

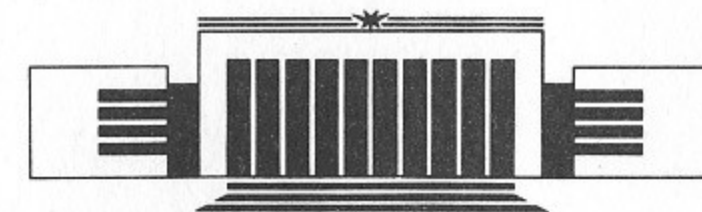


ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

**В.Г. Вещеревич, Н.А. Винокуров, П.Д. Воблый,  
Н.Г. Гаврилов, Э.И. Горникер, Г.Н. Кулипанов,  
И.В. Купцов, Г.Я. Куркин, А.Д. Орешков,  
В.М. Петров, И.В. Пинаев, И.К. Седяров,  
А.Н. Скринский, А.С. Соколов**

**ПРОЕКТ  
РАЗРЕЗНОГО МИКРОТРОНА-РЕКУПЕРАТОРА  
ДЛЯ ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ**

**ПРЕПРИНТ 90-82**



НОВОСИБИРСК

Проект разрезного микротрона-рекуператора  
для лазера на свободных электронах

*В.Г. Вещеревич, Н.А. Винокуров, П.Д. Воблый,  
Н.Г. Гаврилов, Э.И. Горникер, Г.Н. Кулипанов,  
И.В. Купцов, Г.Я. Куркин, А.Д. Орешков,  
В.М. Петров, И.В. Пинаев, И.К. Седяров,  
А.Н. Скринский, А.С. Соколов*

Институт ядерной физики  
630090, Новосибирск 90, СССР

АННОТАЦИЯ

Рассмотрен проект разрезного микротрона — источника пучка для лазера на свободных электронах. Используемый в лазере на свободных электронах пучок возвращается в микротрон, где замедляется и отдает энергию высокочастотной системе. Проектная энергия электронов — 35 МэВ, средний ток — 0,1–1 А.

© Институт ядерной физики СО АН СССР

В Институте ядерной физики СО АН СССР ведутся работы по созданию разрезного микротрона-рекуператора непрерывного действия на энергию электронов 35 МэВ, предназначенного для лазера на свободных электронах (ЛСЭ). Используемый в ЛСЭ электронный пучок будет отдавать свою энергию ВЧ-системе микротрона, проходя ее в тормозящей фазе по тем же микротронным орбитам в обратной последовательности. Схема микротрона приведена на рис. 1. Его габаритные размеры ограничены размерами уже существующего помещения, планируемого для его расположения. Микротрон состоит из инжектора 1, двух магнитных систем 180-градусного сепарирующего поворота 2, общего (для электронов с разными энергиями) прямолинейного промежутка, где установлены ВЧ-резонаторы 3, магниты систем инжекции 4 и выпуска 5 и соленоидальные магнитные линзы 6, четырех отдельных прямолинейных промежутков с магнитными квадрупольными линзами 7, магнитной системы ЛСЭ 8, установленной в четвертом прямолинейном промежутке, и поглотителя пучка 9.

Электронная пушка инжектора 1.1 с рабочим напряжением 300 кВ испускает электронные сгустки длительностью 1 нс с частотой повторения 45 МГц. После прохождения модулирующего энергию (скорость) электронов ВЧ-резонатора (идентичного всем остальным ВЧ-резонаторам микротрона) в группирующем прямолинейном промежутке 1.2 сгусток продольно сжимается до длительности 150 пс и затем ускоряется в двух ВЧ-резонаторах 3 инжектора с суммарной амплитудой ускоряющего напряжения 1.6 МВ в равновесной фазе  $\varphi_0 = 29^\circ$  до энергии 2.1 МэВ. Инжек-

