индекс 3624

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУ

ЕФИ-430(37)-80

Р.М.АГАДЖАНЯН, Г.А.ГАМБАРЯН, Р.А.ДОВЛАТЯН,
С.К.ЕСИН , А.А.МАРКАРЯН, С.Н.ОГАНЕСЯН,
Х.А.СИМОНЯН, А.Р.ТУМАНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ УСКОРЕННОГО ПУЧКА ПО ВНУТРЕННИМ МИШЕНЯМ СИНХРОТРОНА

ԵՐԵՎԱՆ 1980 ЕРЕВАН

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-430(37)-80

Р.М.АГАДЖАНЯН, Г.А.ГАМБАРЯН, Р.А.ДОВЛАТЯН,
С.К.ЕСИН, А.А.МАРКАРЯН, С.Н.ОГАНЕСЯН,
Х.А.СИМОНЯН, А.Р.ТУМАНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ УСКОРЕННОГО ПУЧКА ПО ВНУТРЕННИМ МИШЕНЯМ СИНХРОТРОНА

Ереван 1980

© Ереванский физический институт, 1980

В работе [I] показано, что при наведении ускоренного пучка заряженных частиц одновременно на несколько внутренних мишеней синхротрона качественное исследование распределения частиц между мишенями удобно проводить на фазовой плоскости. Это обусловлено тем, что эмиттанс ускоренного пучка на плоскости $(r, \beta_{max} \cdot r')$ на азимутах, где расположены мишени, принимает форму круга и движение пучка по кольцу можно описать как вращение этого круга, поскольку известен "закон" вращения круга как при переходе от одного значения азимута S к другому, разделенному интервалом ℓ - равным длине периода градиента магнитной структуры кольца, так и от оборота к обороту. Так, например, если в качестве начального круга принять круг при азимуте $S_1 = 0$, то на азимутах $S_{n+1} = n\ell$ на данном обороте пучка этот круг окажется повернутым на угол $n\mu$ по направлению движения часовой стрелки, где $n = I, 2, \ldots M-I$, $\mu = 2\pi Q_r/M$; $\Delta Q = |Q_r - m|$; m - ближайшее к Q_r целое число, Q_r - число радиальных бетатронных колебаний на обороте, M - число периодов градиента на кольце ускорителя.

Через один оборот пучка начальный круг на азимуте $S_1 = 0$ оказывается повернутым (в том же направлении) на угол $\varphi = 2\pi\Delta Q_r$.

При подведении пучка к мишени (или вдвижении мишени в пучок) происходит отбор частиц пучка мишенью. На языке " вращающегося круга" это означает "вырезание сегмента круга", высота которого равна глубине "погружения" мишени в пучок.

На следующем обороте эта же мишень "вырежет"сегмент из того же круга в другом месте, а именно, в месте, сдвинутом относительно места первого " вырезания" на угол $\gamma = 2\pi \Delta Q_r$.

Очевидно, что процесс такого "вырезания" будет происходить и на следующих оборотах, но до тех пор, пока круг не повернется к мишени той областью, на которой такое "вырезание" было уже произведено. Так, например, при $\Delta Q_r = 0{,}25$ на пятом обороте мишень ничего не "вырежет" , если, конечно, не вдвинуть мишень в пучок.

Для обеспечения равномерности вывода γ -пучка из мишени необходимо, чтобы в каждую единицу времени на эту мишень всегда попадало одно и то же количество ускоренных электронов, что равносильно тому, что при каждом акте "вырезания" круга в "вырезанной" части должно содержаться одно и то же количество частиц.

Из рассмотренного выше примера следует, что закон наведения пучка на мишень должен подбираться не только из соображений распределения числа частиц по сечению пучка, но и исходя из величины ΔQ_r .

В случае одновременной работы двух мишеней происходит одновременное "вырезание" круга в разных местах, определяемых взаимным расположением мишеней по азимуту. Так, например,если мишени расположены в двух соседних фокусирующих промежутках, скажем, на азимутах $S_1 = 0$ и $S_2 = \ell$, то на данном обсроте,

если первая мишень "вырезает" круг в месте $\alpha_1 = 0$, то вторая "вырежет" этот круг в месте $\alpha_2 = 2\pi - \mu$ (α- отсчитывается по направлению, противоположному направлению движения часовой стрелки и $0 \le \alpha \le 2\pi$).

Механизм взаимного влияния мишеней друг на друга, описанный в работе [I] , заключается в том, что при некотором акте "вырезания" круга одна из мишеней должна произвести "вырезание" именно в том месте, где такое "вырезание" уже произвела другая мишень на предыдущих оборотах.

Приведенные здесь соображения указывают на то, что обеспечение равномерности вывода одновременно с двух мишеней требует программного управления наведения пучка на мишень. В связи с этим были проведены расчеты на ЭВМ БЭСМ-6 на модели круга радиуса $R = I$, в котором расположено $N = 10^{12}$ частиц(или точек).

В качестве первого приближения принято, что на каждой концентрической окружности расположено одинаковое число частиц, что означает равномерность распределения частиц пучка по амплитудам бетатронных колебаний. С целью проверки механизма взаимного влияния мишеней друг на друга были использованы две мишени, расположенные в двух соседних промежутках. Расчеты проводились согласно следующему алгоритму: подсчет числа частиц, находящихся в отсекаемой мишенью части круга, велся посредством числа частиц, находящихся в частях концентрических колец, укладывающихся в данной части круга. Число частиц в любом кольце с $r_1 > r_2$ составит $\frac{N}{R}(r_1 - r_2)$, а в части кольца, заключенной в центральном угле α (рис.I)

$$N_\alpha = \frac{N}{R}(r_1 - r_2)\frac{\alpha}{2\pi}, \qquad (I$$

Для определения количества частиц, наводимых по мишеням, необходимо провести расчет количества частиц, заключенных в фигурах, ограниченных отрезками радиусов и отрезками хорд, например, заключенных в заштрихованном треугольнике ABC, показанном на рис.2. Для этого треугольник ABC рассекается радиусами на множество четырехугольников таким образом, чтобы угол α_i между двумя ближними радиусами не превысил 1^0, с целью уменьшения погрешности дальнейшего приближения. Далее, участки хорд, заключенные между двумя ближними радиусами заменяются концентрическими дугами, построенными с помощью биссектрисы угла α. После этого подсчет числа частиц, заключенных в фигуре $KNMF$, можно производить по формуле (1). Суммирование количества частиц, заключенных во всех аналогично построенных фигурах, определяет общее количество частиц, заключенных в треугольнике ABC. При этом, как показали расчеты, погрешность от замены дуг хордами не превышает 0,001%, причем эта погрешность имеет систематический характер и положительное значение.

Необходимо также отметить, что "углубление" мишеней в круг производится не до самого центра круга, а до тех пор, пока расстояние от мишени до центра достигнет наперед заданного значения ε, которое не превышает $\varepsilon = \Delta R/R = 0{,}001$

Ниже приводятся и обсуждаются результаты проведенных расчетов распределения частиц между мишенями и законов наведения ускоряемого пучка при различных условиях.

а) Определение необходимых законов наведения пучка для обеспечения равномерного сброса частиц на одну мишень.

Для выполнения поставленной задачи были рассчитаны и построены графики зависимостей требуемых величин перемещения

мишени Δr от номера оборота n. При этом число частиц, отсекаемых каждой мишенью на каждом обороте, должно быть одинаковым и равным

$$\Delta N = \frac{N - N\varepsilon}{H\kappa} \pm \delta ,$$

где H – полное число оборотов циркулирующего пучка, в течение которых все частицы выпадут на мишень,

κ – количество мишеней,

δ – допуск на равномерность выпадения частиц.

