

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С 345 e 3
В-63

13/1x-76

9 - 10000

3614/2-76

М.А.Воеводин, А.Д.Коваленко, Ю.И.Романов

О ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ИНДУКЦИОННЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ.

Часть II. Аппаратура и эксперимент

1976

9 - 10000

М.А.Воеводин, А.Д.Коваленко, Ю.И.Романов

**О ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ПУЧКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ИНДУКЦИОННЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ.**

Часть II. Аппаратура и эксперимент

В^{1/} описана методика измерения эффективной ширины пучка заряженных частиц индукционными электродами. В отделе синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ разработан и изготовлен прототип измерительной системы, с помощью которой выполнен цикл измерений на протонном и дейтонном пучках. В настоящем сообщении описаны устройство и комплекс электронной аппаратуры, входящей в систему, а также приведены результаты измерений.

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА

Устройство для измерения эффективной ширины пучка внутри камеры синхрофазотрона состоит из следующих узлов:

- а/ датчика;
- б/ предусилителей;
- в/ основных усилителей;
- г/ преобразователей аналоговых сигналов и коммутаторов;
- д/ схемы управления.

Блок-схема устройства приведена на *рис. 1*.

Датчик представляет собой две заземленные по периметру плоско-параллельные металлические пластины, расположенные в верхней и нижней частях камеры ускорителя. Расстояние между пластинами - 400 мм. Пластины имеют вырезы /окна/ прямоугольной формы 300 x 40 мм², внутри которых размещаются изолированные друг от друга сигнальные электроды /ламели/. Металлические листы являются одновременно эффек-

тивным экраном, предохраняющим ламели от наводок со стороны высокочастотной станции ускорителя.

Датчик расположен внутри вводного прямолинейного промежутка. Координаты ламелей по радиусу следующие:

r_0 ; $r_0 \pm 20$ см; $r_0 \pm 40$ см; $r_0 \pm 60$ см.

Каждая ламель электрически связана с предусилителем. Емкость сигнального электрода вместе с емкостью провода и входной емкостью предусилителя составляет 650 пФ. Предусилители собраны на базе двух интегральных схем 2КУС221Д, имеют коэффициент усиления $K = 50$ в полосе частот 20 кГц \pm 10 МГц. Входное сопротивление - 100 кОм, неравномерность частотной характеристики $\pm 1,5$ дБ. Собственный шум усилителя - 100 мкВ, максимальный выходной сигнал составляет ± 1 В на нагрузке 75 Ом. Блок из 14 предусилителей /рис. 2/ защищен магнитным экраном и расположен на вводном прямолинейном промежутке в непосредственной близости от датчика.

Для получения сигнала, пропорционального средней величине заряда за период обращения сгустка заряженных частиц, устройство включает в себя основные усилители и преобразователи аналоговых сигналов /2/. Для вызова информации на осциллограф использован быстросрабатывающий аналоговый коммутатор. Основные усилители /ОУ/ собраны на транзисторах по схеме с общей базой. Низкое входное сопротивление такой схемы обеспечивает необходимое согласование с волновым сопротивлением кабеля. Коэффициент усиления - 20 в полосе частот 20 кГц \pm 10 МГц.

С выхода усилителей сигнал поступает на схему восстановления постоянной составляющей /ВПС/ и фильтр нижних частот /ФНЧ/. Далее - на суммирующий каскад, служащий для устранения неоднозначности показаний устройства при изменении координаты центра заряда сгустка частиц в вертикальном направлении. С этой целью на вход суммирующего усилителя сигналы поступают одновременно с двух ламелей, расположенных в верхней и нижней части датчика. Суммирующий каскад собран на базе операционного усилителя МАА501 с коэффициентом передачи - 1.

