

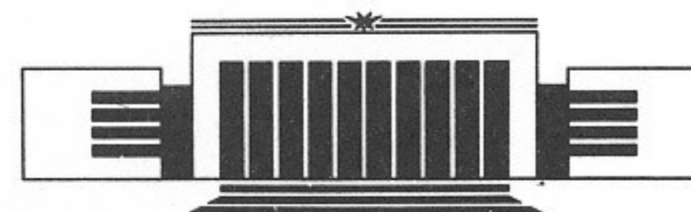


38
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

В.С. Арбузов, Э.И. Горникер, И.А. Шехтман

**ДВУХФАЗОВЫЙ РЕЗОНАТОР
КРУГОВОЙ РАЗВЕРТКИ
С ВЧ ГЕНЕРАЦИЕЙ**

ПРЕПРИНТ 89-64



НОВОСИБИРСК

ДВУХАЗОРНЫЙ РЕЗОНАТОР КРУГОВОЙ РАЗВЕРТКИ
С ВЧ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ

Арбузов В.С., Горникер Э.И., Шехтман И.А.

А Н Н О Т А Ц И Я

Описана конструктивная схема резонатора круговой СВЧ развертки релятивистского пучка частиц, в которой часть мощности отклоненного пучка отбирается для возбуждения резонатора. Две сильно связанные полости настраиваются одной системой автоподстройки в отличие от систем с отдельными резонаторами.

По результатам холодных измерений макета и численного счета траекторий электронов, определены характеристики круговой развертки пучка giroкона непрерывного генерирования мегаваттной мощности в дециметровом диапазоне волн.

С помощью описанного устройства возможно без применения пассивного резонатора существенно увеличить коэффициент усиления giroкона.

Мощность генератора для возбуждения резонатора развертки giroкона определяется тепловыми потерями в стенках резонатора и мощностью, затраченной на ускорение отклоненных электронов. Минимум суммарной мощности, т.е. максимальный коэффициент усиления giroкона, достигается в одноазорном резонаторе при оптимальном [1] угле пролета. Некоторые пути дальнейшего повышения коэффициента усиления giroкона рассмотрены в работах [2,3]. В настоящем сообщении*) приводятся результаты численного исследования одного из путей, предложенных в работе [2].

Увеличение коэффициента усиления giroкона может быть достигнуто путем применения резонатора развертки с двумя пролетными зазорами, фазы поля в которых отличаются на 180° . Такое поле можно получить, возбуждая, например, π -вид колебаний в цепочке двух связанных E_{110} -резонаторов (рис.1) или "Квази E_{120} " - вид в резонаторе с шайбой (рис.2).

Для цепочки из двух связанных E_{110} -резонаторов развертки с π -видом колебаний при одинаковой высоте пролетных зазоров (без учета влияния отверстий на распределение поля) мощность взаимодействия электронов с резонаторами составит [2]:

$$P_n = P_0 \left(1 + \frac{1}{\gamma_0}\right) (1 - 2x \operatorname{ctg} x) \operatorname{tg}^2 \alpha \quad (1)$$

Здесь P_0 - мощность электронного пучка, γ_0 - относительная энергия электронов, $\alpha = \frac{\pi h}{\beta_0 \lambda \beta_0 \sqrt{\gamma_0^2 - 1}}$ - половина угла пролета одного зазора высотой h , λ - резонансная длина волны, α - результирующий угол развертки:

$$\operatorname{tg} \alpha = 2 \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \operatorname{Sin} x, \quad (2)$$

α_1 - угол развертки в одиночном резонаторе высотой h . Если $x \operatorname{ctg} x = \frac{1}{2}$, то двухазорный резонатор не потребляет мощности на ускорение электронов. Значение $x = 1,16$ является границей, при переходе которой (при $x < 1,16$) начинается ВЧ регенерация. Выигрыш в коэффициенте усиления giroкона с таким резонатором по сравнению с оптимизированным одноазорным [1] достигается за счет трех эффектов:

*) Стендовый доклад на У Всесоюзном семинаре "Высокочастотная релятивистская электроника", Новосибирск, 1987

увеличения пролетного зазора, отсутствия потерь на ускорение электронов, отбора части мощности отклоненного луча для возбуждения резонатора развертки.