Графики указанных зависимостей для наиболее простого случая, а именно, для одной мишени ($\kappa = 1, H = 600$) приведены на рис.3. Графики построены для различных дискретных значений частот радиальных бетатронных колебаний циркулирующего пучка, во всем диапазоне возможных значений частот, а именно, $Q_r = 5.1 \div 5.5$ (дискретные значения Q_r, для которых приведены графики, указаны на самом рис.3).

Из рассмотренного рисунка видно, что даже при использовании одной внутренней мишени законы наведения циркулирующего пучка, обеспечивающие равномерный сброс частиц на мишень, заметно зависят от значения радиальной частоты бетатронных колебаний Q_r пучка.

Необходимо отметить, что здесь и в дальнейшем предполагается, что в течение времени наведения ускоряемого пучка на мишень, частота радиальных бетатронных колебаний не изменяется и все частицы пучка имеют одно и то же значение частоты колебаний. При этом также предполагается, что ускоренные частицы взаимодействуют с мишенью однократно, т.е. используются "толстые" мишени. Очевидно, что отклонения от указанных предполо-

жений, которые существуют в той или иной мере в реальном синхротроне, привели бы только к некоторому сглаживанию результатов, полученных в данной работе, но никоим образом не могли бы изменить сущности показанных здесь зависимостей. Поэтому данное исследование представляет определенный интерес.

Возвращаясь к рисунку 3, отметим, что законы наведения заметно нелинейны при тех частотах радиальных бетатронных колебаний, при которых значение $1/\Delta Q_r = t$ представляет собой целое число, т.е. при тех частотах, при которых на t оборотах пучка укладывается целое число бетатронных колебаний, причем, чем меньше число t, тем большее отклонение наблюдается на графике (в дальнейшем эти частоты будут именоваться кратными). Отметим, что на практике всегда наблюдается зависимость законов наведения пучка на мишень от частоты бетатронных колебаний, так как изменение бетатронной частоты пучка всегда приводит к нарушению равномерности вывода вторичных частиц и для восстановления равномерности приходится подстраивать закон наведения пучка. Однако, экспериментальная проверка полученных здесь закономерностей будет описана отдельно.

На рис.4, для наглядности, приведены отклонения от линейности Δl_i зависимостей, показанных на рис.3. При этом

$$\Delta l_i = r_i - l_n , \qquad l_n = \frac{1-\varepsilon}{H} \cdot n \qquad (2)$$

Отсюда очевидно, что для облегчения выработки закона наведения при использовании одной мишени, необходимо работать в той области частот Q_r, в которой нелинейность требуемого закона наведения минимальна. Такой областью может быть, например, Q_r = = 5,26 – 5,29. Здесь необходимо отметить, что из-за допуска на

равномерность $\pm \delta$, принятого при расчетах, полное отсечение пучка происходит при $n = H + A$ оборотах и потому при $n = H$ процесс вырезания круга не закончен (рис.4).

б). Определение необходимых законов наведения пучка при одновременном использовании двух мишеней.

Вычислены законы наведения пучка при использовании двух мишеней, расположенных подряд в двух соседних фокусирующих промежутках синхротрона, с обеспечением условия равномерного сброса частиц на них и с одинаковым распределением интенсивности между ними, т.е. $\Delta N_1 = \Delta N_2 = const$. На рис.5 приведена разница в законах наведения между двумя мишенями в зависимости от частоты радиальных бетатронных колебаний пучка.

Необходимо отметить, что от расположения второй мишени относительно первой меняется не только характер, но и крутизна закона наведения, т.е. его нелинейность. Разное взаимное расположение двух мишеней будет подробно исследовано в следующей работе. Здесь же продолжим рассмотрение двух мишеней, расположенных подряд в двух соседних фокусирующих промежутках синхротрона.

На рис.6 и 7 приведены законы наведения для двух одновременно используемых мишеней, полученные при условии равномерного и одинакового $(\Delta N_1 = \Delta N_2 = const)$ по количеству частиц отсечения пучка мишенями для двух характерных значений частот, а именно, $Q_r = 5,2$ и $Q_r = 5,217$. Выбор этих значений обусловлен следующими соображениями. При $Q_r = 5,2$, кратность $t = 5$, т.е. фазы отсекаемых мишенью частиц совпадают через каждые пять оборотов; при $Q_r = 5,217$ имеет место равенство $\varphi = \mu$ т.е. фазы частиц на разных мишенях совпадают на соседних обо-

тах пучка, иными словами, одна из мишеней отсекает те же по фазе частицы, которые были уже отсечены другой мишенью на предыдущем обороте. Из рис. 6 и 7 видно, что закон наведения второй мишени почти повторяет ход закона первой с некоторым сдвигом. Величина сдвига уменьшается с возрастанием номера оборота n, что связано с увеличением плотности распределения частиц при приближении к центру пучка.

Кроме того, приведенные законы наведения пучка на I-ую мишень (для начальных и средних значений номеров оборотов пучка), показывают, во-первых, что "микроструктура" законов наведения имеет ступенчатый характер. Это накладывает определенные ограничения на получение идеальной равномерности вывода вторичных частиц в зависимости от номера оборота пучка, так как инерционность магнитной системы синхротрона не позволит создать отклоняющее пучок поле, точно соответствующее требуемым законам наведения. Строго говоря, все законы наведения, обусловленные равномерностью отсечения пучка мишенью, имеют ступенчатый характер независимо от количества одновременно используемых мишеней, даже в случае одной мишени.

Для грубой оценки изменения законов наведения в течение времени вывода зависимости, представленные на рис.6, апроксимированы к прямым. Уравнения этих прямых на первых оборотах пучка для I -ой и П-ой мишеней, соответственно, имеют вид (в относительных единицах).

$$r_{\text{I}} = 0{,}0025 + 0{,}024 \qquad (3$$

$$r_{\text{II}} = 0{,}0025 + 0{,}0I \qquad (4)$$

Те же уравнения для средних оборотов пучка (n =300÷400) принимают следующий вид:

$$r_{\text{I}} = 0{,}0024 + 0{,}05 \qquad (5)$$

$$r_{\text{II}} = 0{,}0024 + 0{,}026 \qquad (6)$$

Необходимо отметить, что соблюдение на практике таких законов наведения достаточно сложно и трудно осуществимо. Трудности обусловлены инерционностью магнитных систем кольцевых ускорителей, с помощью которых осуществляется наведение ускоренного пучка на внутренние мишени. Указанная инерционность препятствует созданию в магнитных системах двух или более взаимосвязанных быстропротекающих (время действия законов наведения составляет, в среднем, I0% от длительности всего цикла ускорения) мощных сигналов питания с программным управлением. Отсюда также очевидно, что необходимая нелинейность законов наведения слишком осложняет возможность изменения распределения интенсивности между мишенями при одновременном выводе пучка только вариацией самих законов наведения, вследствие трудности создания и поддержания требуемой их взаимосвязанности.

в). Распределение интенсивности между мишенями.

Для выяснения зависимости распределения интенсивности между мишенями от значений Q_r и от величины шага наведения выполнено следующее: задавая равношаговое наведение ($\Delta r_1 = \Delta r_2 = const$) пучка на обе мишени, вычислено соотношение распределения частиц по мишеням. При этом, получаемая равномерность выпадения частиц по мишеням демонстрируется рисунками 8÷I0, на которых приведены выборочно только некоторые характерные кривые, хотя расчет произведен во всем диапазоне Q_r =5,I ÷ 5,5 с дискретностью в 0,0I. На графиках каждая точка ординаты соответствует среднему числу частиц, отсеченных мишенью на предыдущих I0-и оборотах, причем разброс значений вокруг среднего состав-

ляет не более I0%.

