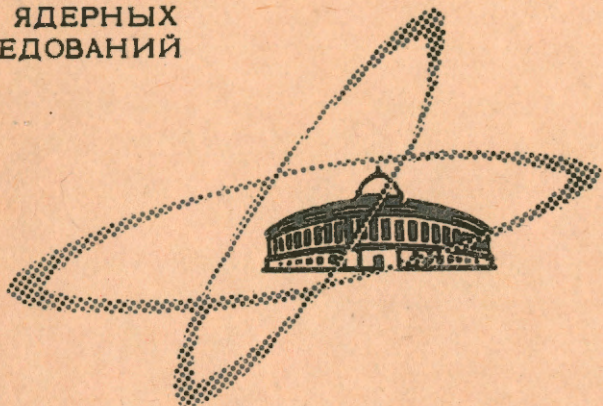


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2905



И.М. Баженова, Ю.Д. Безногих, Л.П. Зиновьев

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
В УСКОРЯЮЩИХ ЗАЗОРАХ ПРОТОННОГО
ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ
МЕТОДОМ МАЛЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ Q -МЕТРА

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1966

2805

И.М. Баженова, Ю.Д. Безногих, Л.П. Зиновьев

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
В УСКОРЯЮЩИХ ЗАЗОРАХ ПРОТОННОГО
ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ
МЕТОДОМ МАЛЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ Q -МЕТРА

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

В в е д е н и е

Цилиндрический резонатор линейного ускорителя протонов, нагруженный трубками дрейфа, можно рассматривать как последовательность жестко связанных между собой цилиндрических тороидальных резонаторов с медленно меняющимися параметрами и возбуждаемых на одной частоте.

Прирост энергии протонов при пролете одного ускоряющего промежутка определяется по формуле $\Delta W = e E L \cos \phi$, где e - заряд протона, E - амплитудное значение аксиальной компоненты электрического поля в присоединенной области, которое обычно принимают постоянным, $L = \beta \lambda$ - длина периода ускорения, ϕ - фаза поля в момент прохождения частицей центра зазора, G - фактор времени пролета.

Понятие фактора пролетного времени, введенное Пановским^{1/}, учитывает, с одной стороны, изменение электрического поля в зазоре между трубками дрейфа за время прохождения протоном зазора, с другой стороны, учитывает реальное распределение аксиальной компоненты электрического поля по периоду ускорения.

Для n -ого периода ускорения

$$G_n = \frac{\int_{L_n} E_n(z) \cos \frac{2\pi z}{L_n} dz}{\int_{L_n} E_n(z) dz} \quad (1)$$

В идеальном случае, если поле однородно в ускоряющем зазоре, а в трубках дрейфа равно нулю (случай "прямоугольного" поля), интегрирование (1) дает

$$G_n = \frac{\sin \frac{\pi g_n}{L_n}}{\frac{\pi g_n}{L_n}}$$

где g_n - расстояние между соседними трубками дрейфа (см. рис. 1).

В реальном случае поле существенно отличается от прямоугольного. Поэтому для точного определения G_n - фактора необходимо знать распределение аксиальной составляющей $E_{0z}(z)$ на оси ускоряющего периода.

Правда, для случая $g < 2b$ и $g \gg 2b$, используя теоретическую аппроксимацию распределения поля в зазоре, можно получить аналитическое выражение для G . Это было сделано в работах ^{/2,3/}.

Получено

$$G_n = \frac{\sin \frac{\pi g_n}{L_n}}{\frac{\pi g_n}{L_n} \cdot I_0\left(\frac{2\pi a}{L_n}\right)} \quad \text{при } g < 2b \quad (2)$$

$$G_n = \cos \frac{\pi g_n}{L_n} \cdot \frac{1}{I_0\left(\frac{2\pi a}{L_n}\right)} \quad \text{при } g \gg 2b \quad (3)$$

где I_0 - функция Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента. Но указанные расчетные формулы не охватывают всего диапазона возможных значений L_n . Поэтому для расчетов G - фактора по формуле (1) для какого-нибудь периода необходимо знать точное распределение $E_{0z}(z)$ по этому периоду.

В связи с этим нами были произведены измерения поля в зазоре между трубками дрейфа для различных периодов; на основе полученных данных рассчитывалось значение G - фактора по формуле (1) для соответствующих периодов. Полученные значения G использовались в дальнейших расчетах по определению геометрии ускоряющей системы линейного ускорителя протонов на 20 Мэв.

Методика измерений

При измерении поля использовался метод локальных возмущений, описанный в работе ^{/2/}. Измерения производились на модели единичного отсека в диапазоне частот 130-150 Мгц, при этом длина ускоряющего зазора менялась от 15 до 130 мм.

Сущность метода заключается в следующем.

