

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄ ՆԱՍԿԻՆԻ ՄԱՍԻՆԻ
НАУЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

ЕФИ—176(22)-(76)
SU7706797

Բ.Բ.ԱՐԱՊԵՅԱՆ, Վ.Ի.ԿՈՎԱԼԵՆԿՈ, Ա.Ա.ՄԱՐԿԱՐՅԱՆ,
Վ.Տ.ՆԱՐԻՆՅԱՆ, Վ.Շ.ՆԻԿՈԳՈՏՅԱՆ, Խ.Ա.ՍԻՄՈՆՅԱՆ,
Ա.Ր.ՏՄԱՆՅԱՆ,

Օ ՎՈՅՄՈՋՈՒՄԻ ՕԴՆՈՎՐԵՄԵՆՈՂՈ ՎՅՎՈԴԱ ԿԱՏԻՑԻ
ՍՈ ՆԵՏԿՈՂԿԻՄ ԿԱՆԱԼԱՄ Վ ԵՐԵՎԱՆՍԿՈՄ ՏԻՆԽՐՈՒՄԵ

ԱՐՄՍ

ԵՐԵՎԱՆ

1976

ԵՐԵՎԱՆ



Научное сообщение ЕФ И-176(22)-(76)

УДК-621.3.038.617/624

Б.Б.АЙРАПЕТЯН, В. И. КОВАЛЕНКО, А.А.МАРКАРЯН,
В.Т.НАРИНЯН, В.Ц.НИКОГОСЯН, Х.А.СИМОНЯН,
А.Р.ТУМАНЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ОДНОВРЕМЕННОГО ВЫВОДА
ЧАСТИЦ ПО НЕСКОЛЬКИМ КАНАЛАМ В ЕРЕВАНСКОМ
СИНХРОТРОНЕ

В работе Проведен анализ экспериментов по осуществлению одновременного вывода частиц по двум каналам на других синхротронах. Определены общие требования для случая формирования пучков, одновременно выводимых по нескольким каналам из Ереванского синхротрона. Показана недостаточность существующих экспериментально-теоретических данных, для окончательного решения вопроса о возможности радиального наведения частиц одновременно по нескольким мишеням методом варьирования параметров ускоряющего поля синхротрона. Подробно рассмотрена и показана техническая возможность обеспечения одновременного радиального наведения частиц по мишеням методом создания определенных возмущений в ведущем магнитном поле синхротрона с сохранением равномерности наведения количества частиц в единицу времени.

Ереванский физический институт
Ереван 1976

Scientific Report ЕФМ-178(22)-(78)

B.B.AJRAPETYAN, V.I. KOVALENKO, A.A.
MARKARYAN, V.G. NIKOGOSYAN, V.G. NARIN-
YAN, Kh.A. SIMONYAN, A.R. TUMANYAN

ON THE POSSIBILITY OF SIMULTANEOUS
EXTRACTION OF PARTICLES ALONG SEVE-
RAL BEAM LINES AT YEREVAN SYNCHROTRON

The experiments on the simultaneous extraction of particles along two beam lines carried out at other accelerators are analyzed. General requirements for the forming of beams simultaneously extracted along several beam lines of Yerevan Synchrotron are set. The inadequacy of the available experimental-theoretical data needed to make a final decision on the possibility of radial displacement of particles to engage several targets simultaneously by means of the variation of RF field is shown. The technical possibility of the simultaneous radial displacement of particles to the targets by disturbing the synchrotron guiding magnetic field is shown keeping smooth spill time.

Yerevan Physics Institute

Yerevan, 1976

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Научное сообщение ЕФИ-176(22)-(76)

Б.Б.АЙРАПЕТЯН, В.И.КОВАЛЕНКО, А.А.МАРКАРЯН,
В.Т.НАРИНЯН, В.Ц.НИКОГОСЯН, Х.А.СИМОНЯН,
А.Р.ТУМАНЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ОДНОВРЕМЕННОГО ВЫВОДА
ЧАСТИЦ ПО НЕСКОЛЬКИМ КАНАЛАМ В ЕРЕВАНСКОМ
СИНХРОТРОНЕ

Часть I

Ереван 1976

© *Ереванский физический институт, 1976*

Введение

Существенное увеличение эффективности использования электронного синхротрона связано с созданием возможности одновременного вывода частиц, в каждом цикле ускорения, по нескольким каналам. Это обуславливается тем, что современные синхротроны на высокие энергии могут обеспечить ускорение частиц в каждом цикле до $20 \div 80$ ма тока в пучке, а эксперименты по физике элементарных частиц используют не более $2 \div 3$ ма тока в каждом цикле, чем и принудительно снижают эффективность использования ускорителя при одноканальном выводе частиц.

Попытки создания и разработки методов и устройств для одновременного вывода частиц не увенчались удовлетворительным успехом на других синхротронах. Так, например, на синхротроне NINA были исследованы возможности одновременного сброса частиц на две мишени путем запитки двух обычных систем "бим"-, -"бампа" и деления интенсивности пучка между этими мишенями методом изменения взаимного расположения по радиусу самих мишеней [1]. Результаты исследования таковы: при делении интенсивности пучка в диапазоне соотношений от 1:10 до 10:1 мишени взаимно перемещались по радиусу до 14 мм, что приводило, кроме параллельного смещения трассы выводимого пучка, к изменению его углов выхода из-за неравенства нулю производной локального возмущения орбиты в точке

расположения мишеней, чем и обусловилась практическая непригодность использованного метода.

На том же синхротроне была исследована возможность одновременного вывода двух электронных пучков путем создания аналогичного возмущения орбиты пучка. В результате было получено, что при равном делении интенсивности между двумя каналами, эффективность вывода электронов снижается с 70% до 40%, что и явилось ограничением для практического использования этого метода. Однако, было показано, что целесообразно осуществлять одновременный вывод двух электронных пучков при соотношении интенсивности в каналах 1:100, так как в этом случае общая эффективность вывода остается прежней.