Первый эффект уменьшает тепловые ВЧ потери в стенках резонатора.

В гироконе непрерывного генерирования нагрев стенок резонатора приводит к заметным уходам его резонансной частоты (на $0,5 \div 1 \%$), поэтому необходима автоподстройка. В рассматриваемой схеме резонаторов с сильной связью (рис.2), система настройки та же, что и для одиночного резонатора, что проще, чем система для двух независимо настраиваемых резонаторов (рис.1). Недостатком резонансной системы с шайбой (рис.2) является повышенная мощность потерь в стенках. По приближенной оценке и измерениям на макете (собственная добротность $Q_0 = 19000$, характеристическое сопротивление $\rho = 13$ ом) при одинаковой напряженности ВЧ магнитного поля на оси резонаторов мощность потерь в стенках резонатора с шайбой в 1,3 раза больше, чем в двух связанных E_{110} - резонаторах.

В качестве исходных данных для расчетов и макетирования были приняты:

- рабочая частота $f = 915$ МГц;
- энергия электронов $eU_0 = 250$ кэВ;
- мощность электронного луча $P_0 = 1$ МВт;
- угол развертки $\alpha = 0,2$ ($11,5^\circ$).

Начальный диаметр пучка электронов $\mathcal{D} = 1,6$ см принят по оценкам электроннооптической системы гирокона, рассмотренной в [2]. Зазор между "границей" пучка и краем отверстия в резонаторе принят равным $\frac{\mathcal{D}}{2}$. При энергиях электронов менее 250 кэВ оптимальная высота пролетных зазоров уменьшается до размеров, сравнимых с диаметром отверстий для прохода пучка. Это приводит к понижению эффективной величины отклоняющего ВЧ магнитного поля, и необходимая для развертки мощность становится больше рассчитанной без учета отверстий. Оптимальной здесь считается высота зазоров, при которой обеспечивается заданный коэффициент регенерации - отношение мощности ВЧ взаимодействия к мощности тепловых потерь. Этот коэффициент выбран равным 0,5 при энергии $eU_0 = 250$ кэВ, что незначительно

повышает требования к системам стабилизации энергии электронов и амплитуды ВЧ генератора. При такой регенерации, как показал расчет, мощность ВЧ генератора развертки не превышает 15 кВт при $\alpha \leq 0,2$ и $eU_0 \leq 250$ кэВ. Распределение полей в резонаторе было измерено на макете (рис.4,5). По этим данным проведено численное интегрирование уравнений движения в одноэлектронном приближении. На макете было подобрано место расположения и форма металлических опор шайбы, вносящих наименьшее возмущение в рабочий ("Квази E_{120} ") тип колебаний.

Результаты расчета ВЧ мощности (погрешность $\leq 15 \%$) необходимой для развертки электронного луча гирокона, приведенные на рис.3, учитывают влияние отверстий и ВЧ потери в медных стенках при температуре 30°C с шероховатостью, завышающей сопротивление на 20%. Там же приведена для сравнения мощность, требуемая в тех же условиях для ВЧ питания однозачорного резонатора с оптимальным [1] пролетным зазором, а также мощность потерь в стенках резонатора развертки с углом пролета $2\alpha = \pi$ (для энергии 250 кэВ). Такой резонатор - оптимален в системе развертки [3] с магнитным сопровождением луча, в которой нет потерь на ускорение электронов. Выбранные конструктивные размеры двухзачорного резонатора таковы (рис.4), что на частоте 915 МГц при энергии электронов 250 кэВ для круговой развертки луча мощностью 1 МВт на угол $\alpha = 11,5^\circ$ потребуется ВЧ генератор мощностью 10 кВт. Это несколько меньше, чем в резонаторе с магнитным сопровождением при $2\alpha = \pi$ [3] и в 6 раз меньше чем в оптимизированном [1] однозачорном резонаторе.