На основании вычислений суммарного количества частиц, выпавших на каждую мишень для каждого из дискретных значений Q_r во всем диапазоне его изменений, построена зависимость отношения N_1/N_2 или N_2/N_1 от частоты радиальных бетатронных колебаний при двух значениях длительности вывода H = 3500 и H =I00 (рис.II). На рис.I2 показано изменение соотношения распределения интенсивности между мишенями в зависимости от шага наведения, или от количества оборотов пучка H , за которые происходит полное наведение всех частиц пучка.

Каждый из графиков, приведенных на рис.8÷I0, характеризует один из трех типов распределения интенсивности по мишеням, на которые можно разделить все полученные графики, а именно:
I) подчиняющиеся закону почти равного и равномерного распределения интенсивности между мишенями (этому соответствуют кратные значения Q_r), например: $t=\frac{1}{\Delta Q_r}=3$, 4, 5 и т.д.

2) с перераспределением интенсивности по мишеням в процессе наведения (при этом Q_r = 5,I3; 5,I6; 5,I8; 5,26; 5,27; 5,29; 5,37; 5,4I и т.д.)

3) имеющие ход, близкий к параллельному: Q_r =5,II; 5,I2; 5,I7; 5,I9; 5,2I; 5,2I7; 5,22 и т.д.).

Сопоставление рис.8 ÷ I0 с рис.I2, на котором представлена зависимость соотношения распределения интенсивности между мишенями от полного числа оборотов H пучка, показывает, что при возрастании H , для кривых первого типа отношение распределения интенсивностей стремится к I, для кривых третьего типа это отношение сохраняет знак, причем при Q_r =5,28; 5,33; 5,34; 5,44; 5,48; 5,49 величина соотношения также сохраня-

ется, а для кривых второго типа отношение меняет знак, так как точка пересечения кривых ΔN_1 и ΔN_2 перемещается при изменении H . Необходимо также отметить, что при увеличении H положения экстремумов по оси Q_r , в основном сохраняются, но изменяется их величина.

Анализ кривых показывает, во-первых, что использование кривых второго типа нежелательно, во-вторых, если обрезать кривые первого и третьего типа по краям до I0% от длительности кривой, то оставшаяся средняя часть кривых достаточно постоянна (нестабильность не более I5%), в-третьих, из рис.II и I2 видно, что диапазон перераспределения интенсивности между мишенями путем варьирования значений Q_r достаточно широк для практики (от 0,06 : I до I : 0,I5). Отсюда очевидно, что при использовании одинакового закона наведения пучка одновременно на две мишени, практическое осуществление которого не вызывает затруднений, можно одним только изменением значения Q_r изменять в широких пределах интенсивность выведенных вторичных пучков в двух одновременно работающих каналах. При этом, перераспределение интенсивности целесообразно осуществлять в диапазоне частот Q_r = 5,24 ÷ 5,26 либо Q_r = 5,39 и 5,2I7. Недостатком такого способа перераспределения интенсивности между мишенями является взаимосвязанность изменения интенсивности в выводных пучках.

Улучшения равномерности выводимых пучков при использовании такого частотного перераспределения интенсивности между мишенями можно добиться следующим образом. Заранее зная соотношение распределения интенсивности для каждого значения Q_r , полученное при одинаковом равношаговом законе наведения, можно

вычислить необходимый закон наведения, обеспечивающий практическую равномерность для одной мишени, при этом закон наведения другой мишени должен повторять закон первой. Тогда можно ожидать, что и равномерность выпадения частиц на вторую мишень также улучшится. Это подтверждают кривые, приведенные на рис.I3.

Такой режим работы является основным и при использовании метода двойного наведения пучка, описанного в работе [I] . Но в этом случае необходимо выбрать для работы точки максимальной "экранировки" одной мишени другою. Такими значениями Q_r могут быть в случае двух соседних мишеней, для получения соотношения 0:I, значения 5,2I7 и 5,24, а для соотношения I.0 Q_r = 5,26 или Q_r = 5,39. При другом расположении мишеней могут оказаться пригодными совсем другие значения Q_r .

Можно также комплексно использовать оба метода как частотного деления, так и двойного наведения. При этом, можно вначале грубо подобрать нужное значение соотношения распределения интенсивности между мишенями с помощью частотного деления, а тонкий подбор осуществлять двойным наведением , т.е. подбором вертикальной координаты пучка для каждой мишени.

Таким образом, проведенные исследования облегчают возможность практического применения одновременного вывода пучка по двум каналам с использованием метода двойного наведения как основного, и в качестве дополнительного - метода частотного деления интенсивности.

В заключение авторы выражают благодарность Авакян Н.Н. и Аветисян С.П. за помощь, оказанную при обработке результатов вычислений.