Создание возможности одновременного вывода частиц по нескольким каналам связано с преодолением, в основном, двух принципиальных трудностей, а именно:

1. Разработки методов и устройств, обеспечивающих равномерное, по количеству частиц в единицу времени, радиальное наведение ускоренного пучка одновременно на несколько мишеней.
2. Разработки методов и устройств, обеспечивающих оперативное перераспределение между мишенями интенсивности сбрасываемых пучков.

Указанные пункты полностью взаимосвязаны и только одновременное решение обоих пунктов позволит создать возможность многопучкового вывода частиц из синхротрона.

При решении вопросов по первому пункту необходимо выдержать следующие требования:

- а). Радиальное и азимутальное месторасположение внутренних мишеней синхротрона сохраняется неизменным.

Такое требование связано с необходимостью сохранения неизменным месторасположения трасс и пучководов

выводимых частиц и экспериментального оборудования. В противном случае экономическая целесообразность создания возможности одновременного вывода частиц ставится спорной. Следствием этого требования является также сохранение необходимости в радиальном наведении частиц на мишени.

б). Закон скорости радиального наведения частиц по мишеням должен выбираться только из условий обеспечения равномерности сбрасывания количества частиц в единицу времени с сохранением длительности времени вывода частиц.

Строгое соблюдение требования равномерности и длительности вывода частиц обуславливается характером работы экспериментальных установок и их электронной аппаратуры. Это требование, в то же время, предопределяет необходимость разработки такого метода оперативного перераспределения интенсивности между мишенями, при котором не нарушается установленная равномерность и длительность вывода частиц.

а). Радиальное смещение орбиты для наведения частиц на мишени желательно создавать "идеальным", т.е. таким, чтобы смещение орбиты происходило только в местах расположения мишеней, а на остальной части орбита оставалась невозмущенной.

Это требование обуславливается, в основном, двумя причинами, во-первых, для обеспечения стабильности работы каналов синхротронного излучения и, во-вторых, для устранения возможности потерь частиц на стенках оборудования кольца ускорителя из-за несоответствия их апертурных размеров и геодезических погрешностей расположения. Кроме того, очевидно, что при радиальном смещении пучка необходимо выдержать производную искажения орбиты в точке расположения мишеней близкой к нулю, с целью уменьшения влияния неконтролируемых изменений параметров ускорителя на вывод частиц.

При решении задачи по второму пункту необходимо соблюдение следующего требования. При оперативном перераспределении интенсивности между мишенями, основные параметры выводимых пучков (кроме интенсивности) должны сохраняться неизменными. В основном это требование сводится к необходимости сохранения равномерности и длительности вывода при перераспределении пучка, так как ранее установленное требование о неподвижности мишеней уже предопределяет стабильность трасс выводимых частиц.

Ниже рассмотрены методы радиального наведения частиц одновременно на несколько внутренних мишеней синхротрона с соблюдением вышеуказанных требований.

§ 1. Методы радиального наведения частиц одновременно на несколько мишеней синхротрона.

Радиальное смещение орбиты ускоряемого пучка в синхротроне осуществляется либо варьированием параметров ускоряющего высокочастотного (ВЧ) поля резонаторов, либо соответствующим возмущением основного магнитного поля.

§ 1.1. Метод варьирования параметрами ускоряющего поля для радиального смещения орбиты пучка.

Метод варьирования параметрами ускоряющего поля для наведения частиц на мишени обычно используется в синхротронах со слабой фокусировкой. Возможность использования этого метода применительно для Ереванского синхротрона рассмотрена в работе [2]. Однако этот метод не получил распространения и развития из-за его неприменимости в случае деления интенсивности пучка между мишенями по циклам. Деление по циклам целесо-

образно осуществлять при ускорении малоинтенсивных пучков в каждом цикле ускорения в синхротронах с сильной фокусировкой.

В случае необходимости одновременного сброса частиц на несколько мишеней в каждом цикле ускорения, использование метода варьирования ВЧ поля становится достаточно заманчивым по ряду присущих методу преимуществ. Во-первых, по экономическим соображениям, так как в случае использования метода потребуется только лишь создание маломощных электронных регуляторов параметрами ВЧ питания резонаторов и, во-вторых, по предоставляемой возможности сохранения работоспособности старой системы деления пучка по циклам между мишенями методом возмущений основного магнитного поля, что представляет существенное практическое удобство.

Однако, для окончательного решения возможности использования метода варьирования параметрами ускоряющего поля с целью обеспечения одновременного радиального наведения частиц на мишени с соблюдением оговоренных требований необходимо провести дополнительные, как экспериментальные, так и теоретические исследования, в частности, на предмет выяснения следующих вопросов: возможности увеличения стабильности заданных значений амплитуд суммарного ускоряющего поля на орбите; возможности управления амплитудой и частотой фазовых колебаний пучка; возможности удаления из кольцевой дорожки оборудования, имеющего апертуру меньше апертуры вакуумной камеры; возможности уменьшения по радиусу расстояния между мишенями и равновесной орбитой пучка и т.д.

Не исключено, что, на основании дальнейших исследований и изысканий, возможно окажется оптимальным вариант комбинированного использования обоих методов радиального смещения орбиты пучка и поэтому, во всех случаях, проведение вышеуказанных исследований представляется достаточно целесообразным.

В синхротронах с сильной фокусировкой получил широкое распространение метод локального смещения орбиты пучка путем возмущения основного магнитного поля системами типа "бим-бамп". Такой метод успешно используется для корректировки орбиты по участкам [3], или для локального наведения частиц на мишени [4].

