, что длительность вывода при выбранном значении  $\gamma_2$  зависит также от условий, при которых возбуждается резонанс. Наибольшая разница длительностей (до 50%) получена для случаев а) и б). С точки зрения эффективности вывода достаточно приемлемы случаи б) и г), причем более равномерная плотность по зазору получается в случае б). Однако в случае г) протоны имеют большой угловой раствор в конце вывода. Таким образом, в случае б) имеется, кроме достаточно высокой эффективности, еще наименьший угловой раствор на протяжении всего вывода. Тот факт, что угол  $\alpha$  для случая б) положителен, также благоприятен, т.к. при этом потребуются меньший угол отклонения протонов в септум-магните.

Расчёты показали, что разброс протонов циркулирующего пучка по импульсам незначительно влияет на характеристики выведенного пучка, за исключением его длительности. При учёте импульсного разброса  $\Delta p = \pm 1 \text{ Мэв/с/}\beta$  (с подавлением радиально-фазовых колебаний) длительность вывода увеличивается в два раза по сравнению с длительностью вывода моноэнергетического пучка.

Существенным является также вопрос о допусках на амплитуды пульсаций различных гармоник поля и стабильность наклона поля  $\dot{B}$  в процессе медленного вывода. В режиме "стола тока" существуют гармоники пульсаций с частотой  $f = 50, 600, 1200, 1800 \text{ гц}$ . Наличие этих гармоник приводит к модуляции плотности выведенных протонов. При оценке допусков на амплитуды пульсаций будем исходить из требования, что модуляция интенсивности пучка при медленном выводе за счёт пульсаций не должна превосходить 10-20%. Для вывода длительностью 200 мсек (случай б) с учётом  $\Delta p = \pm 1 \text{ Мэв/с}$  требуется скорость изменения поля  $\dot{B} = 33 \text{ гс/сек}$ . Таким образом, допустимая скорость изменения поля от различных гармоник пульсаций  $\dot{B}$  не должна превышать 3,3 гс/сек при модуляции интенсивности 10%. Допуски на амплитуды пульсаций  $B$  по отношению к индукции на центральном радиусе ускорителя  $B_{z0}$  определяются из отношения

$$\frac{B_{\text{п}}}{B_{z0}} = \frac{\dot{B}_{\text{доп}}}{2\pi f B_{z0}}$$

Зависимость  $\frac{B_{\text{п}}}{B_{z0}}$  от  $f$  приведена в табл. 2.

Таблица 2

$f, \text{ гц}$	50	600	1200	1800
$\frac{B_{\text{п}}}{B_{z0}}$	$8 \cdot 10^{-7}$	$0,7 \cdot 10^{-7}$	$0,35 \cdot 10^{-7}$	$0,23 \cdot 10^{-7}$

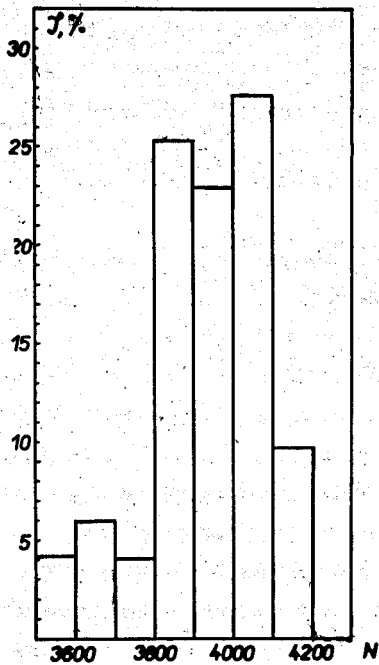


Рис. 9. Временная гистограмма выведенных протонов при отсутствии азимутальной асимметрии (случай б).