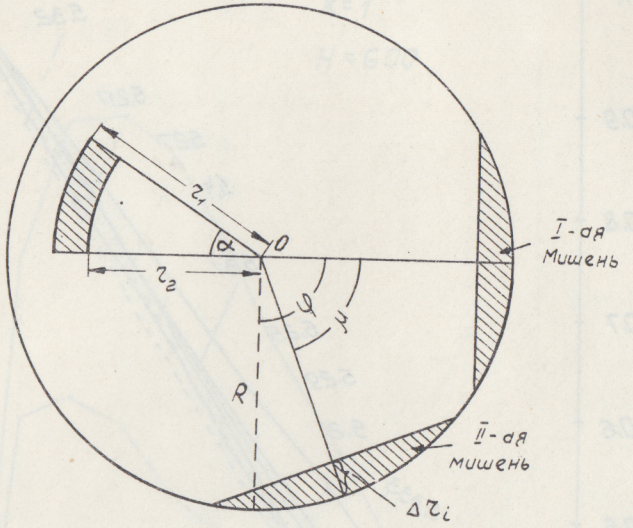


Рис.I

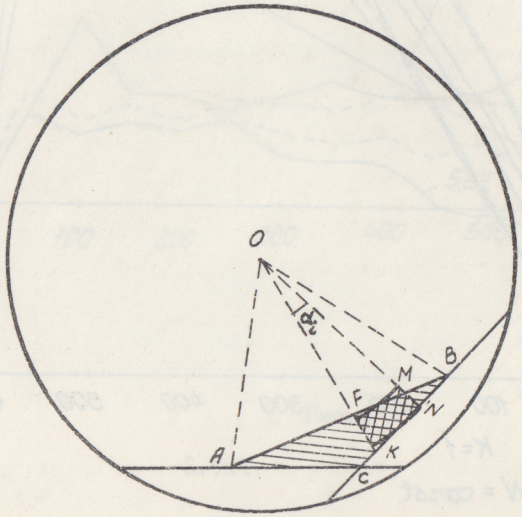
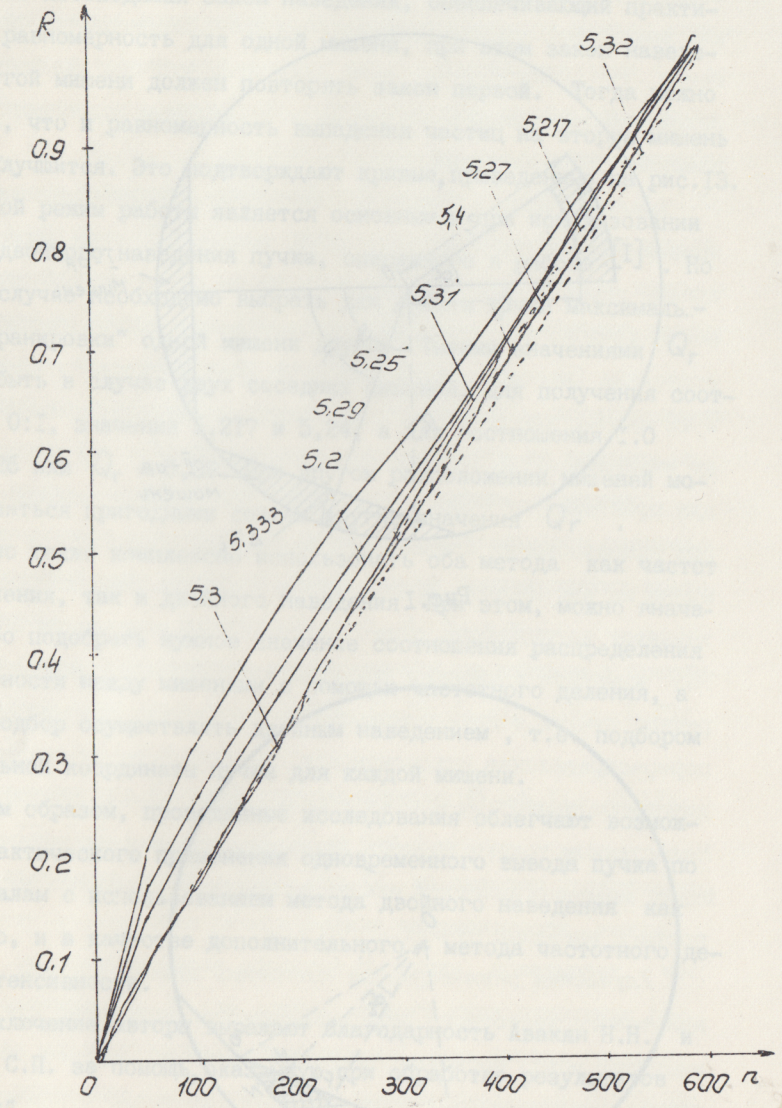