Ниже, применительно для Ереванского синхротрона, получены расчетные выражения для создания "идеальных" одного, двух и трехпиковых смещений по радиусу равновесной замкнутой орбиты ускоряемого пучка в заранее заданных точках.

§ 1.2. Метод возмущения основного магнитного поля для радиального смещения орбиты пучка.

Как известно [4], если на каком-то малом участке кольцевого электромагнита (S_1, S_2) имеется возмущение поля $\delta = \left(-\frac{1}{\rho} \frac{\Delta H}{H_0}\right)$, изменяющееся от оборота к обороту по определенному закону ($\delta = \text{const}$ в течение оборота), то мгновенную орбиту на "к"-ом обороте можно представить в виде.

$$r_{\text{зам}}(s, k) \Big|_{0 \leq s \leq s_1} = \frac{\beta^{1/2}(s) \cdot \eta}{2 \sin \pi Q} \delta(k) \cos[\psi(s) + \pi Q - \alpha]$$

и

(1)

$$r_{\text{зам}}(s, k) \Big|_{s_2 \leq s \leq L} = \frac{\beta^{1/2}(s) \cdot \eta}{2 \sin \pi Q} \delta(k) \cos[\psi(s) - \pi Q - \alpha],$$

где введены следующие обозначения:

$$J = \sqrt{J_c^2 + J_s^2} ; \quad J_{c,s} = \int_{s_1}^{s_2} \beta^{1/2}(x) \begin{pmatrix} \cos \\ \sin \end{pmatrix} \psi(x) dx$$

$$\alpha = \arctg \frac{J_s}{J_c}, \quad \psi(s) = \int_0^s \frac{dx}{\beta(x)} \quad (2)$$

$\beta(s)$ и $\psi(s)$ - соответственно, амплитудная и фазовая функции [3] со свойствами

$$\beta(m\ell + s) = \beta(s); \quad \psi(s + m\ell) = \psi(s) + m\mu \quad (3)$$

$$\mu = 2\pi\nu = \int_s^{s+\ell} \frac{dx}{\beta(x)}; \quad Q = M\nu:$$

ν - число бетатронных колебаний на периоде ℓ магнитной структуры, m - целое число, Q - число бетатронных колебаний на обороте пучка, S - координата вдоль кривой длиной $L = M\ell$, M - число периодов магнитной структуры.

Если в кольцевом электромагните имеется n возмущений δ_i , расположенных, соответственно, на участках (S_{2i+1}, S_{2i+2}) ($i = 0, 1, 2, \dots$), то замкнутая орбита описывается соответствующей формулой на каждом из участков (S_{2i}, S_{2i+1}) между возмущениями. Если ввести нумерацию этих участков как $(S_{2i}, S_{2i+1}) \rightarrow m = i + 1$, то замкнутая орбита на "m"-ом участке запишется в виде

$$\begin{aligned}
 \Gamma_{\text{зам}}(s, \kappa) \Big|_m = & \frac{\beta^{1/2}(s)}{2 \sin \pi Q} \left\{ \sum_{i=m-1}^{n-1} \delta_i(\kappa) J_i \cos[\psi(s) + \pi Q - \alpha_i] + \right. \\
 & \left. + \sum_{j=0}^{m-2} \delta_j(\kappa) J_j \cos[\psi(s) - \pi Q - \alpha_j] \right\} \quad (4)
 \end{aligned}$$

где введены обозначения

$$J_i = \sqrt{J_{is}^2 + J_{ic}^2}; \quad J_{ic,s} = \int_{s_{2i+1}}^{s_{2i+2}} \beta^{1/2}(x) \left(\frac{\cos}{\sin} \right) \psi(x) dx \quad (5)$$

$$\alpha_i = \arctg \frac{J_{is}}{J_{ic}}.$$

Тогда функции $\Gamma_{\text{зам}}(s, \kappa) \Big|_1$ и $\Gamma_{\text{зам}}(s, \kappa) \Big|_{n+1}$ описывают замкнутую орбиту вне участка, ограниченного первым и последним ("n" -ым) возмущениями.

Из (4) следует, что их можно записать в виде (1):

$$\begin{aligned}
 \Gamma_{\text{зам}}(s, \kappa) \Big|_1 = & \frac{\beta^{1/2}(s)}{2 \sin \pi Q} A \cos[\psi(s) + \pi Q - \xi] \\
 \Gamma_{\text{зам}}(s, \kappa) \Big|_{n+1} = & \frac{\beta^{1/2}(s)}{2 \sin \pi Q} A \cos[\psi(s) - \pi Q - \xi], \quad (6)
 \end{aligned}$$

где

$$A = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad \xi = \arctg \frac{b}{a}; \quad (7)$$

$$a = \sum_{i=0}^n \delta_i J_i \cos \alpha_i; \quad b = \sum_{i=0}^n \delta_i J_i \sin \alpha_i .$$

Таким образом, для того чтобы орбита на этих участках не отличалась от координатной кривой, необходимо выполнение условия $A = 0$, что возможно только при

$$a = 0, \quad b = 0 . \quad (8)$$

Если имеется свободный выбор величин δ_i и участков их расположения (S_{2i+1}, S_{2i+2}) , то условие (8) можно удовлетворить двумя возмущениями. Если эти возмущения магнитного поля расположить симметрично относительно точки вывода так, чтобы между ними укладывалось точно полволны бетатронных колебаний, то локальное смещение замкнутой орбиты будет "идеальным" (идеальный бим-бамп).

Однако, при практической реализации такого бампа появляются известные трудности. Так, если возмущения δ_i создавать при помощи дополнительных обмоток блоков кольцевого электромагнита, то с одной стороны, нарушается произвол в выборе места расположения возмущений, а с другой — возникает необходимость компенсации наводимых ЭДС ведущим полем синхротрона в этих обмотках.

