

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



27/II-78

P9 - 11089

0345e5

B-63

М.А.Воеводин, А.Д.Коваленко, П.П.Павлов,

В.А.Попов

984/2-78

РЕЗОНАТОРНЫЙ ДАТЧИК ПАРАМЕТРОВ ПУЧКОВ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

1977

Р9 - 11089

М.А.Воеводин, А.Д.Коваленко, П.П.Павлов,
В.А.Попов

**РЕЗОНАТОРНЫЙ ДАТЧИК ПАРАМЕТРОВ ПУЧКОВ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

Направлено в ПТЭ



Резонаторный датчик параметров пучков заряженных частиц

Для измерения параметров пучков частиц, получаемых на линейных резонансных ускорителях протонов и тяжелых ионов, предлагается использовать тороидальный резонатор, который при существенно меньших, чем у цилиндрического резонатора, габаритах имеет практически ту же чувствительность. Рассчитанный и экспериментально проверенный образец, настроенный на резонансную частоту ~ 145 МГц, имеет максимальный диаметр 340 мм, продольный размер 80 мм, а расстояние между стенками в емкостной части ~ 2 мм. Измерения проводились на пучках протонов, дейтронов и α -частиц. Чувствительность датчика - 0,6 В/мА.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Toroidal Cavity for Measuring Charge Particle Beams

For measuring parameters of beam particles produced on linear resonance accelerators of protons and heavy ions a toroidal cavity is proposed. This possesses practically similar sensitivity at considerably smaller sizes, as compared to the cylindrical one. A calculated and experimentally tested sample tuned to appr. 145 Mc has a maximum diameter of 340 mm, its longitudinal size is 80 mm, the distance between walls in a capacitance part is about 2 mm. The measurements were performed on the proton, deuteron and α -particle beams. The cavity sensitivity was 0,6 V/mA.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energy, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Для измерения параметров пучков заряженных частиц, имеющих модуляцию плотности в продольном направлении, используются объемные резонаторы. Обладая по сравнению с другими прозрачными датчиками наивысшей чувствительностью и рядом других преимуществ, эти устройства нашли широкое применение для диагностики пучков, главным образом, на электронных резонансных ускорителях ^{1-4/}. Электронные ускорители работают в сантиметровом диапазоне длин волн, и это определяет небольшие габариты датчика, поскольку диаметр, например, цилиндрического резонатора, возбуждаемого на волне E_{010} , равен $D_0 = 0.764 \lambda_m$ (λ_m - длина волны гармоника с номером m). На линейных ускорителях тяжелых заряженных частиц используется метровый диапазон длин волн. В частности, длина волны ускоряющего поля в линейном ускорителе ЛУ-20 - инжекторе синхрофазотрона ОИЯИ - составляет ~ 2 м, поэтому цилиндрический резонатор, настроенный на первую гармонику тока пучка, имел бы диаметр $\sim 1,5$ м. Один из путей уменьшения габаритов заключается в использовании для измерений более высоких гармоник, например 3-й, 6-й и т.д. ^{5/}. Однако при этом уменьшается чувствительность датчика, поскольку амплитуды гармоник падают с ростом их номера и, кроме того, из-за увеличения частоты, на которой производятся измерения, растут требования, предъявляемые к аппаратуре, используемой для усиления сигнала, а также к качеству согласования элементов тракта.

В данной работе рассмотрена другая возможность уменьшения габаритов датчика, заключающаяся в исполь-

зовании для измерений не цилиндрического, а тороидального резонатора.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И КОНСТРУКЦИЯ

Параметры симметричного тороидального резонатора, не имеющего отверстия для пролета пучка, можно рассчитать из следующих соотношений^{1/6/}:

$$\lambda_0 = \pi d \left\{ \frac{L}{2t} \left[1 + \frac{8t}{\pi d} \left(\ln \frac{L}{t} - 0,386 \right) \right] \ln \frac{D}{d} \right\}^{1/2}, \quad (1)$$

$$Q_0 = \rho_0 / r_0, \quad (2)$$

$$\rho_0 = \frac{170}{d} \left[\frac{L \cdot t \cdot \ln D/d}{1 + \frac{8t}{\pi d} \left(\ln \frac{L}{t} - 0,386 \right)} \right]^{1/2} \text{ (Ом)}, \quad (3)$$

$$r_0 = \frac{R_s}{2\pi} [0,5 + 2L(1/d + 1/D) + 2 \ln D/d] \text{ (Ом)}. \quad (4)$$