При внесении в зазор на оси резонатора некоторого малого тела объемом δv (безразлично проводника или диэлектрика) происходит изменение собственной частоты резонатора. Из ^{/2/} следует, что это изменение определяется равенством

$$f_1^2 = f_0^2 [1 - cE^2 \delta v], \quad (4)$$

где f_0 - собственная частота резонатора при отсутствии возмущающего тела на оси резонатора, f_1 - собственная частота резонатора при помещении в поле на оси резонатора тела объемом δv , c - постоянная, зависящая от геометрии помещенного тела и его материала.

Считая изменение частоты малым, можно получить из (4)

$$\Delta f = f_1 - f_0 = kE^2 \delta v \quad \text{или} \quad \Delta f = E^2,$$

т.е. поле пропорционально корню квадратному из расстройки.

Таким образом, помещая последовательно в различные точки зазора по оси резонатора тело (шарик или цилиндр), и каждый раз фиксируя его положение и расстройку резонатора, можно получить кривую распределения поля в зазоре по оси резонатора.

В работе ^{/3/} описан метод, при котором изменение частоты при перемещении шарика в зазоре измерялось с помощью волномера ВВТ-Д.

При измерениях с помощью волномера ВВТ-Д точность отсчета частоты по шкале интерполяции составляет $\pm 0,5 \cdot 10^{-5}$, что для частоты 150 Мгц составляет погрешность ± 750 гц.

Однако, чтобы получить такое изменение частоты внесенным в поле зазора шариком, объем последнего должен быть такой величины, при которой наблюдается существенное искажение измеряемого поля. Опыт показывает, что предельный объем шарика должен быть таким, при котором изменение частоты от его внесения в поле зазора составляет 150-200 герц, что лежит за пределами возможности волномера ВВТ-Д.

В связи с этим нами был разработан метод измерения со значительно большей точностью, чем метод, описанный в работе ^{/3/}. Сущность этого метода заключается в следующем.

Резонатор (рис. 2) через усилитель возбуждается на волне типа E_{010} от Q -метра /1/. Q -метр имеет два настроечных плунжера, грубый /3/ и точный /4/. Плунжер точной настройки устанавливается в такое положение, что перемещение его в необходимых пределах дает линейное изменение частоты Q -метра. С плунжером точной настройки сочленен счетчик оборотов. Один оборот плунжера точной настройки изменяет частоту Q -метра на 460 гц.

Высокочастотное электрическое поле резонатора контролируется индикатором тока /6/, соединенным через детектор с петлей, расположенной в резонаторе.

С целью повышения точности измерения резонатор возбуждается Q -метром не на частоте резонанса, а на частоте f_1 (на уровне 0,7 от L_{max} по индикатору)

тем, чтобы иметь максимальную чувствительность и, следовательно, более высокую точность измерения (рис. 3).

Процесс измерения / при этом сводится к следующему. Начальному положению шарика соответствует значение тока I_1 индикатора (точка А) на резонансной кривой 1 (рис. 3). Перемещение шарика в следующее положение приводит к расстройке резонатора на величину Δf , соответствующей сдвигу двух резонансных кривых /1 и 2/, что, в свою очередь, вызывает уменьшение тока индикатора на ΔI .

Перемещением плунжера точной настройки добиваемся первоначального показания индикатора, т.е. тока I_1 . При этом по счетчику фиксируются обороты и доли оборотов плунжера точной настройки, которые с высокой степенью точности дают отсчет Δf . Эксперимент показал, что система хорошо чувствует 1/3 оборота плунжера, т.е. расстройку резонатора $\Delta f = 150$ гц - 200 гц.

Таким образом, чувствительность данной методики примерно на порядок выше той, которая описана в работе /3/.

Результаты эксперимента

Описанная методика использовалась при измерении распределения поля в зазорах линейного ускорителя протонов на 20 Мэв. Измерения производились на макете резонансной полости диаметром $D = 1500$ мм и длиной $L = 300$ мм. Резонатор возбуждался на волне типа E_{010} в диапазоне частот 130-150 Мгц. Полутрубки дрейфа имели диафрагмы диаметром от 90 до 130 мм (диаметр диафрагм выбирался в соответствии с принятым диаметром трубок дрейфа линейного ускорителя). Величина зазора между полутрубками дрейфа могла меняться от 15 до 130 мм. Измерения производились при апертурах трубок дрейфа 17, 20, 25 мм в соответствии с принятой апертурой линейного ускорителя.

В качестве возмущающего тела использовался латунный шарик диаметром 5 мм при апертуре 17, 20 и 10 мм при апертуре 25 мм. Шарик перемещался по оси зазора с помощью капроновой нити. Точность отсчета положения шарика в зазоре с помощью специального приспособления обеспечивалась не менее 0,05 мм.