Именно поэтому на синхротронах бамп осуществляется при помощи двух пар встречно включенных дополнительных обмоток блоков. При этом бампы получают не "идеальными" — имеются небольшие, около 10%, отклонения орбиты от координатной кривой на всем кольце. Эта искаженность орбиты (несмотря на свою малость) не позволяет использовать одновременно два и более бампов для вывода частиц из разных точек кольца.

Таким образом, для решения проблемы одновременного вывода частиц из нескольких точек кольца необходимо найти возможность создания идеального бампа для

каждого конкретного синхротрона. Решение этой проблемы стало возможным для Ереванского синхротрона после того, как была предложена идея компенсировать наземные ЭДС обмотками измерительных блоков, включенных последовательно с основными и установленными вне орбиты пучка синхротрона. В этом случае появляется свобода в выборе величин δ_i , но остается дискретный характер выбора места их расположения. Ниже приводится расчет такого бампа.

§ 1.3. Расчет "идеального" бим-бампа для Ереванского синхротрона

Допустим в кольцевом электромагните синхротрона имеются четыре (минимально необходимые, см. ниже) независимых возмущений $\delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3$, создаваемые дополнительными обмотками основных блоков (ток в обмотках изменяется по определенной программе). Тогда координаты S_{2i+1}, S_{2i+2} есть координаты начала и конца возмущенного блока. Уравнение замкнутой орбиты на m -ом участке ($m = 1, 2, 3, 4, 5$) примет вид

$$r(s)|_m = \frac{\delta \cdot \beta^{1/2}(s)}{2 \sin \pi Q} \left\{ \sum_{i=m-1}^3 x_i J_i \cos[\psi(s) + \pi Q - \alpha_i] + \sum_{j=0}^{m-2} x_j J_j \cos[\psi(s) - \pi Q - \alpha_j] \right\}, \quad (9)$$

где введены обозначения

$$\delta_0 = \delta; \quad x_i = \frac{\delta_i}{\delta} \quad (10)$$

(здесь и далее мы опускаем индексы "зám" и "к").

Условие (8) приобретает вид

$$a = \sum_{i=0}^3 x_i J_i \cos \alpha_i = 0$$

$$b = \sum_{i=0}^3 x_i J_i \sin \alpha_i = 0 \quad (11)$$

Другим необходимым условием для получения идеального бампа является равенство нулю производной $\frac{dr}{ds} = r'(s)$ в точке вывода s_b

$$r'(s_b) = 0 \quad (12)$$

Условия (11) и (12) являются лишь необходимыми, но недостаточными для получения идеального бампа. Заметим, что именно отсюда следует, что минимальное число δ_i должно быть 4, так как одно из них (в наших обозначениях $\delta_0 = \delta$) должно оставаться произвольным для подвода пучка бампом к мишени.

Из соображений симметрии бампа по отношению к точке вывода, следует располагать возмущения δ_i по два с каждой стороны от точки вывода. Тогда $r'(s)$ находится из $r(s)|_3$

Учитывая, что мишени в Ереванском синхротроне расположены в середине фокусирующих полублоков, где $\beta'(s) = 0$, условие (12) можно записать в виде

$$\sum_{i=0}^1 x_i J_i \sin[\psi(s_b) - \pi Q - \alpha_i] + \sum_{i=2}^3 x_i J_i \sin[\psi(s_b) + \pi Q - \alpha_i] = 0 \quad (13)$$

что вместе с (11) дает

$$\chi_1 = - \frac{J_0 \cos [\psi(s_6) - \alpha_0]}{J_1 \cos [\psi(s_6) - \alpha_1]},$$

$$\chi_2 = - \frac{J_0 J_3 \sin(\alpha_3 - \alpha_0) + \chi_1 J_1 J_3 \sin(\alpha_3 - \alpha_1)}{J_2 J_3 \sin(\alpha_3 - \alpha_2)}, \quad (14)$$

$$\chi_3 = \frac{J_0 \sin(\alpha_2 - \alpha_0) + \chi_1 J_1 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)}{J_3 \sin(\alpha_3 - \alpha_2)}.$$

В периоде магнитной структуры Ереванского синхротрона имеются два типа блока; FD и DF. Если для первого периода ввести обозначения

$$I_{1c,s} = \int_{FD} \beta^{1/2}(s) \begin{pmatrix} \cos \\ \sin \end{pmatrix} \psi(s) ds; \quad I_1 = \sqrt{I_{1s}^2 + I_{1c}^2}$$

$$A_1 = \alpha \operatorname{arctg} \frac{I_{1s}}{I_{1c}} \quad (15)$$

$$I_{2c,s} = \int_{DF} \beta^{1/2}(s) \begin{pmatrix} \cos \\ \sin \end{pmatrix} \psi(s) ds; \quad I_2 = \sqrt{I_{2s}^2 + I_{2c}^2}$$

$$A_2 = \alpha \operatorname{arctg} \frac{I_{2s}}{I_{2c}}; \quad \alpha = A_2 - A_1,$$

то во всех FD и DF блоках остальных периодов интегралы J_i равны, соответственно, I_1 и I_2 . Поэ-

тому возможные значения интегралов J_i есть I_1 или I_2 , а возможные фазы $\alpha_i = A_1 + m\mu$ или $\alpha_i = A_2 + n\mu$ ($m, n = 1, 2, 3, \dots, M$).