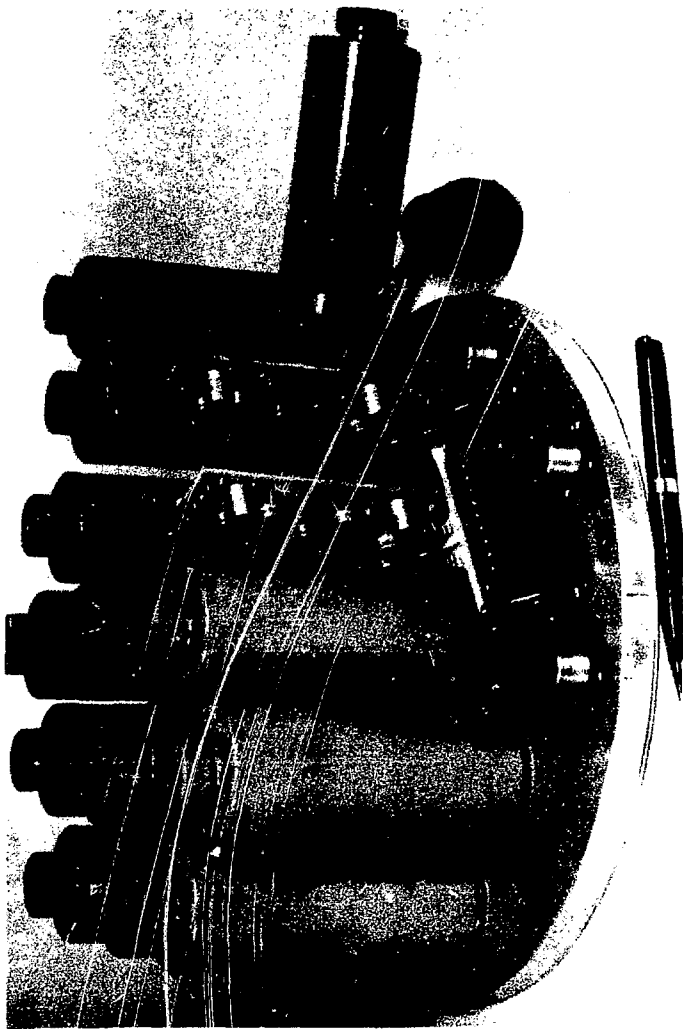


Рис. 2. Общий вид блока предусилителей.

Операция "Вычитание" производится каскадом, также используемым операционный усилитель. Наличие операции "Вычитание" позволяет определить положение центра сгустка заряженных частиц на различных радиусах. Быстродействующий аналоговый коммутатор /А.К./ позволяет за $t = 1,5 \text{ мкс}$ снимать информацию с каждого из семи усилителей и преобразовывать ее.

Коммутатор собран на переключающей интегральной микросхеме К1КТО11. Управление коммутатором /У.К./ осуществляется с помощью блокинг-генератора /2/. После коммутатора информация с семи каналов в виде последовательности импульсов разной амплитуды поступает в логический сумматор. Он выполнен на базе операционного усилителя МАА501. Индикатором информации является осциллограф с дифференциальным входом и запоминающей трубкой, например, С8-11. Идентичность каналов устройства находится в пределах 5%. Схема управления задает необходимые режимы опроса каналов, вырабатывает импульсы синхронизации и ступенчатого напряжения для получения вертикальной развертки осциллографа. По желанию оператора можно производить однократный съем информации о пучке, либо многократно /до 5 - за один цикл ускорения/.

Интервал времени между опросом может выбираться в диапазоне от 0,5 до 10 мс. Начало опроса имеет регулируемую задержку. Величина ее может варьироваться в пределах $1 \div 100 \text{ мс}$ с момента включения ускоряющего напряжения. Этот отрезок времени представляет наибольший интерес для изучения динамики пучка внутри камеры синхрофазотрона. Таким образом, на экране осциллографа с памятью может быть представлена информация в виде одного или нескольких /2 ÷ 5/ профилей одновременно.

Принципиальная схема блока управления представлена на рис. 3 и работает следующим образом.