Рис.2



K=1

ΔN = const

Рис.3

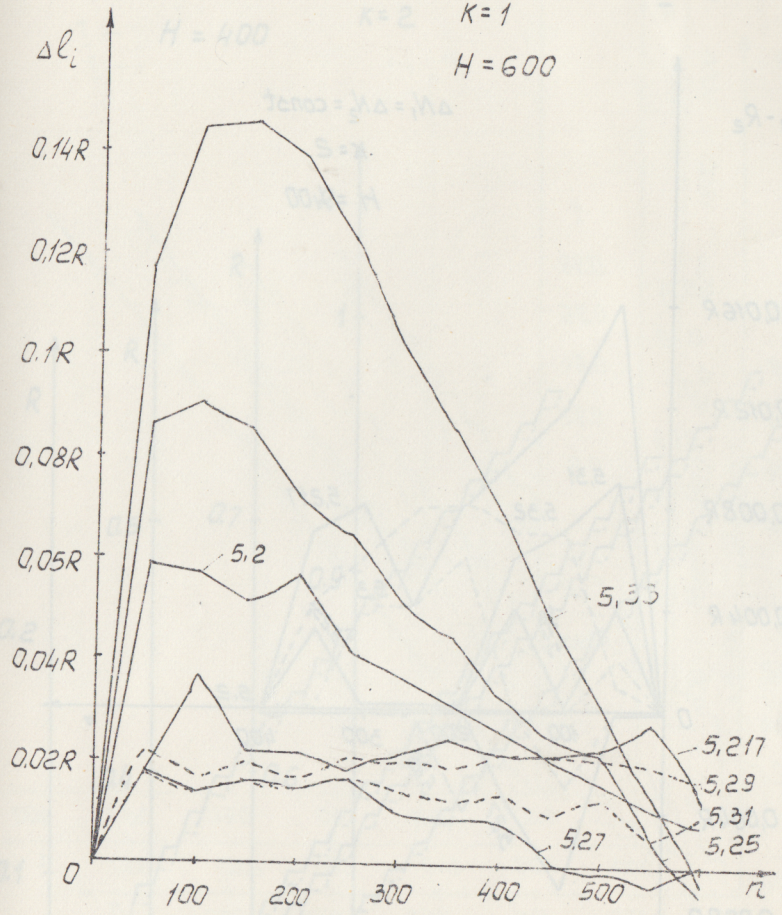


Рис.4

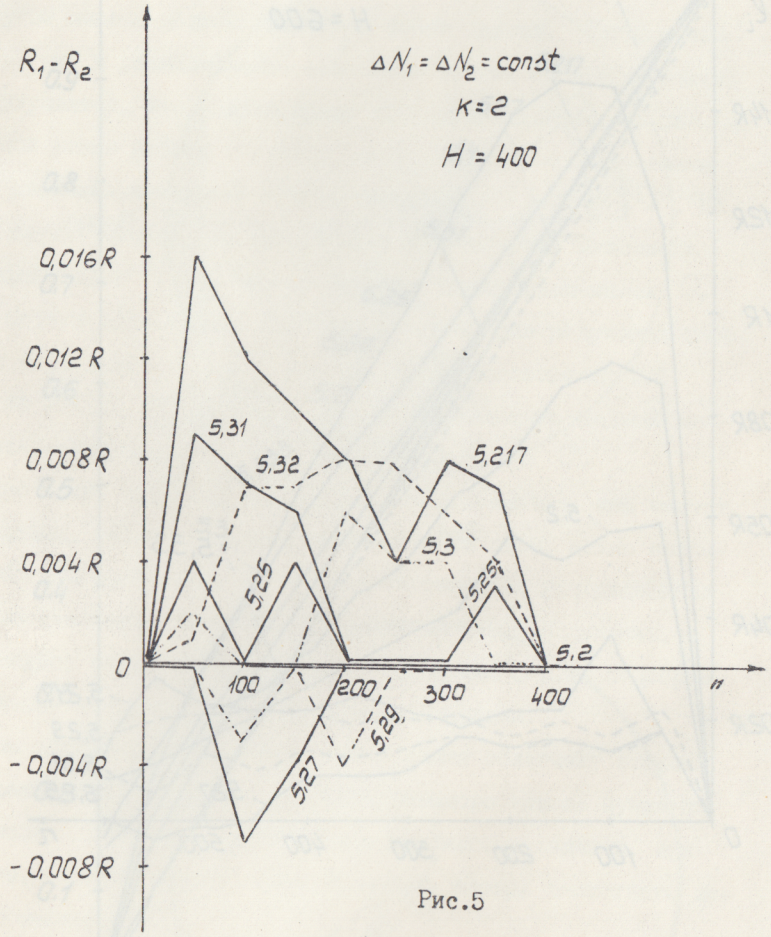


Рис.5

$Q_r = 5,2$ $\Delta N_1 = \Delta N_2 = const$ — I
-- II
$H = 400$ $K = 2$

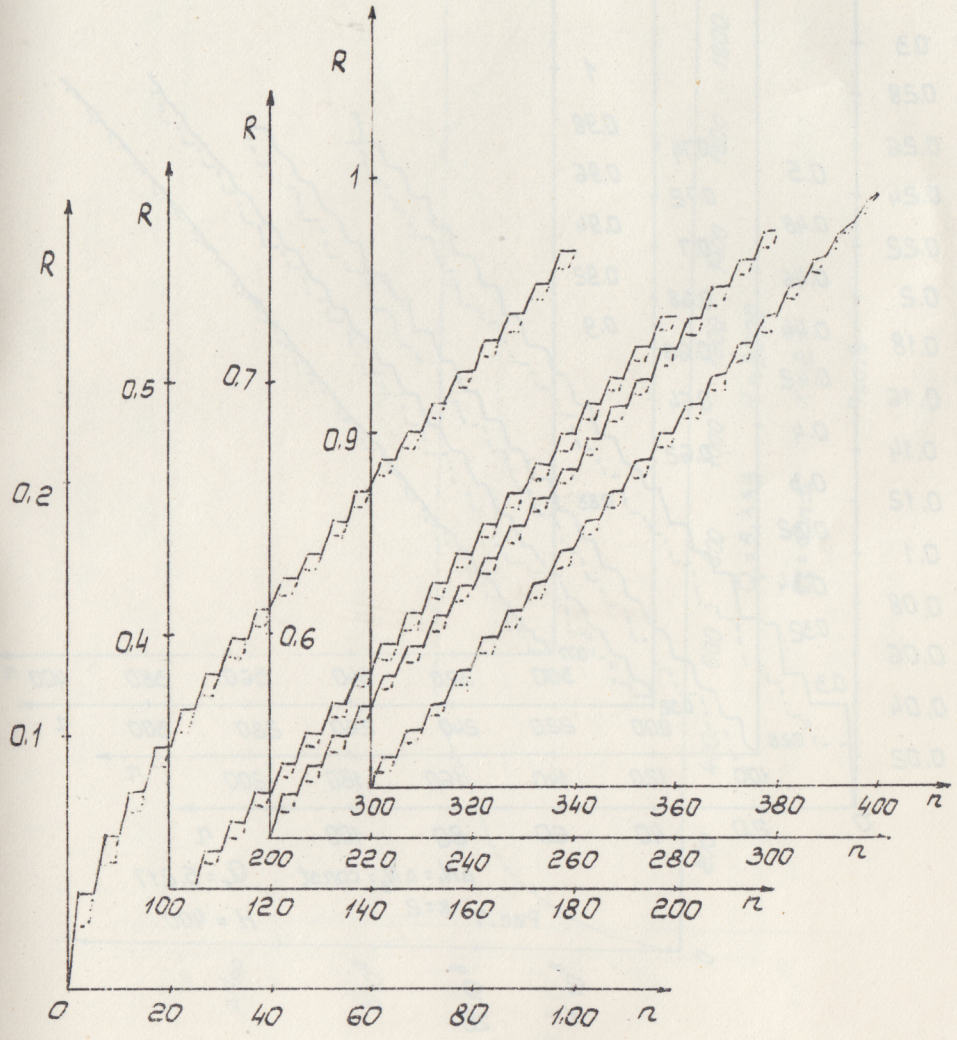


Рис.6

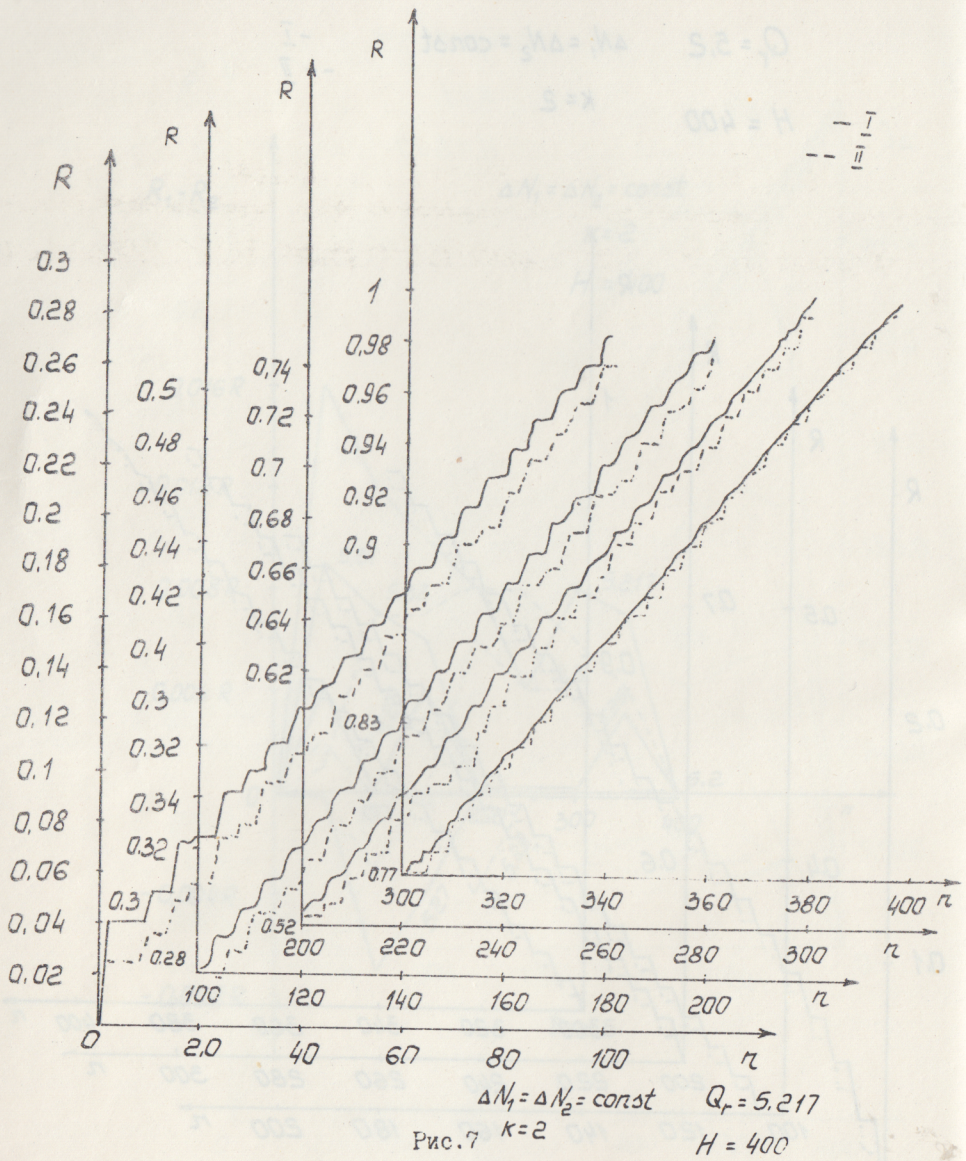

R
0.3
0.28
0.26
0.24
0.22
0.2
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
2.0
40
60
80
100
n
R
0.5
0.48
0.46
0.44
0.42
0.4
0.3
0.32
0.34
0.32
0.3
0.28
100
120
140
160
180
200
n
R
0,74
0.72
0.7
0.68
0.66
0.64
0.62
0.83
0.52
200
220
240
260
280
300
n
R
1
0,98
0.96
0,94
0.92
0.9
0.77
300
320
340
360
380
400
n
I
II
$\Delta N_1 = \Delta N_2 = const$
$Q_r = 5.217$
$k = 2$
$H = 400$