С помощью описанного устройства возможно без применения пассивного резонатора и магнитного сопровождения существенно увеличить коэффициент усиления гирокона.

Л и т е р а т у р а

1. Шехтман И.А. Приближенная теория гирокона. РиЭ, 1983, № 9, с.1817-1827.
2. Горникер Э.И., Морозов С.Н., Тернев В.Е., Шехтман И.А. Анализ ограничений параметров гирокона непрерывного генерирования мегаваттной мощности при переходе от метрового к дециметровому диапазону волн. Новосибирск, 1983 (Препринт ИЯФ СО АН СССР: ИЯФ 83-46, 24 с., илл.).
3. Карлинер М.М., Козырев Е.В., Макаров И.Г., Максимов А.Ю., Нежененко О.А., Острейко Г.Н., Сердобинцев Г.В. Круговая СВЧ развертка пучка частиц с магнитным сопровождением. Новосибирск, 1983 (Препринт ИЯФ СО АН СССР: ИЯФ 83-143, 24 с., илл.).

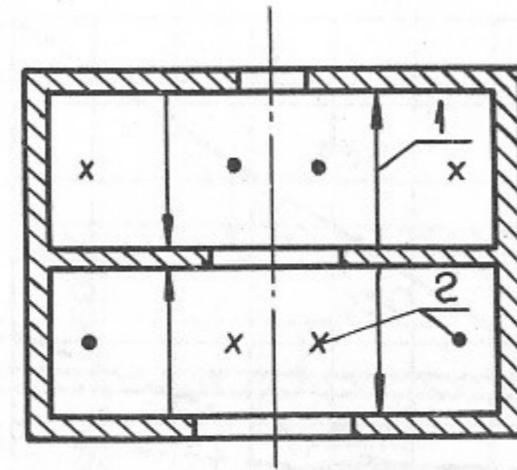


Рис.1. Два связанных E_{110} резонатора, ∇ - вид;
1 - линии электрического поля
2 - линии магнитного поля

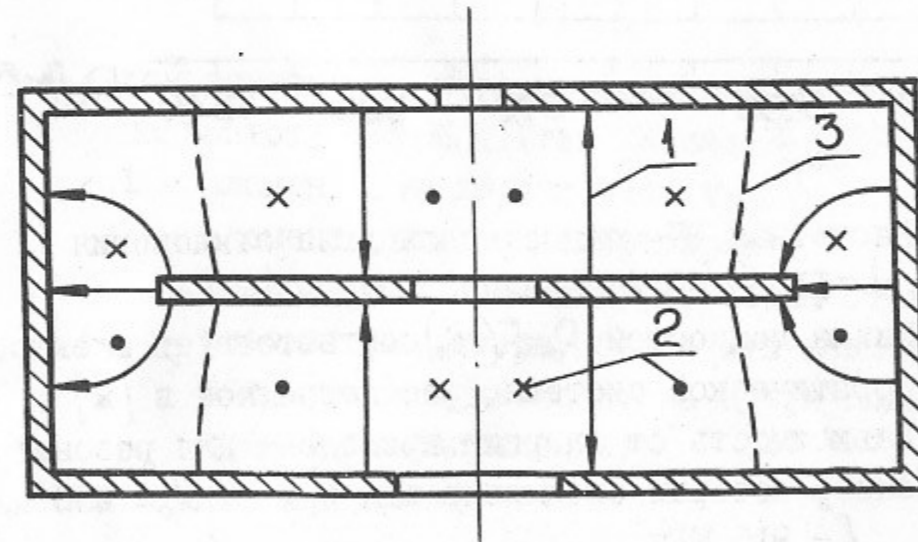


Рис.2. Двухзазорный резонатор с шайбой,
резонанс "Квази E_{120} ";
1 - линии электрического поля
2 - линии магнитного поля
3 - линия $E = 0$