где λ_0 - резонансная длина волны, Q_0 - добротность с учетом потерь только в оболочке резонатора, $R_s = 4,53 \cdot 10^{-3} \lambda_0^{-1/2}$ (для меди). Смысл остальных обозначений ясен из рис.1. Характер зависимости λ_0 и Q_0 от величины зазора в емкостной части резонатора для некоторых вариантов показан на рис.2. Наличие отверстия диаметром d_1 приведет к уменьшению резонансной длины волны:

$$\lambda \approx \lambda_0 [1 - (d_1/d)^2]^{1/2}. \quad (5)$$

В выбранном варианте ($D = 340$ мм, $d = 230$ мм, $L = 80$ мм) наличие отверстия диаметром $d_1 = 100$ мм уменьшает

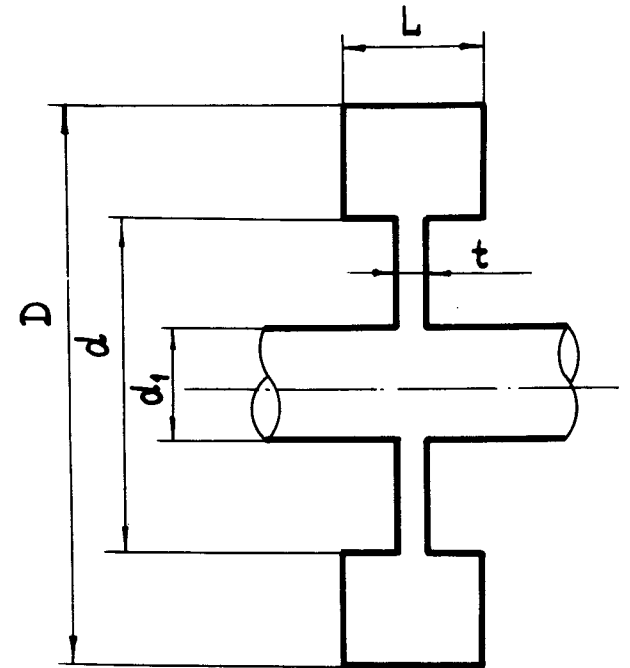


Рис.1. Схематическое изображение симметричного тороидального резонатора.

резонансную длину волны примерно на 5%. Расстояние между стенками резонатора в емкостной части составляет ~ 2мм, а величина добротности $Q_0 = 5000$.

Особенностью конструкции является то, что резонатор находится в атмосфере. Это позволяет существенно упростить технологию изготовления и облегчить задачу подстройки резонансной частоты и съема информации. На рис.3 показана конструкция датчика. Резонатор в данном случае выполнен разъемным; его половинки, соединяющиеся посредством шестнадцати болтов, распо-