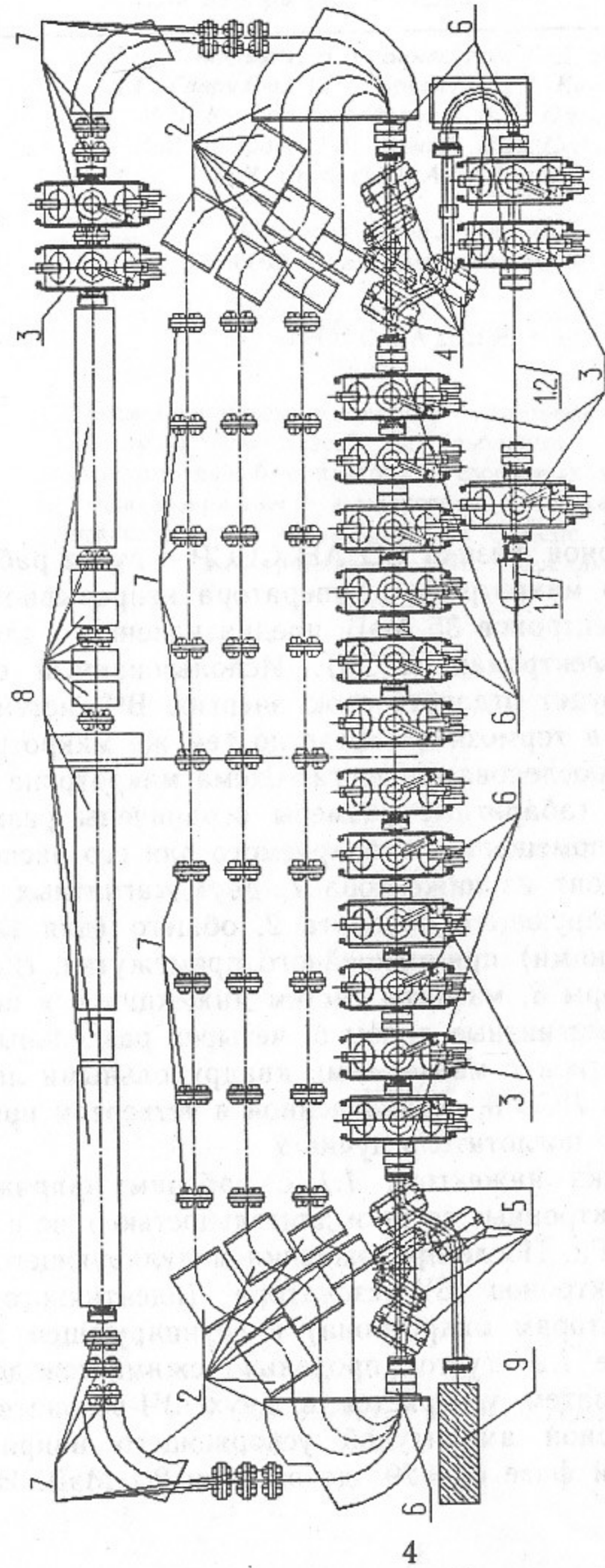


Рис. 1. Общая схема разрезного микрофона-рекуператора:

1 — инжектор, 1.1 — электронная пушка инжектора, 1.2 — группирующий прямолинейный промежуток;  
 2 — магнитная система 180-градусного сепарирующего поворота; 3 — ВЧ-резонаторы; 4 — магниты системы инжекции; 5 — магниты системы выпуска; 6 — соленоидальные магнитные линзы; 7 — квадрупольные магнитные линзы; 8 — магнитная система ЛСЭ; 9 — поглотитель пучка.

ция электронов в общий прямолинейный промежуток микрофона осуществляется с использованием 180-градусного магнитного зеркала и двух одинаковых знакопротивоположных 65-градусных поворотных магнитов с параллельными краями 4. Данная магнитная система 180-градусного поворота является ахроматичной, и ее горизонтальная и вертикальная оптические матрицы взаимно совпадают и имеют вид матрицы пустого промежутка.

Амплитуда рабочего напряжения ВЧ-резонаторов общего прямолинейного промежутка микрофона с учетом пролетного фактора электронов составляет 800 кВ для одного и, соответственно, 9.6 МВ для двенадцати. Эти ВЧ-резонаторы отстоят друг от друга на половину длины волны  $\lambda = 165$  см, соответствующей их резонансной частоте  $f = 180$  МГц.

Сепарирующий 180-градусный поворот 2 для первых трех дорожек микрофона полностью аналогичен уже рассмотренной выше магнитной системе инжекции, т. е. это 180-градусное магнитное зеркало и по два 65-градусных поворотных магнита на каждой дорожке. Изменение длины орбиты при переходе на соседнюю дорожку микрофона составляет одну длину волны его ВЧ-системы. Выбор именно такого типа поворота и его ахроматичность обусловлены необходимостью обхода пучком ВЧ-резонаторов общего прямолинейного промежутка, уменьшением горизонтального размера пучка и упрощением согласования  $\beta$ -функций на трех отдельных прямолинейных промежутках, где расположены квадрупольные линзы 7.