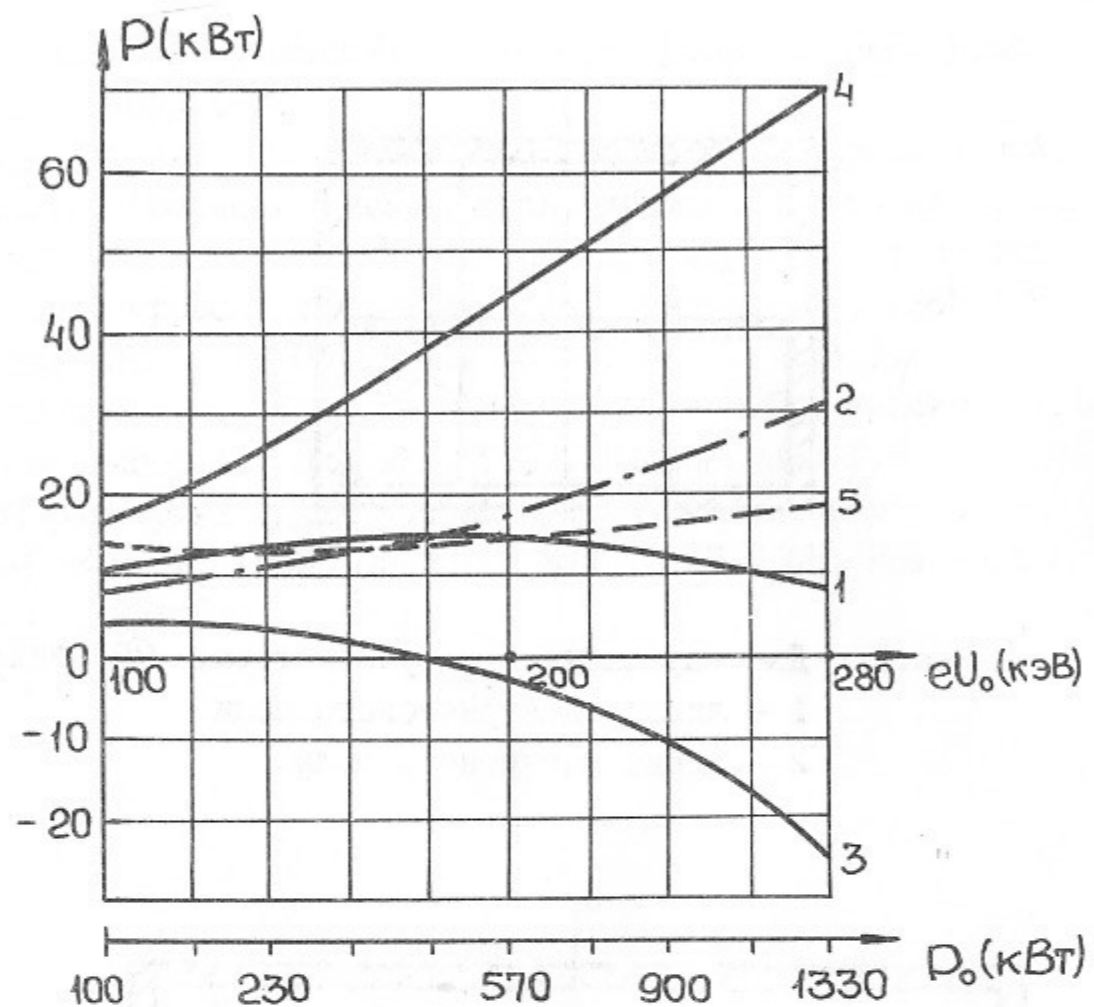


Рис.3. Расчетная ВЧ-мощность для угла отклонения $\alpha = 11,5^\circ$ (0,2 радиана).
 Шкала мощностей $P_0 = F(eU_0)$ соответствует электронооптической системе, рассмотренной в [2].
 Зависимость от энергии приведена для резонаторов, зазор которых оптимизирован при $eU_0 = 250$ кэВ, $f = 915$ МГц.
 1 - Мощность ВЧ генератора для двухзазорного резонатора с шайбой.
 2 - Тепловые потери в стенках резонатора с шайбой.
 3 - Мощность ВЧ взаимодействия с пучком в резонаторе с шайбой.
 4 - Мощность ВЧ генератора для оптимизированного однозазорного резонатора [1].
 5 - Мощность тепловых потерь в однозазорном резонаторе с углом пролета (для энергии $eU_0 = 250$ кэВ) [3].