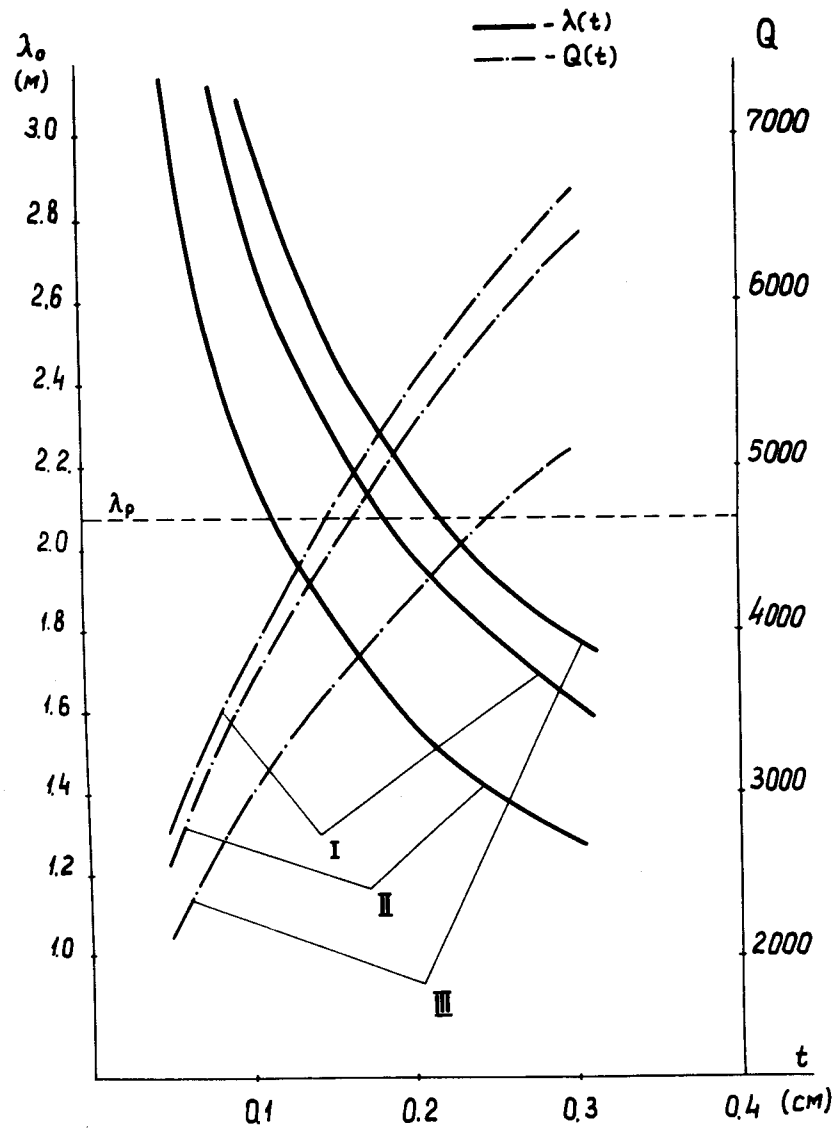


Рис.2. Зависимости λ_0 и Q_0 от t : I - $D = 392$ мм, $d = 200$ мм, $L = 50$ мм; II - $D = 340$ мм, $d = 230$ мм, $L = 80$ мм; III - $D = 450$ мм, $d = 276$ мм, $L = 50$ мм.

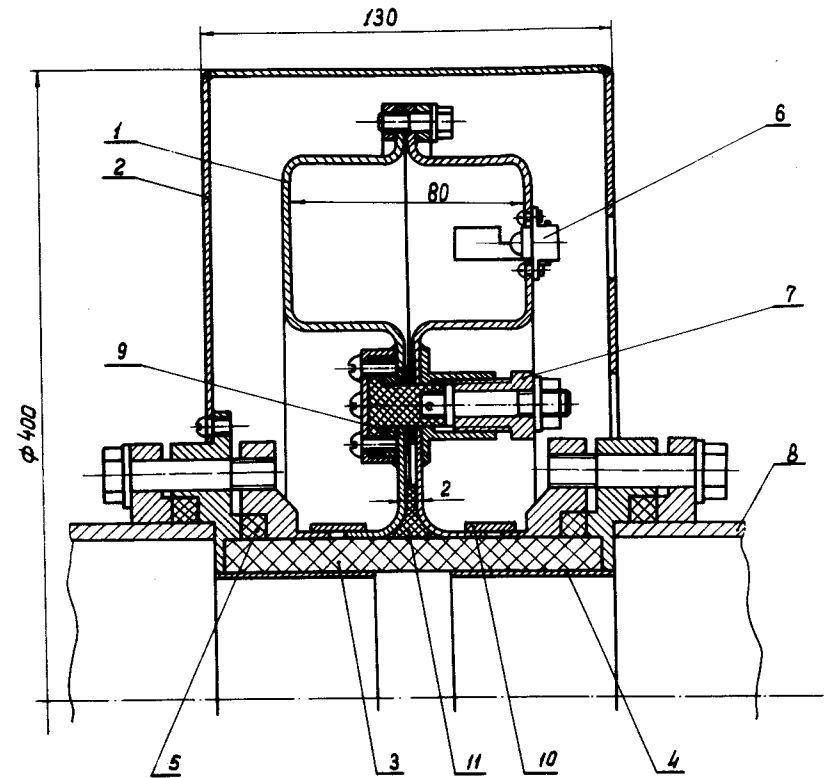


Рис.3. Конструкция датчика: 1 - резонатор, 2 - кожух, 3 - керамическая трубка, 4 - медные экраны, 5 - вакуумные уплотнения, 6 - петля связи, 7 - механизм грубой подстройки частоты, 8 - ионопровод, 9, 11 - фторопластовые шайбы, 10 - металлические обжимы.

женных равномерно по наружному диаметру, выдавлены из листовой меди толщиной 1,5 мм и отполированы внутри. Чтобы исключить возможность замыкания стенок, в емкостной части резонатора установлены диэлектри-

ческие шайбы 9, 11. Резонатор надет на керамическую трубу 3, которая фланцевыми соединениями сочленяется с концами ионопровода 8 и уплотняется на вакуум резиновыми уплотнениями 5. Обжимы 10 обеспечивают электрический контакт резонатора с ионопроводом. Медные экраны 4 предохраняют внутреннюю поверхность керамической трубы (за исключением узкой кольцевой полоски в центральной части, необходимой для возбуждения резонатора) от возможного накапливания электрических зарядов. Резонатор защищен снаружи разъемным металлическим кожухом 2, на торцах которого имеются отверстия для подсоединения линий связи к диаметрально противоположным петлям 6 и доступа к механизму грубой подстройки частоты 7. Плавная подстройка частоты осуществляется дистанционно управляемой подвижной лопаткой (на рис. 3 не показана) в индуктивной части резонатора. На рис. 4 показан общий вид датчика со снятой половиной кожуха.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