Четвертый прямолинейный промежуток предназначен для магнитной системы ЛСЭ 8. Для увеличения его длины 180-градусный ахроматический поворот на четвертой дорожке состоит из двух 90-градусных поворотов. Расстояние между 90-градусными магнитами таково, что длина четвертой дорожки отличается от длины третьей дорожки примерно на 2.5 длины волны ВЧ-напряжения микрофона. На выходе из магнитной системы ЛСЭ установлены два ВЧ-резонатора для компенсации средних потерь энергии электронами в ЛСЭ. Эти ВЧ-резонаторы и датчик горизонтального смещения пучка, установленный за 90-градусным поворотным магнитом стабилизируют энергию электронов на выходе из четвертого прямолинейного промежутка. Попав с четвертой дорожки вновь на общий прямолинейный промежуток, но уже в тормозящей фазе ВЧ-напряжения, электроны отдают свою энергию ВЧ-системе, проходя в том же направлении те же три дорожки микрофона, но в обратной последовательности, и с помощью магнитов системы

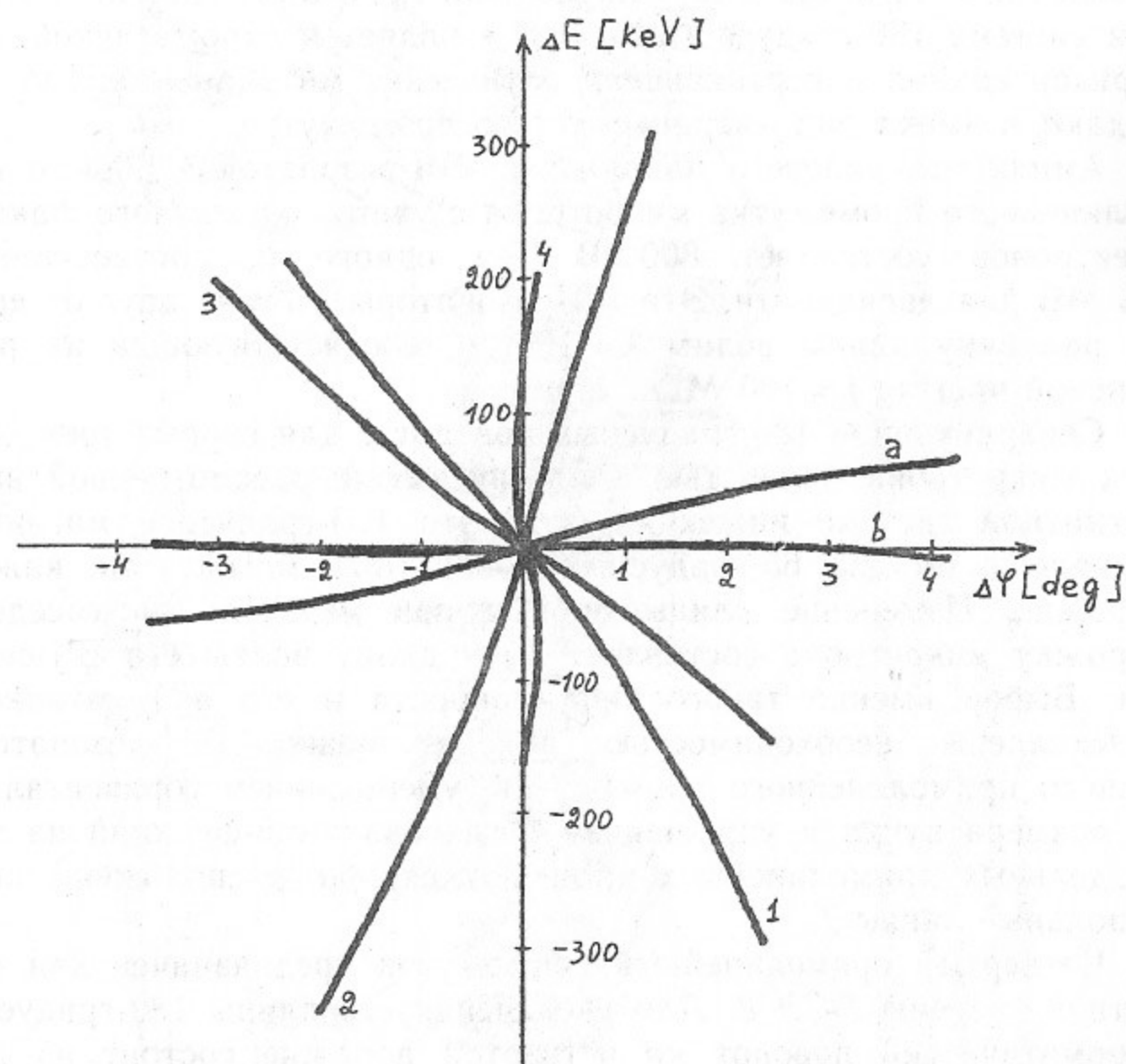


Рис. 2. Продольная фазово-энергетическая диаграмма положения электронного сгустка:

*a* — после группирующего прямолинейного промежутка; *b* — после инъекции на общий прямолинейный промежуток; 1, 2, 3, 4 — на 1, 2, 3, 4-м прямолинейных промежутках, соответственно.

выпуска 5 (идентичных магнитам системы инъекции) выводятся и сбрасываются на поглотитель 9.

Для обеспечения подходящей фокусировки как для ускоряемых, так и для замедляемых электронов, магнитная система (за исключением четвертой дорожки) зеркально симметрична относительно линии, проходящей через центр прямолинейных промежутков. При этом согласованные  $\beta$ -функции имеют ту же симметрию.

С целью получения минимальной длины электронного сгустка (максимального пикового тока электронов) в магнитной системе ЛСЭ, продольное фазовое движение пучка в микротроне было оптимизировано посредством небольших вариаций значений равновесной энергии электронов на каждой из дорожек (и, соответственно, геометрии микротрона). Равновесные фазы четырех проходов через ВЧ-систему составляют  $\varphi_1 = 21.9^\circ$ ,  $\varphi_2 = 34.6^\circ$ ,  $\varphi_3 = 47.6^\circ$ ,  $\varphi_4 = 1.6^\circ$ . На рис. 2. приведена продольная фазово-энергетическая диаграмма положения электронного сгустка на четырех отдельных прямолинейных промежутках. Максимальный относительный разброс энергий электронов на четвертой дорожке составляет  $\pm 0.5\%$ . На диаграмме также видно, что после четвертого прохода через ВЧ-систему квадратичная абберация продольной фокусировки отсутствует.

Длины прямолинейных промежутков микротрона таковы, что при инъекции электронных сгустков через каждые четыре периода его ВЧ-напряжения (т. е. с частотой 45 МГц) на общей дорожке ускоряемые и замедляемые сгустки равномерно распределены в продольном направлении (т. е. по времени прохода через резонаторы) с интервалом примерно равным 0.8 м. В этом случае резко снижается взаимное влияние ускоряемых и замедляемых пучков с различными энергиями электронов друг на друга.

Расчеты продольной и поперечной динамики пучка показывают, что возможна устойчивая работа микротрона-рекуператора со средним током более 0.1 А. При этом окончательная группировка электронов происходит только на последней дорожке, что способствует получению большого (порядка 100 А) пикового тока при сохранении малых поперечных эмиттансов пучка.

*В.Г. Вещеревич, Н.А. Винокуров, П.Д. Воблый,  
Н.Г. Гаврилов, Э.И. Горникер, Г.Н. Кулипанов,  
И.В. Купцов, Г.Я. Куркин, А.Д. Орешков,  
В.М. Петров, И.В. Пинаев, И.К. Седяров,  
А.Н. Скринский, А.С. Соколов*

**Проект разрезного микротрона-рекуператора  
для лазера на свободных электронах**

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

---

Работа поступила 16 июля 1990 г.  
Подписано в печать 20. 07. 90 г. МН 02425  
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 1,7 печ.л., 0,6 уч.-изд.л.  
Тираж 200 экз. Бесплатно. Заказ № 82

---

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-  
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и  
отпечатано на ротапринтере Института ядерной физики  
СО АН СССР,  
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*