Выбор α_i мы проводим из физических соображений. Для варианта, изображенного на рис.1, имеем:

$$J_0 = J_2 = I_2; \quad J_1 = J_3 = I_1; \quad \psi(s_0) = 2\mu, \quad (16)$$

$$\alpha_0 = A_2; \quad \alpha_1 = \mu + A_1; \quad \alpha_2 = 2\mu + A_2; \quad \alpha_3 = 3\mu + A_1.$$

Подставляя в (11) получим:

$$x_1 = - \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{\cos(2\mu - A_2)}{\cos(\mu - A_1)},$$

$$x_2 = - \frac{I_2 \sin(3\mu - \alpha) + x_1 I_1 \sin 2\mu}{I_2 \sin(\mu - \alpha)},$$

$$x_3 = \frac{I_2 \sin 2\mu + x_1 I_1 \sin(\mu + \alpha)}{I_1 \sin(\mu - \alpha)}.$$

Численные значения входящих сюда величин для двух значений частот Q_T приведены в таблице 1. Расчетные значения $r(s)$ по формуле (9), приведенные в таблице 3 (вариант 1), подтверждают, что при выбранном варианте действительно получается идеальный бамп.

При этом надо учесть, что в этом случае для питания обмоток блоков (на рис.1 возмущенные блоки заштрихованы) потребуется увеличить мощность источника тока примерно в 4 раза по сравнению с существующей [5]. Однако, учитывая имеющийся большой запас мощности в основной системе питания блоков электромагнита, можно сохранить мощность источника тока для дополнительных обмоток прежней за счет уменьшения поля, примерно на 1,5%, во

всех блоках путем их шунтирования, кроме блоков используемых для создания бампов.

§ 1.4. Расчет "идеального" двухпикового бим-бампа.

Существование рассмотренного выше однопикового идеального бампа для Ереванского синхротрона еще, к сожалению, не решает проблемы одновременной работы, скажем, первого (γ_1) и второго (γ_2) гамма-каналов, поскольку, точки расположения их мишеней находятся в двух соседних фокусирующих промежутках, расстояние между которыми составляет один период магнитной структуры. (Рассмотренный выше бамп занимает три периода). Поэтому хотя и технически возможно одновременно запитать две системы таких бампов, каждый из которых дает максимум $\gamma(S)$ в нужном месте, одновременную работу таких двух каналов обеспечить невозможно, поскольку бампы влияют друг на друга.

В связи с этим исследована возможность получения идеального бампа, но с двумя максимумами в необходимых точках орбиты (двухпиковый бамп). Для удовлетворения необходимых требований (см. ниже) оказалось достаточным использование шести блоков, в которых должны создаваться соответствующие возмущения магнитного поля. Из физических соображений два из них приняты те, которые находятся между точками вывода γ_1 и γ_2 (т.е. середины двух ближайших фокусирующих промежутков). Остальные четыре блока распределены по два с каждой стороны от точек расположений мишеней.

Поиск необходимого варианта заключается в нахождении месторасположения возмущаемых блоков, поскольку величины δ_i определяются аналогично (17). В этом случае уравнение замкнутой орбиты на m -ом участке ($m = 1, 2, \dots, 7$) будет:

$$r(s)|_m = \frac{\delta \cdot \beta^{1/2}(s)}{2 \sin \pi Q} \left\{ \sum_{i=m-1}^5 x_i J_i \cos[\psi(s) + \pi Q - \alpha_i] + \sum_{i=0}^{m-2} x_j J_j \cos[\psi(s) - \pi Q - \alpha_i] \right\}, \quad (18)$$

где

$$\delta_0 = \delta \quad x_i = \delta_i / \delta$$

а условия (8) примут вид

$$\sum_{i=0}^5 x_i J_i \cos \alpha_i = 0; \quad \sum_{i=0}^5 x_i J_i \sin \alpha_i = 0. \quad (19)$$

Кроме естественных условий

$$r'(S_{\gamma_1}) = r'(S_{\gamma_2}) = 0, \quad (20)$$

налагается еще условие

$$r'(S_{сеп}) = 0, \quad (21)$$

где $S_{сеп}$ — координата середины интервала между S_{γ_1} и S_{γ_2} (середины промежутка между дефокусирующими полублоками).

В силу выбранного размещения олоков по отношению к точкам S_{γ_1} и S_{γ_2} , $r'(S_{\gamma_1})$ определяется из $r(s)|_3$, $r'(S_{сеп})$ из $r(s)|_4$, а $r'(S_{\gamma_2})$ из $r(s)|_5$. Поэтому условия (20) и (21) имеют вид

$$\sum_{i=0}^1 x_i J_i \sin[\psi(S_{\gamma_1}) - \pi Q - \alpha_i] + \sum_{i=2}^5 x_i J_i \sin[\psi(S_{\gamma_1}) + \pi Q - \alpha_i] = 0,$$

$$\sum_{i=0}^3 x_i J_i \sin[\psi(S_{\gamma_2}) - \pi Q - \alpha_i] + \sum_{i=4}^5 x_i J_i \sin[\psi(S_{\gamma_2}) + \pi Q - \alpha_i] = 0,$$

(22)

$$\sum_{i=0}^2 x_i J_i \sin[\psi(S_{cep}) - \pi Q - \alpha_i] + \sum_{i=3}^5 x_i J_i \sin[\psi(S_{cep}) + \pi Q - \alpha_i] = 0,$$

(здесь использовано, что $\beta'(S_{\gamma_1}) = \beta'(S_{\gamma_2}) = \beta'(S_{cep}) = 0$)
Из (19) и (22) получим

$$x_1 = - \frac{J_0}{J_1} \frac{\cos[\psi(S_{\gamma_1}) - \alpha_0]}{\cos[\psi(S_{\gamma_1}) - \alpha_1]} ;$$

$$x_2 = - \frac{\sum_{i=0}^1 x_i J_i \cos[\psi(S_{cep}) - \alpha_i]}{J_2 \cos[\psi(S_{cep}) - \alpha_2]} ;$$

$$x_3 = - \frac{\sum_{i=0}^2 x_i J_i \cos[\psi(S_{\gamma_2}) - \alpha_i]}{J_3 \cos[\psi(S_{\gamma_2}) - \alpha_3]} ;$$