Датчик устанавливался на тракте инжекции частиц в синхрофазотрон после выравнивателя и модулятора энергии и использовался для контроля параметров пучков протонов, дейтронов и α -частиц. Расстояние от резонатора ЛУ-20 до места установки датчика составляло ~ 21 м. Отметим, что в данном случае датчик чувствителен не только к изменению тока пучка, но и к изменению мгновенного энергетического спектра, поскольку амплитуда основной гармоники тока пучка, на которую настроен резонатор, зависит от фазовой протяженности сгустков, определяемой в нашем случае энергетическим разбросом $\Delta W/W$ [7]. Таким образом, можно говорить о чувствительности S_0 , которая соответствует имеющейся фазовой протяженности сгустков ϕ_0 в месте установки датчика. Ток пучка в экспериментах варьировался в пределах от 20 мкА до 20 мА. Контроль тока осуществлялся с помощью пояса Роговского и цилиндра Фарадея. Сигналы с резонатора снимались одновременно с двух петель связи, нагруженных на длинный кабель (~ 40 м) с волно-

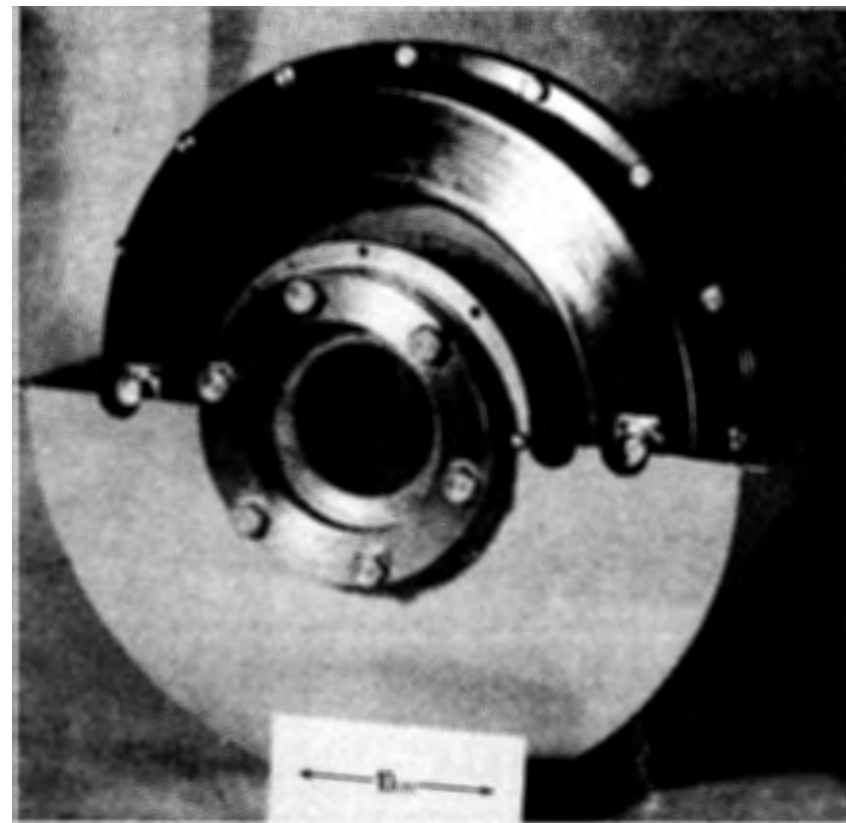


Рис. 4. Общий вид датчика.

вым сопротивлением 75 Ом. Измерения показали, что чувствительность датчика в данных условиях: $S_0 = 0,6$ В/мА.

Работа датчика в течение длительного периода отличалась хорошей стабильностью.

Авторы выражают благодарность Л.П.Зиновьеву и Ю.Д.Безногих за интерес к работе и содействие, а также сотрудникам сектора инжекции за помощь при проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bergere R. e.a. RSI, 1962, 33, p. 1441.
2. Favinholt E.V. e.a. IEEE Trans. Nucl.Sci., 1967, NS-14, p. 1127.
3. Farkas Z.D. e.a. In: Proc. of the 1976 Proton Linear Accel. Conf., November 1976, Chalk River, p. 300.
4. Farkas Z.D. e.a. SLAC-PUB-1970, July, 1977.
5. Каллагов В.Н. и др. Труды радиотехнического института АН СССР, 1973, №18, с. 246.
6. Коваленко В.Ф. Введение в электронику СВЧ, "Сов. радио", М., 1950.
7. Безногих Ю.Д., Воеводин М.А. ОИЯИ, 9-5253, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 ноября 1977 года.