Рис.7

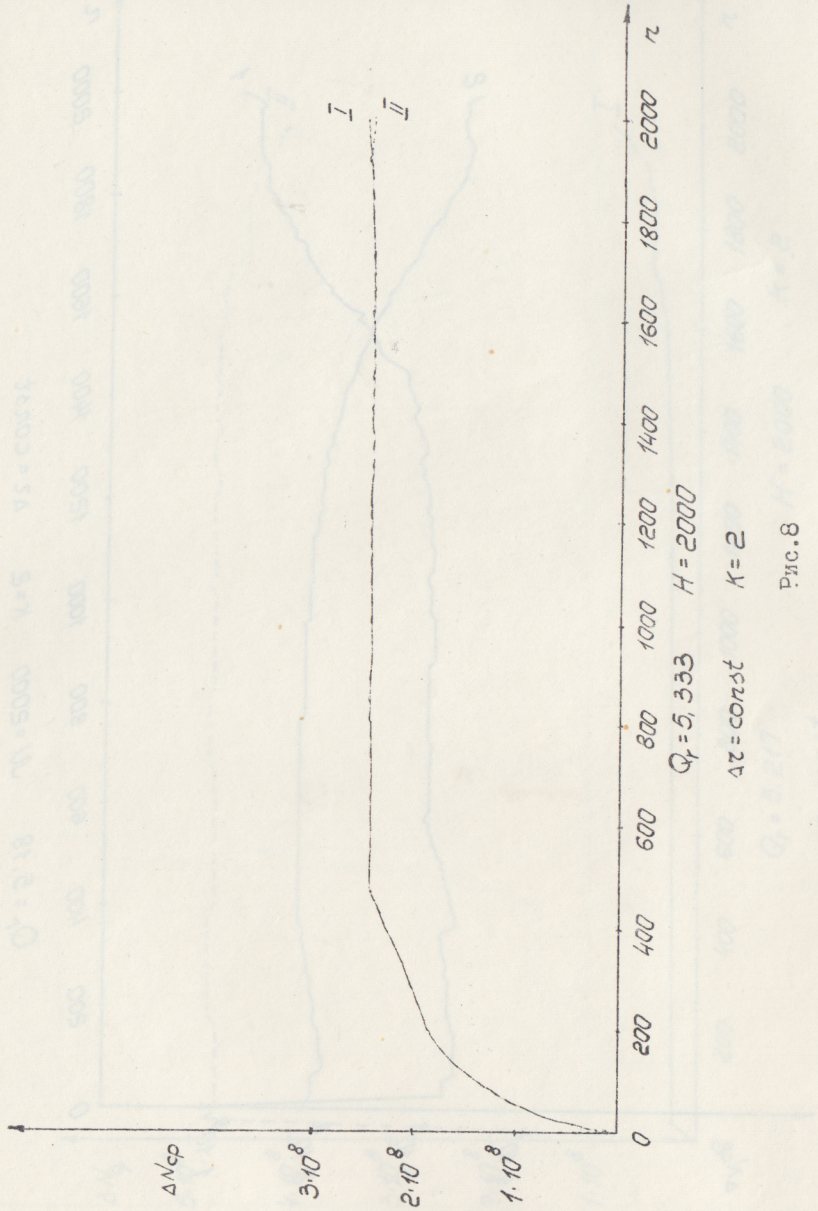
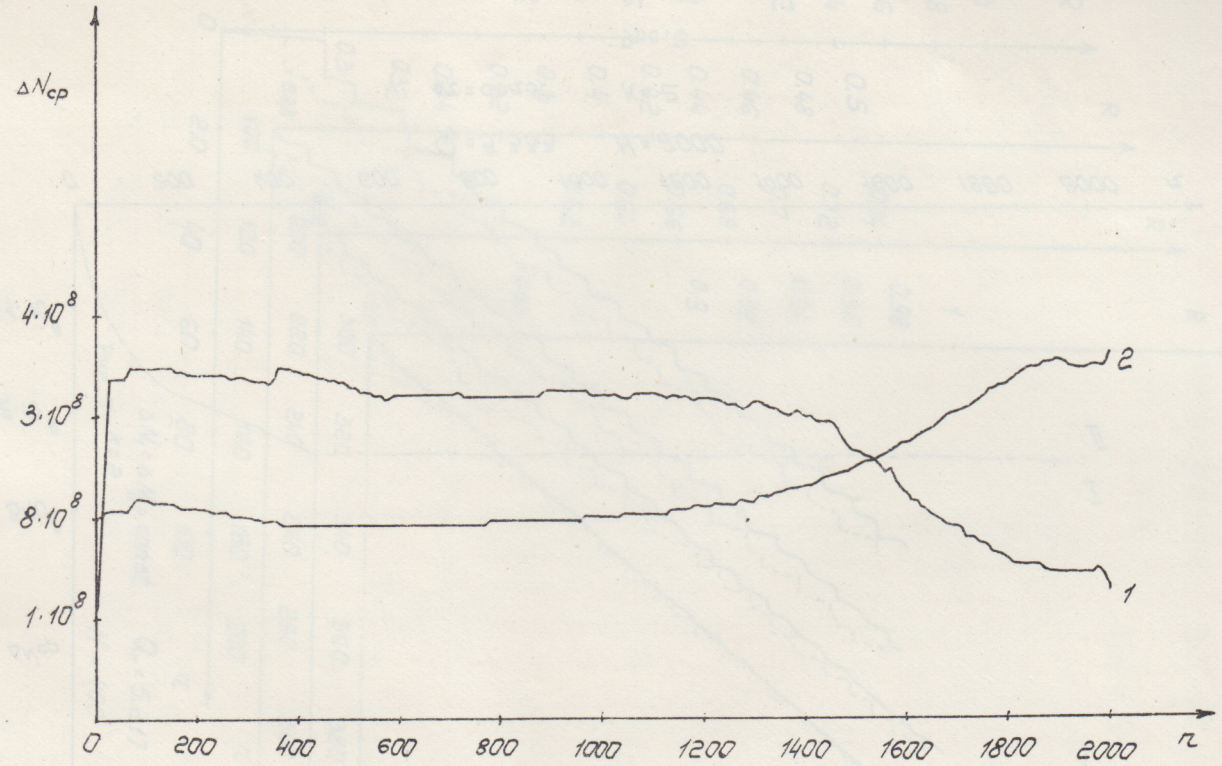
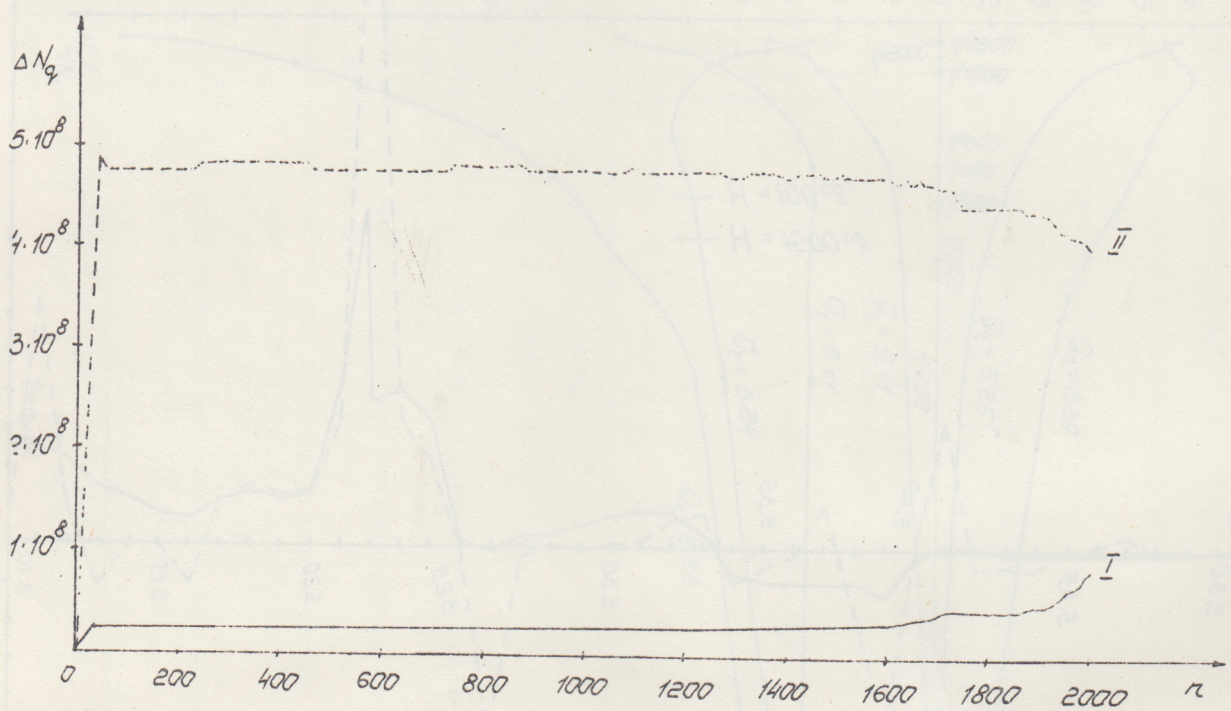