(23)

$$x_4 = - \frac{\sum_{i=0}^3 x_i J_i \sin(\alpha_5 - \alpha_i)}{J_4 \sin(\alpha_5 - \alpha_4)} ;$$

$$x_5 = \frac{\sum_{i=0}^3 x_i J_i \sin(\alpha_4 - \alpha_i)}{J_5 \sin(\alpha_5 - \alpha_4)} .$$

Сравнивая (23) с (14) видно, что X_1 в обоих случаях определяется одной и той же формулой. Это подсказывает, что точку S_6 при идеальном бампе надо принять здесь за S_{γ_1} . Тогда (см. рис.3):

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= A_2; & J_0 &= I_2; & \psi(S_{\gamma_1}) &= 2\mu \\ \alpha_1 &= \mu + A_1; & J_0 &= I_1; & \psi(S_{\gamma_2}) &= 3\mu. \\ \alpha_2 &= 2\mu + A_1; & J_2 &= I_1; \\ \alpha_3 &= 2\mu + A_2; & J_3 &= I_2; \end{aligned}$$

Два оставшихся параметра α_4 , α_5 (а следовательно и J_4 и J_5) выбираются из соображений симметрии. То есть

$$\alpha_4 = 3\mu + A_2; \quad \alpha_5 = 4\mu + A_1$$

и, следовательно

$$J_4 = I_2 \quad \text{и} \quad J_5 = I_1.$$

Таким образом, для варианта, изображенного на рис.2 имеем,

$$x_1 = - \frac{I_2}{I_1} \frac{\cos(2\mu - A_2)}{\cos(\mu - A_1)}.$$

$$x_2 = - \frac{I_2 \cos[\psi(S_{\text{сеп}}) - A_2] + x_1 I_1 \cos[\psi(S_{\text{сеп}}) - \mu - A_1]}{I_1 \cos[\psi(S_{\text{сеп}}) - 2\mu - A_1]}.$$

$$\chi_3 = - \frac{I_2 \cos(3\mu - A_2) + \chi_1 I_1 \cos(2\mu - A_1) + \chi_2 I_1 \cos(\mu - A_1)}{I_1 \cos(\mu - A_2)} ;$$

$$\chi_4 = - \frac{I_2 \sin(4\mu - \alpha) + \chi_1 I_1 \sin 3\mu + \chi_2 I_1 \sin 2\mu + \chi_3 I_2 \sin(2\mu - \alpha)}{I_2 \sin(\mu - \alpha)} ,$$

$$\chi_5 = \frac{I_2 \sin 3\mu + \chi_1 I_1 \sin(2\mu + \alpha) + \chi_2 I_1 \sin(\mu + \alpha) + \chi_3 I_2 \sin \mu}{I_1 \sin(\mu - \alpha)}$$

Численные значения χ_i приведены в таблице 2.

Расчет $\gamma(S)$ внутри возмущенного участка для этих параметров приведен в таблице 3. (вариант 2) и изображен на рис.2, который показывает, что одновременный вывод частиц или сброс по радиусу пучка на мишени χ_1 и χ_2 (или χ_2 и χ_3) в Ереванском синхротроне возможен.

§ 1.5. Расчет "идеального" трехпикового бим-бампа.

Исследуя метод, которым был получен двухпиковый бамп, можно прийти к выводу, что таким же образом возможно получение трехпикового (в принципе и многопикового) бампа с максимумами во всех необходимых фокусирующих промежутках.

Действительно, из сравнения рис.1 и 2 видно, что второе получается из первого, если "разрезать" идеальный бамп пополам, затем раздвинуть половинки на период

и между ними взять еще два возмущения, величины которых определяются из условий (20) и (21). Если теперь такой "разрез" сделать с двухпиковым бампом (в точке второго максимума) и наложить дополнительные условия

$$r'(13) = r'(15) = 0, \quad (25)$$

то для параметров X_i в варианте (см. рис. 3):

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= A_2; & \alpha_4 &= 3\mu + A_1; & \mathcal{J}_0 &= I_2; & \mathcal{J}_4 &= I_1; \\ \alpha_1 &= \mu + A_1; & \alpha_5 &= 3\mu + A_2; & \mathcal{J}_1 &= I_1; & \mathcal{J}_5 &= I_2; \\ \alpha_2 &= 2\mu + A_1; & \alpha_6 &= 4\mu + A_2; & \mathcal{J}_2 &= I_1; & \mathcal{J}_6 &= I_2; \\ \alpha_3 &= 2\mu + A_2; & \alpha_7 &= 5\mu + A_1; & \mathcal{J}_3 &= I_2; & \mathcal{J}_7 &= I_1; \end{aligned}$$

получим

$$X_4 = -\frac{1}{I_1 \cos[\psi(13) - 3\mu - A_1]} \left\{ I_2 \cos[\psi(13) - A_2] + X_1 I_1 \cos[\psi(13) - \mu - A_1] + \right. \\ \left. + X_2 I_1 \cos[\psi(13) - 2\mu - A_1] + X_3 I_2 \cos[\psi(13) - 2\mu - A_2] \right\};$$

$$X_5 = -\frac{1}{I_2 \cos(\mu - A_2)} \left\{ I_2 \cos(4\mu - A_2) + X_1 I_1 \cos(3\mu - A_1) + \right. \\ \left. + X_2 I_1 \cos(2\mu - A_1) + X_3 I_2 \cos(2\mu - A_2) + X_4 I_1 \cos(\mu - A_1) \right\};$$

$$X_6 = -\frac{1}{I_2 \sin(\mu - \alpha)} \left\{ I_2 \sin(5\mu - \alpha) + X_1 I_1 \sin 4\mu + X_2 I_1 \sin 3\mu + \right. \\ \left. + X_3 I_2 \sin(3\mu - \alpha) + X_4 I_1 \sin 2\mu + X_5 I_2 \sin(2\mu - \alpha) \right\};$$

$$X_7 = \frac{1}{I_1 \sin(\mu - \alpha)} \left\{ I_2 \sin 4\mu + \chi_1 I_1 \sin(3\mu + \alpha) + \chi_2 I_1 \sin(2\mu + \alpha) + \right. \\ \left. + \chi_3 I_2 \sin 2\mu + \chi_4 I_1 \sin(\mu + \alpha) + \chi_5 I_2 \sin \mu \right\};$$

(первые три значения X_i определяются из (24)).