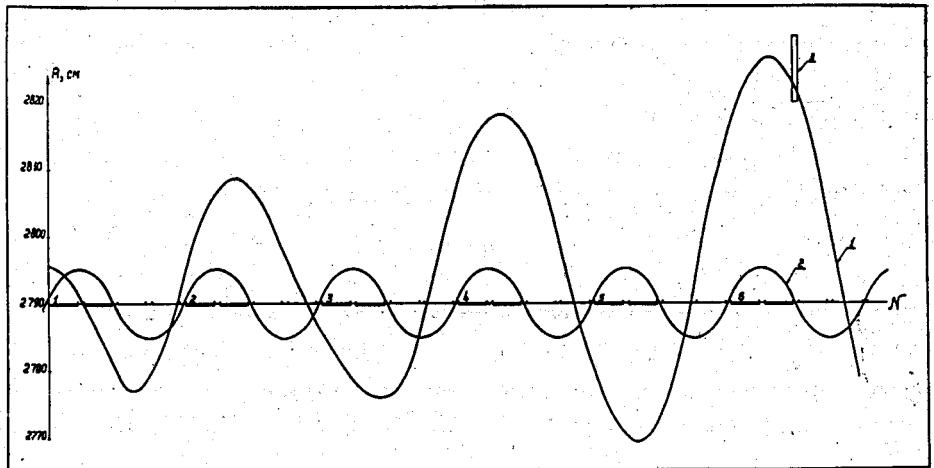


Рис. 10. Искаженная радиальная орбита на  $R = 2790$  см для случая в) (кривая 2) и траектория с  $a = 6$  см (кривая 1), 3 - положение септум-магнита.

Существующая схема подавления пульсаций в режиме "стола тока" дает величину  $\dot{V}_{600}$  порядка 8 гс/сек/7/, что приводит к модуляции интенсивности 25%. Исходя из тех же допусков на модуляцию интенсивности выведенного пучка, наклон стола тока  $\dot{V}$  необходимо поддерживать в пределах  $\pm 10\%$ , т.е. для указанной длительности вывода  $\pm 3,3$ гс/сек.

#### §4. Расчёт фокусировки пучка в септум-магните, рассеянном поле ускорителя и системе транспортировки

Была исследована фокусировка пучка при медленном выводе протонов для двух расположений резонансного возмущения в камере и разных длинах септум-магнита. Выведенный пучок будет проходить значительное расстояние в краевом дефокусирующем по радиусу поле ускорителя, поэтому септум-магнит должен иметь радиальную фокусировку, подобно аналогичному магниту быстрого вывода/8/. Для выбора угла отклонения  $\beta_s$  и оптимального значения показателя поля  $n_s$  в магните с помощью ЭВМ была использована управляющая программа/9/, которая позволяет рассчитывать траектории протонов через прямолинейный промежуток, септум-магнит и III квадрант до выхода из ускорителя. Рассмотрим вариант с длиной магнита 80 см и расположением края септума на  $R_0 + 20$  см. Был рассчитан угол отклонения в магните  $\beta_s$  и показатель поля  $n_s$  для случая расположения шин резонансной обмотки на радиусах  $R_0$  и  $R_0 + 10$  см, поле 2 и  $\Delta n_k = 0,2$  (случай б). Поскольку угол  $\alpha(N)$  на входе магнита меняется во времени, величины  $\beta_s$  и  $n_s$  магнита подбирались отдельно для начала и конца вывода. В начале вывода  $\beta_s = 0,01477$  рад и оптимальная величина  $n_s = -100$ , при этом полная ширина пучка  $\Delta R = 12$  см, угловой раствор  $\Delta \alpha = \pm 11,5$  мрад (рис. 11). Аналогично были подобраны  $\beta_s$  и  $n_s$  для протонов, приходящих в конце вывода:  $\beta_s = 0,0139$  рад и  $n_s = -110$ . При этом  $\Delta R_k = 10$  см,  $\Delta \alpha_k = \pm 8$  мрад. Однако эти размеры пучка увеличиваются при учёте дисперсии. Если  $\Delta p = \pm 1$  Мэв/с (при подавлении радиально-фазовых колебаний), то  $\Delta R$  увеличивается примерно на 2 см, а  $\Delta \alpha$  на  $\pm 10\%$ .

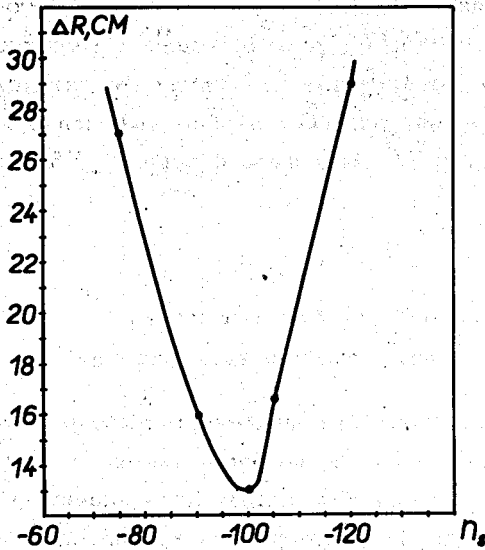


Рис. 11. Зависимость радиального размера пучка на выходе из ускорителя от  $n_s$  в септум-магните длиной 80 см ( $\beta_s = 0,01477$  рад, случай б), начало вывода).