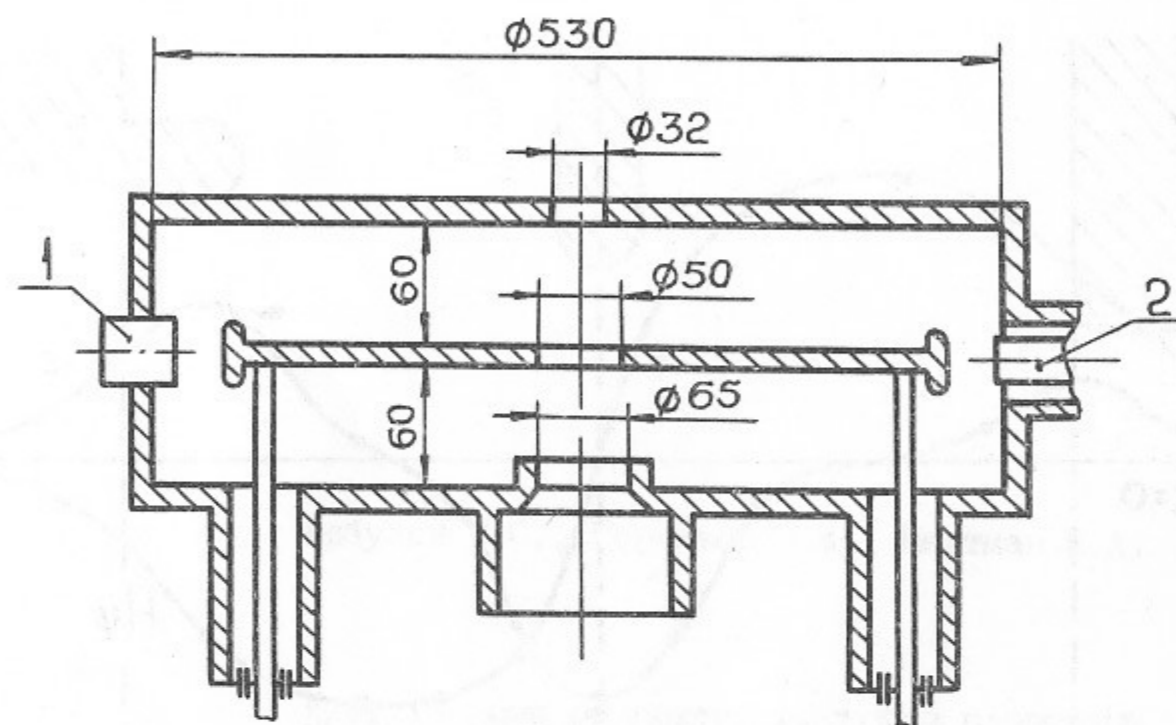


Рис.4. Конструктивная схема резонатора развертки на частоту 915 МГц (тип "Квази E_{120} ");
 1 - элемент подстройки частоты,
 2 - элемент связи с генератором (шайба гальванически развязана от корпуса резонатора, чтобы обеспечить возможность подавления мультипактора путем подачи постоянного напряжения).