Численные значения X_i приведены в таблице 2, а расчет орбиты в таблице 3.

Таким образом, видно, что на Ереванском синхротроне имеется возможность одновременного радиального наведения ускоряемого пучка на все три мишени методом возмущений основного магнитного поля. Кроме того, разработанный способ сбрасывания частиц одновременно на несколько мишеней, позволяет, в принципе, увеличить число одновременно выводимых пучков до количества имеющихся на ускорителе фокусирующих промежутков. Остается решить задачу деления пучка по интенсивности между мишенями в каждом цикле ускорения. Разработанный способ такого деления или независимого перераспределения интенсивности пучка между мишенями является содержанием второй части работы.

В заключение, авторы выражают благодарность

М.Л.Петросяну и В.М.Харитонову за активное участие в обсуждениях и ценные замечания.

Таблица I

Q_r	I_1	I_2	A_1	A_2	μ
5,369	8,958	8,958	0,2105	1,1952	1,4056
5,250	8,6719	8,71264	0,2113	1,1722	1,3744

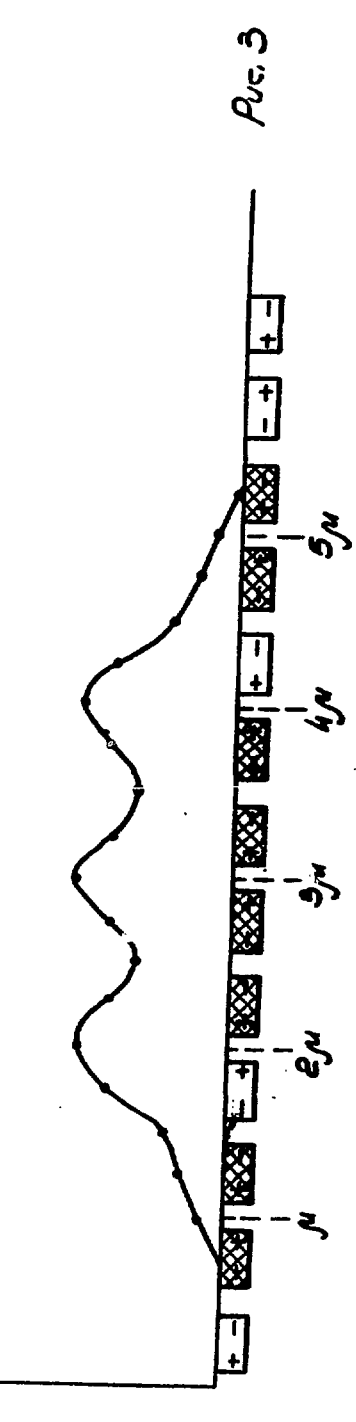
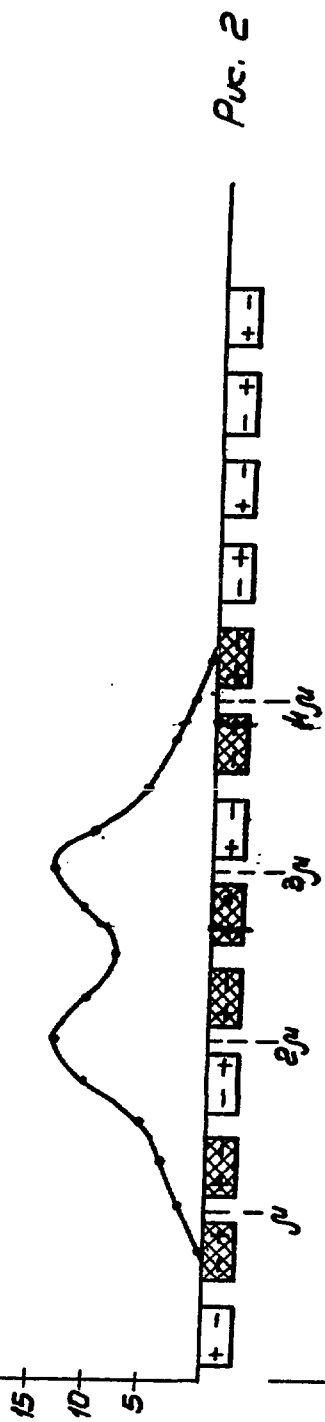
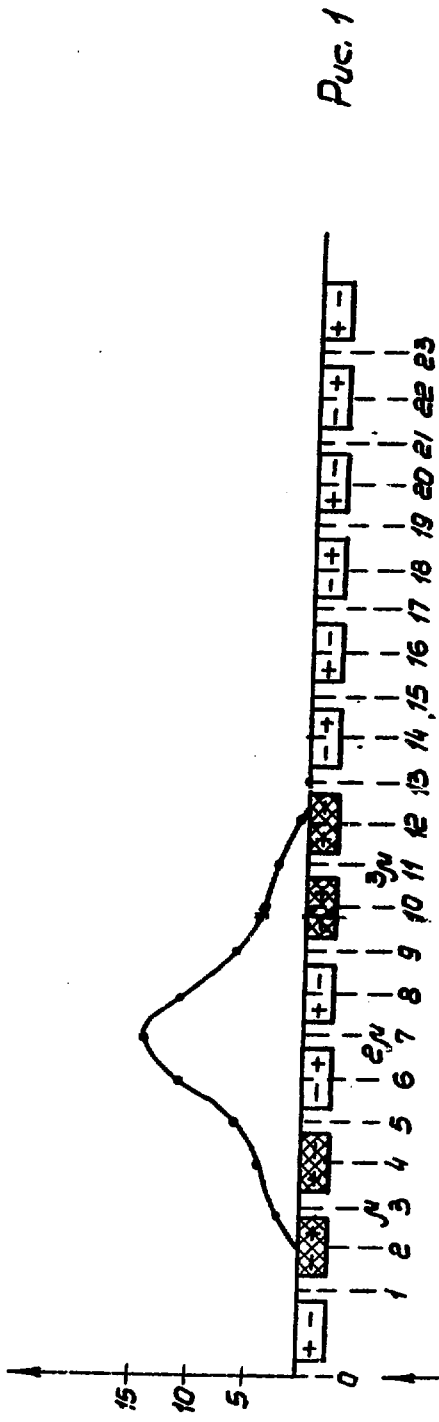
Таблица 2