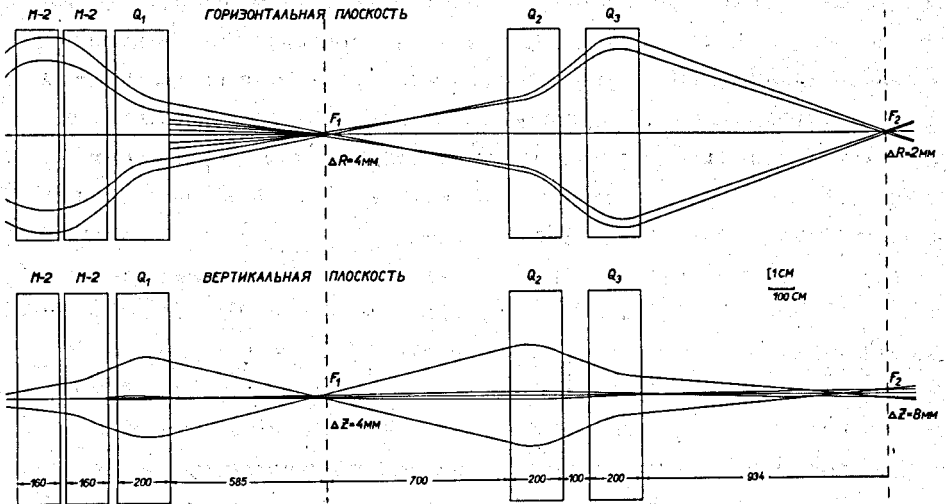


Рис. 12. Ход крайних траекторий через элементы системы транспортировки.



Таблица 3

Элемент системы	$\kappa_e$ или $\beta_m$ (рад)	$\rho_m$	Максимальный размер пучка (см) в элементах системы	
			горизонтальная плоскость	вертикальная плоскость
1 $M_2$	0,052	-140	$\pm 9,5$	$\pm 1,4$
2 $M_2$	0,052	-140	$\pm 9,2$	$\pm 2,8$
$Q_1$	0,9498	-	$\pm 5,8$	$\pm 3,8$
$Q_2$	0,850	-	$\pm 5,7$	$\pm 4,8$
$Q_3$	0,8219	-	$\pm 9,3$	$\pm 3,0$

Таблица 4

Обозначение точки		$F_1$	$F_2$
Горизонтальная плоскость	размер, см	0,4	0,2
	угловая расходимость, мрад	$\pm 4,98$	$\pm 9,485$
Вертикальная плоскость	размер, см	0,4	0,8
	угловая расходимость, мрад	$\pm 6,18$	$\pm 2,4$

Таблица 5

	Начало вывода	Конец вывода
$\beta_s$ , рад	0,0149	0,0137
$\rho_s$	-100	-140
$\Delta R$ , см	$\sim 8,7$	$\sim 20$
$\Delta \alpha$ , мрад	$\pm 7,8$	$\pm 17,7$

Таким образом, величину и показатель поля септум-магнита необходимо менять в процессе медленного вывода, чтобы пучок выходил из ускорителя по постоянному направлению и имел минимальный горизонтальный размер. Вертикальный размер пучка, выходящего из ускорителя, как и при быстром выводе, невелик:  $\Delta z = \pm 0,2$  см. Результат получен на основе расчёта вертикальных проекций траекторий, выбранных в соответствии с распределением пучка по амплитудам свободных колебаний без учета движения при резонансе.

В первую ступень системы транспортировки пучка при медленном выводе вошли 2 поворотнo-фокусирующих магнита М-2 и квадрупольная линза 20К-200 ( $Q_1$ ). Вторая ступень системы транспортировки может состоять, например, из дублета линз 20К-200 ( $Q_2$  и  $Q_3$ )/10,11/. Через обе ступени системы рассчитаны крайние траектории в обеих плоскостях при показателе поля в М-2  $n_M = -140$ , расстоянии до первого изображения 585 см и до второго - 934 см (рис. 12). Параметры системы и размеры изображений приведены в табл. 2 и табл. 4. Движение пучка до выхода из ускорителя было рассчитано также для расположения проводников резонансной обмотки на  $R_0 + 5$  и  $R_0 + 15$  см (поле 2, случай г) при том же положении и длине септум-магнита, что и в предыдущем случае. Полученные величины  $\beta_s$ ,  $n_s$ , а также  $\Delta R$  и  $\Delta a$  на выходе из ускорителя представлены в табл. 5.