На рис. 4, 5, 6 изображены кривые распределения поля E_{0z} в зависимости от величины зазора (g) при апертурах 17, 20, 25 мм, снятые описанным методом.

На рис. 7б изображены кривые S -фактора, рассчитанные по формуле (1) с использованием кривых рис. 4, 5, 6. На этом же рисунке изображены также теоретические кривые S -фактора, рассчитанные по формуле (2).

Из сопоставления теоретических и экспериментальных кривых видно, что при больших зазорах, когда начинает сказываться провисание поля (рис. 5, 6), экспериментальные кривые идут существенно ниже теоретических.

На рис. 7а изображена кривая апертурного перехода в зависимости от длины периода ускорения L для проектируемого линейного ускорителя. Данная кривая получена в работе /4/, из рассмотрения влияния неточностей ионно-фокусирующего канала линейного ускорителя на движение ускоренных частиц.

Совместное использование кривых 7а и 7б дает возможность рассчитать ускоряющую систему линейного ускорителя с жесткой фокусировкой на 20 Мэв.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность А.Б. Кузнецову за обсуждение экспериментальных данных и Д.И. Шерстянову за помощь в проведении экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. W. Panofsky UCRL 1216, February, 1951.
2. Л. Альварез и др. Берклиевский протонный линейный ускоритель. Проблемы современной физики, № 4, 1958 г.
3. Л.П. Зиновьев и др. Физические обоснования протонного линейного ускорителя - инжектора синхрофазотрона. Препринт ОИЯИ 519, Дубна 1980.
4. А.Д. Солодов. Диплом. Исследования по теории и расчету линейного протонного ускорителя с жесткой фокусировкой, МГУ 1985 г.
5. В.С. Кладницкий. Фактор времени пролета для протонного линейного ускорителя. ЖТФ, т. XXX, 1960.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 августа 1988 г.

- 1 - резонатор
- 2 - автогенератор
- 3 - шарик

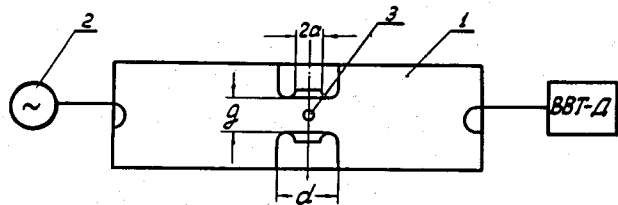
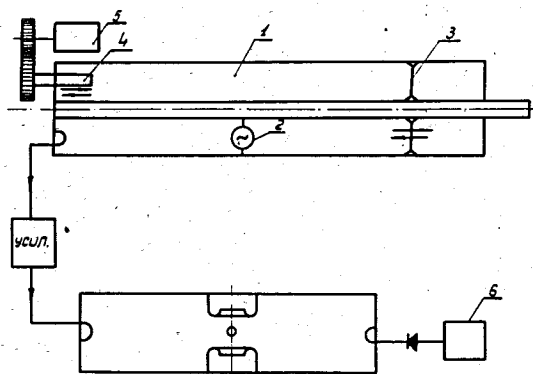


Рис. 1. Схема отсека резонатора.



- 1 - Q-метр
- 2 - генератор Q-метра
- 3 - плунжер грубой настройки
- 4 - плунжер точной настройки
- 5 - счетчик оборотов
- 6 - индикатор

Рис. 2. Схема измерения.

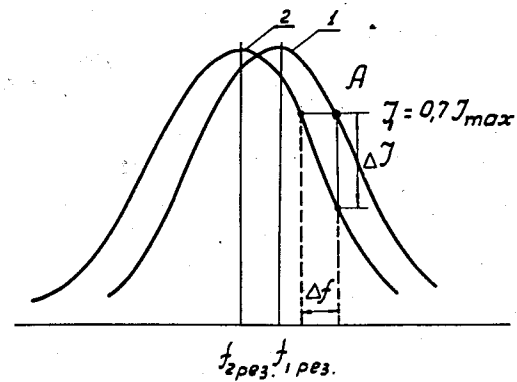


Рис. 3. Резонансные кривые.

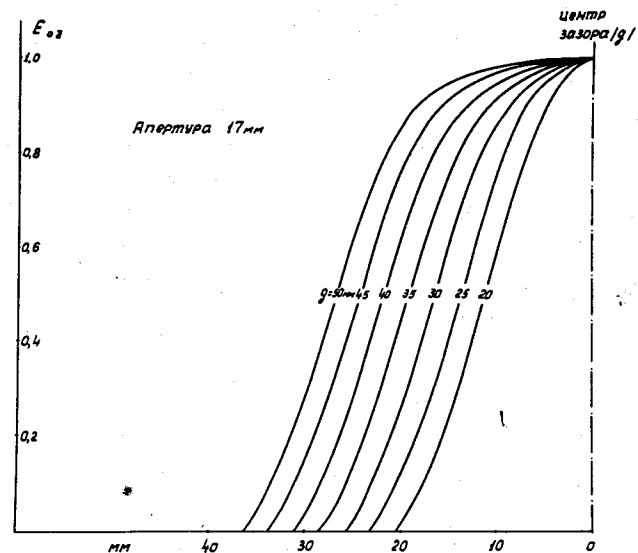


Рис. 4. Кривые распределения поля E_{0z} в зависимости от величины зазора g при апертуре 17 мм.