I
II
ΔN_{cp}
$3 \cdot 10^8$
$2 \cdot 10^8$
$1 \cdot 10^8$
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
n
$Q_r = 5.333$
$H = 2000$
$\Delta z = const$
$k = 2$

Рис.8



$Q_r = 5,18$ $M = 2000$ $K = 2$ $\Delta z = const$

Рис.9



$Q_r = 5,217$ $H = 2000$ $K = 2$

$\Delta z = const$

Рис.10

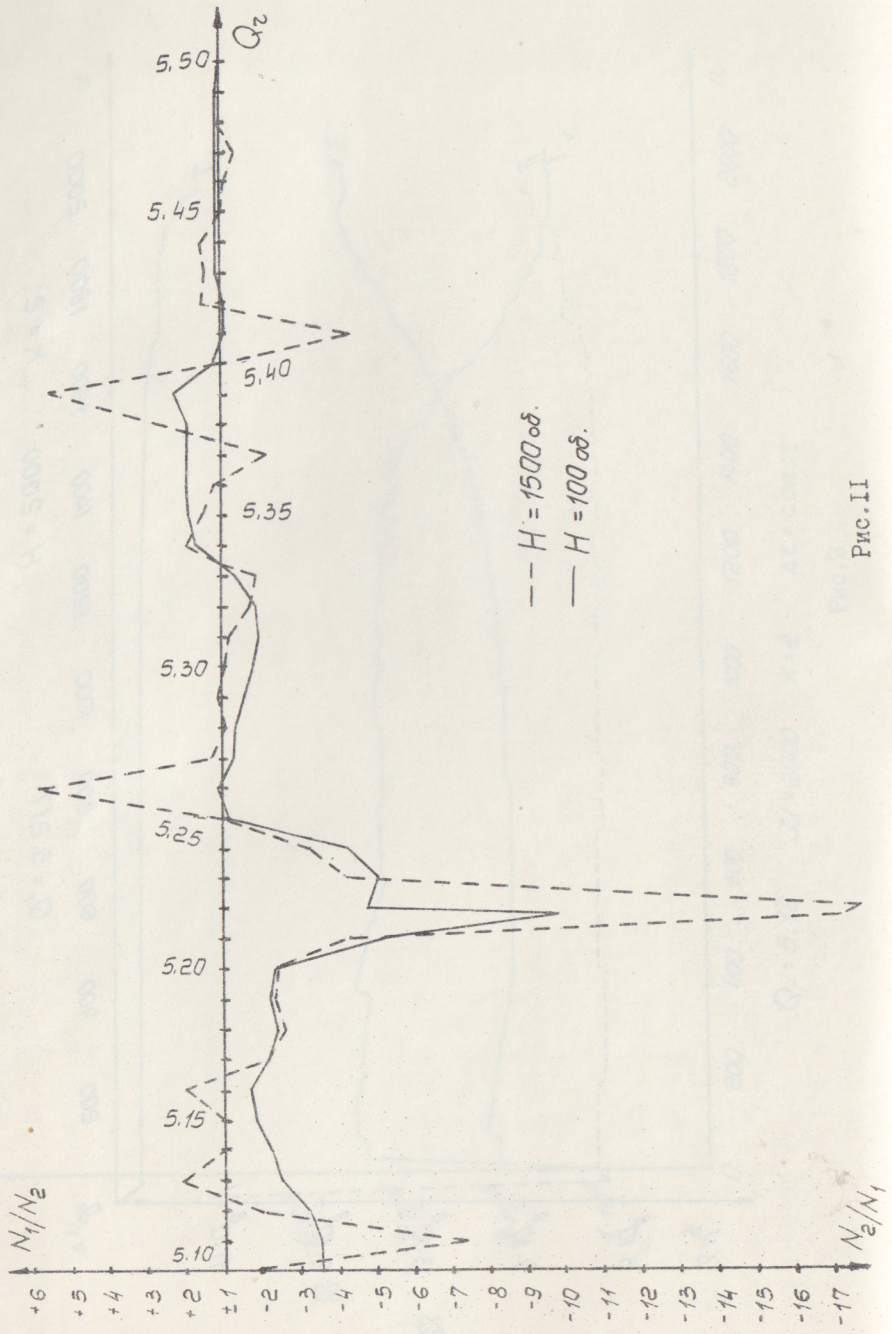

Q_z
5,50
5,45
5,40
5,35
5,30
5,25
5,20
5,15
5,10
N_1/N_2
N_2/N_1
+6 +5 +4 +3 +2 ±1 -2 -3 -4 -5 -6 -7 -8 -9 -10 -11 -12 -13 -14 -15 -16 -17
— — H = 1500 об.
— H = 100 об.