X_i	<u>I</u>		<u>II</u>		<u>III</u>	
	$Q_r = 5,369$	$Q_r = 5,250$	$Q_r = 5,369$	$Q_r = 5,250$	$Q_r = 5,369$	$Q_r = 5,250$
X_0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
X_1	0,1232	0,0147	0,1232	0,0147	0,1232	0,0147
X_2	0,1234	0,038	0,8167	0,7288	0,8167	0,7288
X_3	0,9993	0,9835	0,8167	0,7242	0,8167	0,7242
X_4			0,1235	0,0297	0,8167	0,7230
X_5			0,9997	0,9865	0,8167	0,7183
X_6					0,1235	0,0375
X_7					0,9996	0,9749

$Q = 5,369$			$\Gamma_{3um} (\text{в мм}) \text{ при } \delta_0 = 1\%$		
N	$\psi(\delta)$	$\beta^{1/2} (M^{1/2})$	I	II	III
0	0,0000	3,5160			
I	0,7028	1,9382	0,000	0,000	0,000
2	1,1997	2,7589	- 0,55	- 0,55	- 0,55
3	1,4056	3,5160	- 2,61	- 2,61	- 2,61
4	1,6117	2,7589	- 4,03	- 4,03	- 4,03
5	2,1084	1,9382	- 5,84	- 5,84	- 5,84
6	2,6053	2,7589	- 10,74	- 10,74	- 10,74
7	2,8112	3,5160	- 13,89	- 13,89	- 13,89
8	3,0173	2,7589	- 10,74	- 11,10	- 11,10
9	3,5140	1,9382	- 5,84	- 8,50	- 8,50
10	4,0109	2,7589	- 4,03	- 11,10	- 11,10
11	4,2168	3,5160	- 2,61	- 13,89	- 13,89
12	4,4229	2,7589	- 055	- 10,74	- 11,10
13	4,9196	1,9382	0,000	- 5,84	- 8,50
14	5,4165	2,7589		- 4,02	- 11,10
15	5,6224	3,5160		- 2,61	- 13,89
16	5,8285	2,7589		- 0,55	- 10,74
17	6,3252	1,9382		000	- 5,84
18	6,8221	2,7589			- 4,03
19	7,0280	3,5160			- 2,61
20	7,2341	2,7589			- 0,55
21	7,7308	1,9382			000

Таблица 30

$Q_r = 5,250$			$\Gamma_{зан} (мм)$ ПРИ $\delta_o = 1 \%$		
N	$\psi(S)$	$\beta^{1/2} (M^{1/2})$	I	II	III
0	0,0000	3,4875			
I.	0,6889	1,784	0,000	0,000	0,000
2.	1,1676	2,7778	-0,462	-0,462	-0,462
3.	1,3744	3,4875	-2,410	-2,410	-2,410
4.	1,5809	2,7731	-4,220	-4,220	-4,220
5.	2,0633	1,9844	-5,450	-5,450	-5,450
6.	2,5420	2,7778	-9,460	-9,460	-9,460
7.	2,7488	3,4875	-12,15	-12,15	-12,15
8.	2,9553	2,7731	-9,430	-9,720	-9,720
9.	3,4377	1,9844	-5,440	-7,750	-7,750
X0.	3,9164	2,7778	-3,810	-9,770	-9,770
II.	4,1232	3,4875	-2,460	-12,07	-12,07
12.	4,3297	2,7731	-0,470	-9,400	-9,730
13.	4,8121	1,9844	0,000	-5,320	-7,570
14.	5,2208	2,7778	0,000	-3,820	-9,730
15.	5,4976	3,4875		-2,460	-12,02
16.	5,7041	2,7731		-0,470	-9,360
17.	6,1865	1,9844			-5,270
18.	6,6652	2,7778			-3,770
19.	6,8720	3,4875			-2,430
20.	7,5608	2,7731			
21.	8,0396	1,9844			



ЛИТЕРАТУРА

1. Daresbury Nuclear Physics Laboratory, Annual Report, 1969-70.
2. Физические основы проекта Ереванского синхротрона. ФИАН Арм.ССР, Ереван, 1959.
3. Г.Брук. Циклические ускорители заряженных частиц. Атомиздат, Москва, 1970.
4. R.J.Averill "Beam bump method of target engagement" Nucl.Sci. v NS-12, N3, p.899, 1965.
5. Г.В.Бадалян и др. Исследование вывода гамма-пучков из Ереванского синхротрона на энергию 6 Гэв. Материалы 1У Республиканской научной конференции, Ереван 1971.

Рукопись поступила 24-го марта 1976г.



Редактор Л.П.Мукаян.

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 556

Вф- 03833

Тираж 239

Подписано к печати 21/У-76г. Формат издания 30х40

1,5 уч.изд.л. Ц.10к.

Отпечатано на ротапринте

Ереванского физического института, Ереван 36, пер.Мар-
каряна 2