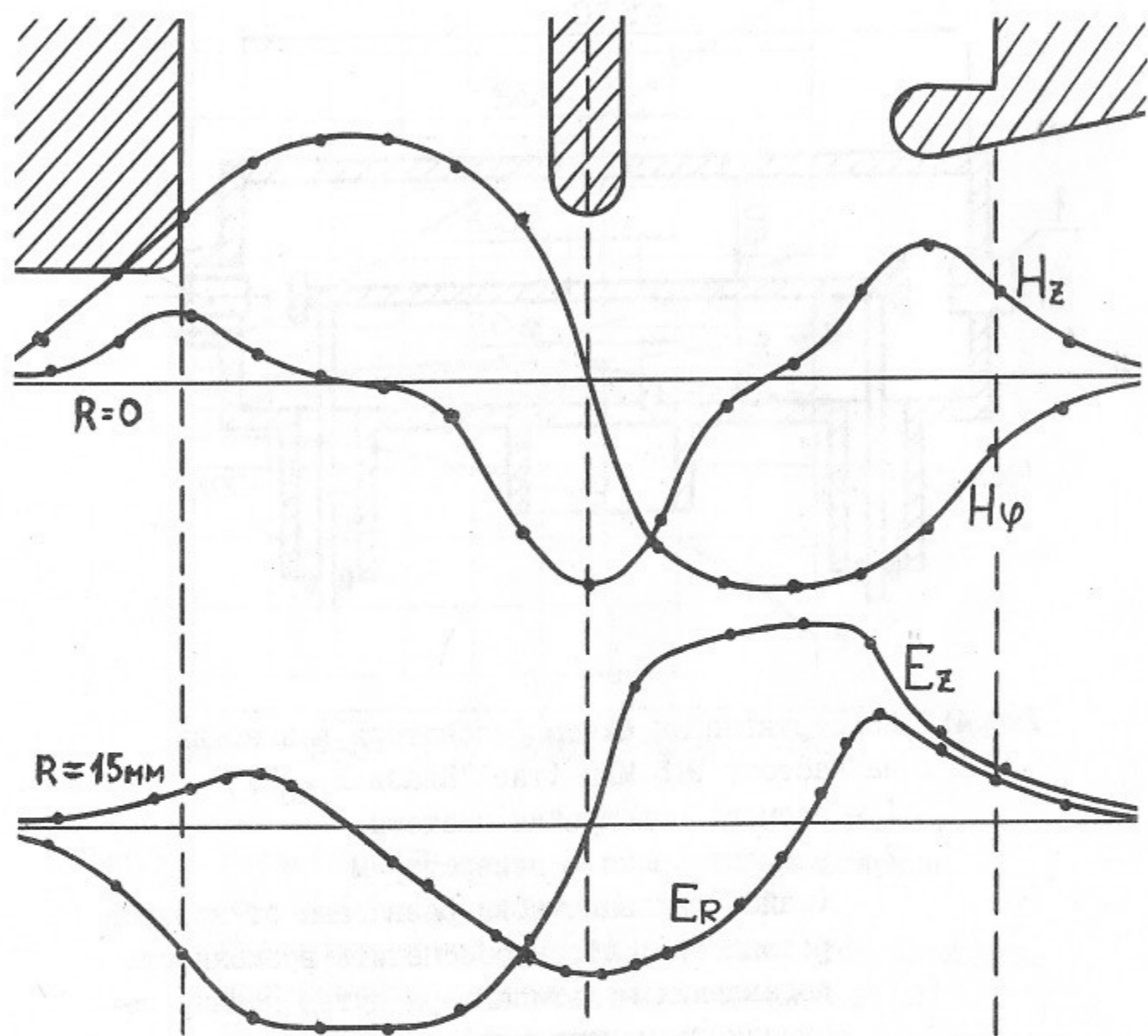


Рис.5. Распределение ВЧ поля вдоль оси резонатора с шайбой ($R = 0$) и на расстоянии 15 мм от оси ($R = 15$ мм).

Составляющие электрического (E_R, E_z) и магнитного (H_z, H_φ) полей измерялись методом возмущающего тела с погрешностью $< 15\%$ и экстраполировались на всю область возможного движения электрона в резонаторе. По значениям поля на траектории вычислялась мощность ВЧ взаимодействия.

Арбузов В.С., Горникер Э.И., Шехтман И.А.

ДВУХАЗОРНЫЙ РЕЗОНАТОР КРУГОВОЙ РАЗВЕРТКИ
С ВЧ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ

Препринт
№ 89- 64

Работа поступила - 28 апреля 1989 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов
Подписано к печати 18.05.1989г. МН 02156
Формат бумаги 60x90 1/16 Усл.0,9 печ.л., 0,8 учетно-изд.л.
Тираж 150 экз. Бесплатно. Заказ № 64.

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90