Рис.II

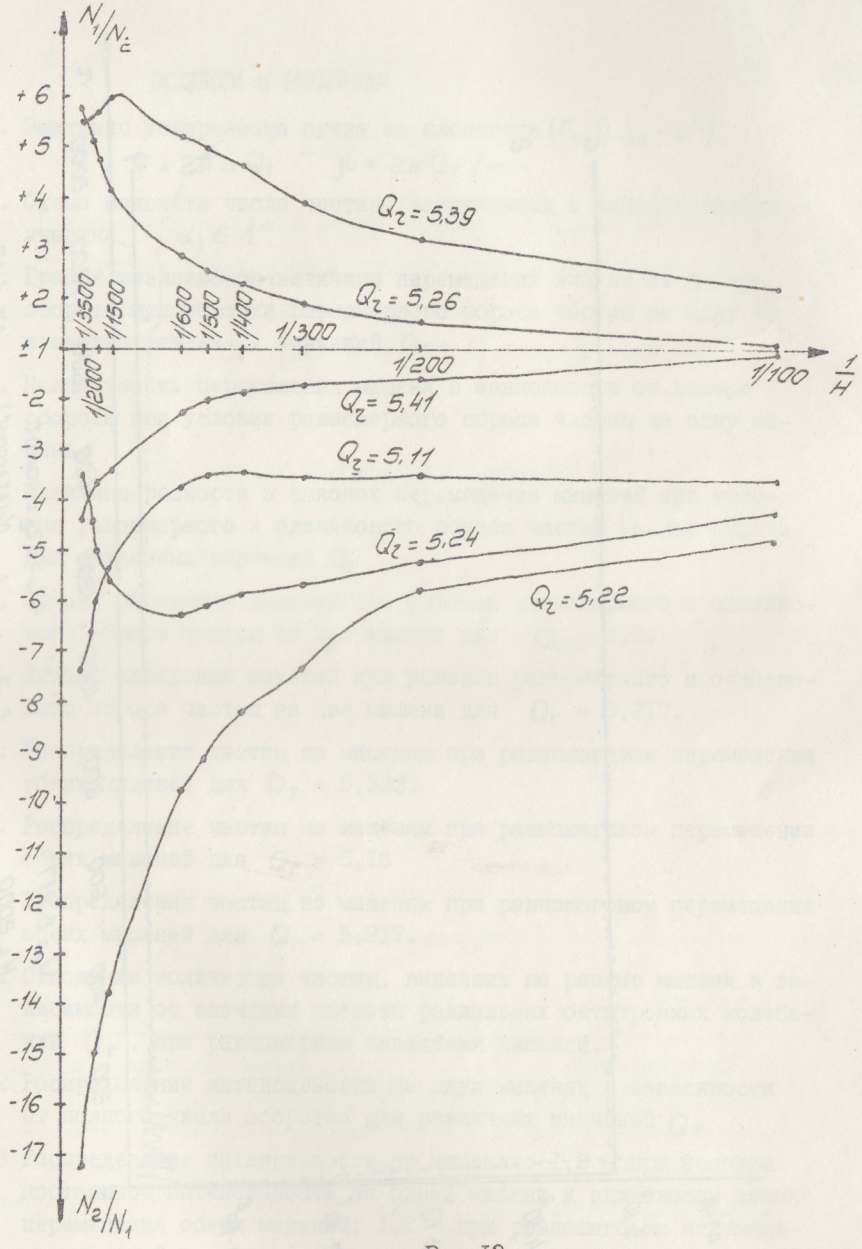

N_1/N_2
+6 +5 +4 +3 +2 ±1 -2 -3 -4 -5 -6 -7 -8 -9 -10 -11 -12 -13 -14 -15 -16 -17
1/3500
1/2000
1/1500
1/1600
1/1500
1/1400
1/300
1/200
1/100
$\frac{1}{H}$
Q_z = 5,39
Q_z = 5,26
Q_z = 5,41
Q_z = 5,11
Q_z = 5,24
Q_z = 5,22
N_2/N_1

Рис.I2

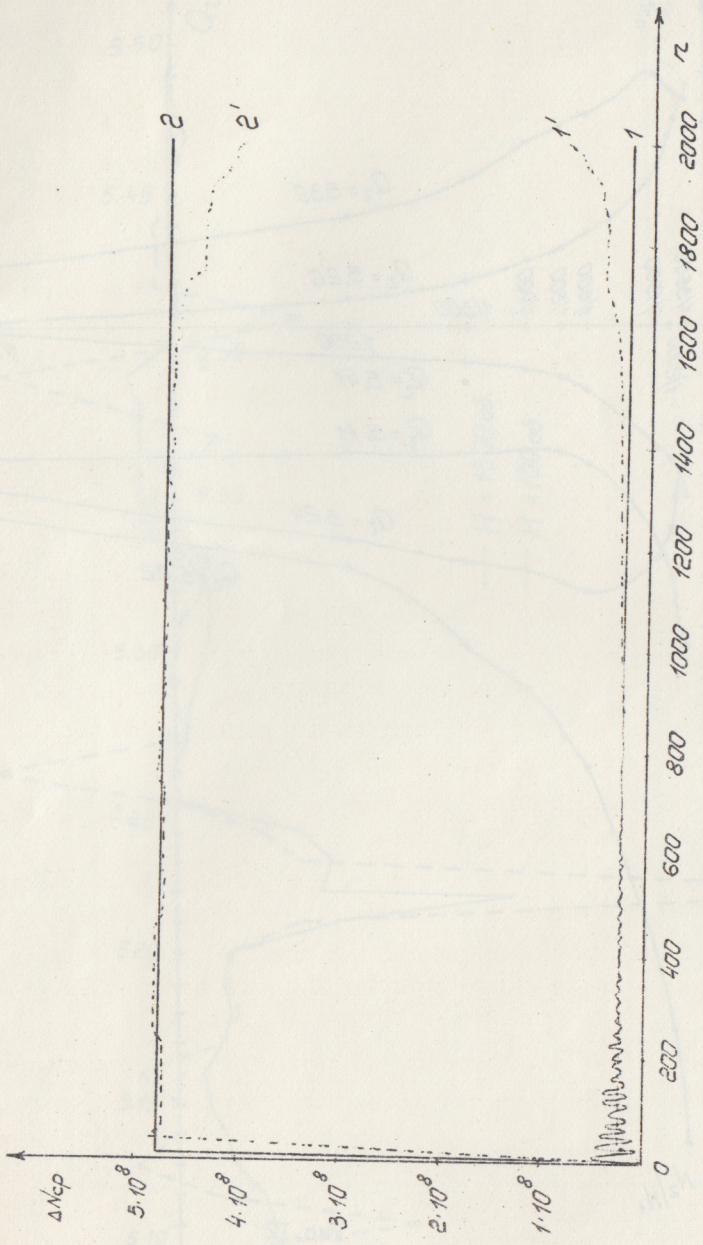


Рис.13

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.I. Эмиттанс ускоренного пучка на плоскости $(r, \beta_{max} \cdot r')$
$\psi = 2\pi \Delta Q_r \qquad \mu = 2\pi Q_r / M$

Рис.2. Схема подсчета числа частиц, заключенных в заштрихованном участке. $\alpha_i \leq 1°$

Рис.3. График зависимости величины перемещения мишени от номера оборота при условии равномерного сброса частиц на одну мишень для различных значений Q_r

Рис.4. Нелинейность перемещения мишени в зависимости от номера оборота при условии равномерного сброса частиц на одну мишень.

Рис.5. Величина разности в законах перемещения мишеней при условии равномерного и одинакового сброса частиц на две мишени для различных значений Q_r

Рис.6. Законы наведения мишеней при условии равномерного и одинакового сброса частиц на две мишени для $Q_r = 5,2$.

Рис.7. Законы наведения мишеней при условии равномерного и одинакового сброса частиц на две мишени для $Q_r = 5,217$.

Рис.8. Распределение частиц по мишеням при равношаговом перемещении обеих мишеней для $Q_r = 5,3333$

Рис.9. Распределение частиц по мишеням при равношаговом перемещении обеих мишеней для $Q_r = 5,I8$

Рис.I0 Распределение частиц по мишеням при равношаговом перемещении обеих мишеней для $Q_r = 5,2I7$.

Рис.II Отношение количества частиц, выпавших на разные мишени в зависимости от значения частоты радиальных бетатронных колебаний Q_r, при равномерном наведении мишеней.

Рис.I2 Распределение интенсивности на двух мишенях в зависимости от полного числа оборотов для различных значений Q_r

Рис.I3 Распределение интенсивности на мишенях: I,2 – при условии постоянной интенсивности на одной мишени и одинаковом законе перемещения обеих мишеней; I',2' – при равношаговом перемещении мишеней.

ЛИТЕРАТУРА

I. Х.А.Симонян, А.Р.Туманян. Метод двойного наведения пучка на внутренние мишени синхротронов высоких энергий. Труды X Международной конференции по ускорителям высоких энергий, Протвино-Серпухов П, I70-I78, I977.

Рукопись поступила 27-го июня I980 г.

Редактор Л.П.Мукаян

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 827 ВФ-05479 Тираж 299

Препринт ЕФИ Формат издания 60x84/I6

Подписано к печати 28/XI-80г. I,5 уч.изд.л. Ц. I0 к.

Издано Отделом научно-технической информации Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркаряна 2