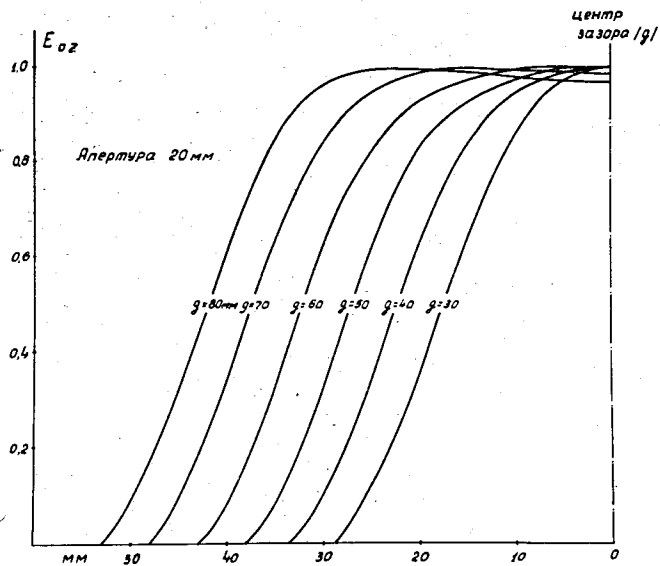


Рис. 5. Кривые распределения поля E_{0z} в зависимости от величины зазора g при апертуре 20 мм.

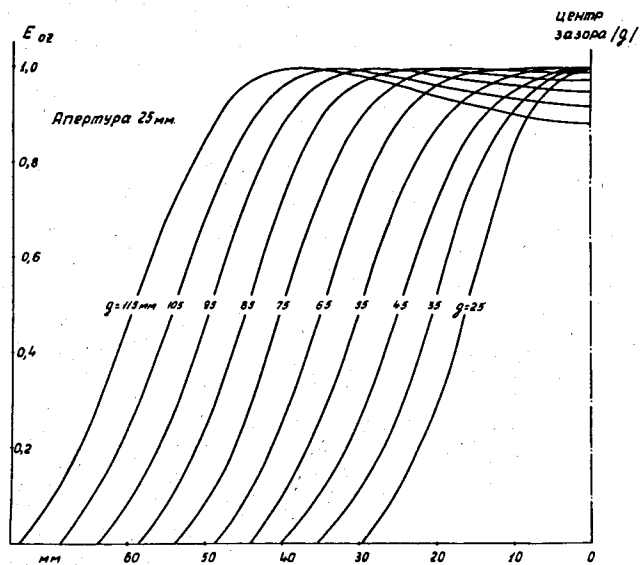


Рис. 6. Кривые распределения поля E_{0z} в зависимости от величины зазора g при апертуре 25 мм.

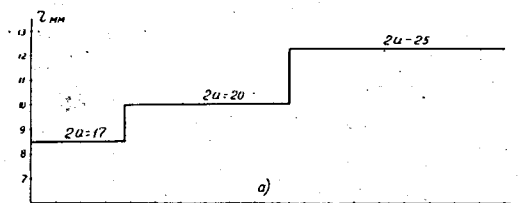


Рис. 7а. Кривая распределения апертуры по длине резонатора в зависимости от длины периода.

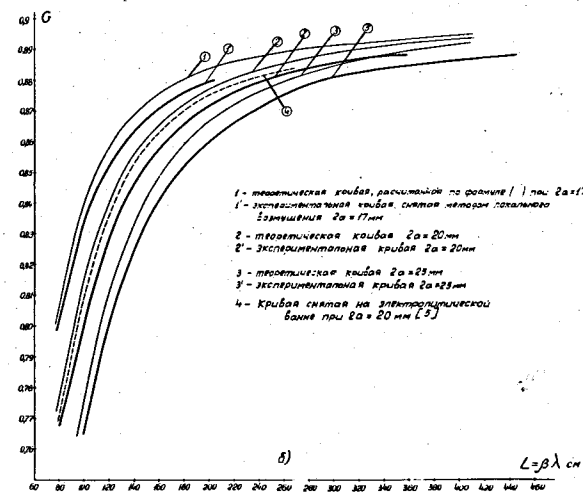


Рис. 7б. Кривые G-фактора.