Как уже указывалось, для данного расположения резонансного возмущения на азимуте  $\phi = \pi$  был рассчитан заброс протонов на  $R > 2830$  см. Это позволило сместить край септума наружу. Необходимый угол отклонения в септум-магните  $\beta_s$  уменьшится за счёт 1) смещения септума наружу; 2) увеличения угла пучка  $a$  при забросе на большие  $R$ . Это даст возможность снизить индукцию в зазоре и уменьшить тем самым толщину септума. Для этой же цели длина магнита была увеличена до 400 см. Чтобы такой магнит отклонил пучок протонов на направление быстрого вывода, требуется угол  $\beta_s = 0,012$  рад (начало вывода), что соответствует индукции на равновесном радиусе септум-магнита  $B = 1060$  гс. На рис. 13 приведена зависимость радиального размера пучка на выходе из ускорителя от  $n_s$  в таком магните. Минимальный размер пучка на азимуте  $-1,57$  рад III -го квадранта в этом случае составляет  $\approx 30$  см, угловой раствор  $\pm 21$  мрад.

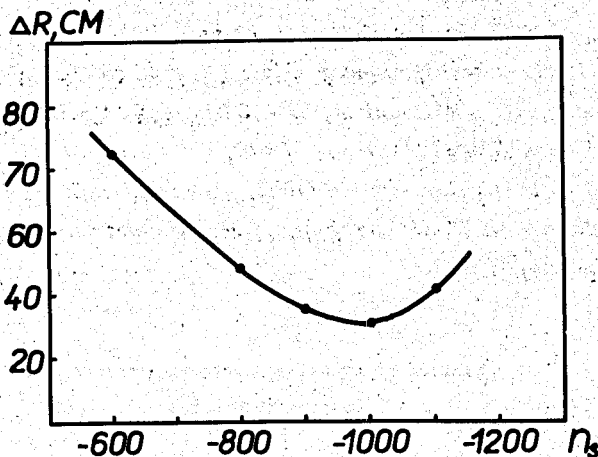


Рис. 13. Зависимость радиального размера пучка на выходе из ускорителя от  $\eta_s$  в септум-магните ( $\beta_s = 0,012$  рад,  $l_s = 400$  см,  $R_s = 2830$  см, случай г).

### Л и т е р а т у р а

1. Л.П. Зиновьев, И.Б. Иссинский, Е.М. Кулакова, В.Н. Лысяков, К.П. Мызников, Н.И. Павлов, Н.М. Тараканов. Доклад на VI Международной конференции по ускорителям, Кэмбридж, 1967.
2. К.П. Мызников. Препринт ОИЯИ, Р-2537, Дубна, 1966.
3. Б.В. Василишин, И.Б. Иссинский, Е.М. Кулакова, К.П. Мызников, Л.М. Панченко, Р.Н. Федорова. Доклад на Всесоюзной конференции по ускорителям заряженных частиц. Москва, ВИНТИ, 1970.
4. Б.В. Василишин, Е.М. Кулакова, Л.М. Панченко, Р.Н. Федорова. ОИЯИ, Б-2-9-4063, Дубна, 1968. Препринт ОИЯИ, 9-4223, Дубна, 1968.
5. М.С. Рабинович. Труды ФИАН, т. X, Изд. АН СССР, 1958.
6. Г.С. Казанский, А.П. Царенков. Препринт ОИЯИ, 2491, Дубна, 1965.
7. Л.Н. Беляев, А.А. Смирнов, Н.И. Павлов. Сообщение ОИЯИ, 9-4358, Дубна, 1969.

8. Л.П. Зиновьев, И.Б. Иссинский, В.И. Котов, Е.М. Кулакова, К.П. Мызников, Н.И. Павлов. Препринт ОИЯИ, Р-2387, Дубна, 1965.
9. Е.М. Кулакова, К.П. Мызников, Л.А. Смирнова, Б.В. Феоктистов. Препринт ОИЯИ, Р-2880, Дубна, 1966.
10. Е.М. Кулакова. Сообщение ОИЯИ, 9-4386, Дубна, 1969.
11. Б.В. Василишин, И.Б. Иссинский, Е.М. Кулакова. Сообщение ОИЯИ, 9-4385, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел

22 апреля 1970 года.