Импульсом начала инжекции производится запуск блока линейной задержки. Задним фронтом последней включается триггер управления /МС-10/. Ключи /транзисторы Т3, Т4, Т5/ запираются, начинает работать генератор интервалов опроса профилей ГИОП /Т1, Т2,

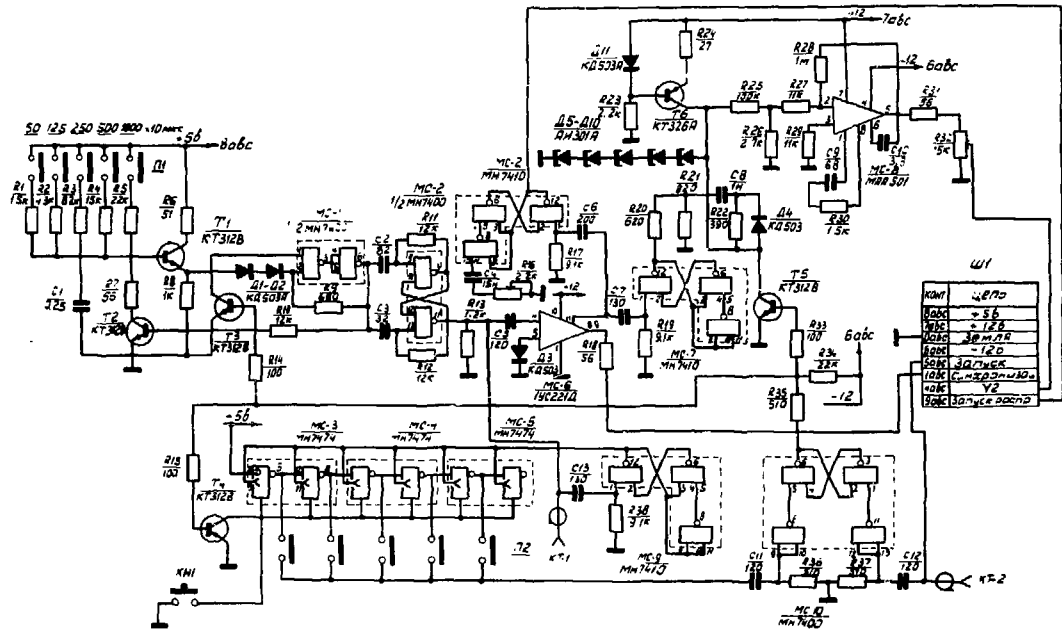


Рис. 3. Принципиальная схема блока управления.

МС-1, МС-2/. Прямоугольные импульсы ГИОП дифференцируются, усиливаются и инвертируются /МС-6/. На выходах усилителя получаются разнополярные импульсы, совпадающие по времени с передним фронтом импульсов ГИОП. Они производят запуск схемы плавной задержки /МС-2/, распределителя импульсов и генератора ступенчатого напряжения ГСН /МС-7, Т6, ТД5 ÷ ТД10/³/С одного из выходов усилителя /рис. 3/ снимаются импульсы положительной полярности амплитудой 7 В, служащие для синхронизации осциллографа. Одновременно с началом работы ГИОП начинает работать и регистр сдвига, МС-3, МС-4, МС-5/¹/. Он запускается импульсами переднего фронта ГИОП. В зависимости от номера нажатой клавиши переключателя П2 регистр сдвига импульсом заднего фронта выключает триггер управления /МС-10/. При этом выключается ГИОП, происходит сброс регистра сдвига и ГСН с помощью ключей /Т3, Т4, Т5/, после чего схема готова к формированию очередной последовательности импульсов.

С целью исключения наложения коммутационных процессов при получении на экране осциллографа нескольких профилей, в схеме блока управления предусмотрена плавная задержка /МС-2/. Диапазон ее регулируется резистором R16 в пределах $1 \div 10$ мкс, что позволяет смещать информацию относительно начала развертки.

Конструктивно все схемы радиэлектронной аппаратуры /кроме предусилителей/ размещены в стандартных субблоках "Вишня" с размером передней панели 40 x 160 мм².

2. МАКЕТИРОВАНИЕ

Для проверки согласования расчетных данных с экспериментальными был выполнен ряд измерений на макете системы, повторяющем в масштабе 1 : 1 реальное устройство. При этом широкий пучок имитировался пятнадцатью тонкими металлическими полосками, которые

запитывались в параллель от генератора ГЗ-33 синусоидальным током с частотой 150 кГц. Резисторами, включенными последовательно с каждой полоской, можно было задавать распределение тока по ширине имитатора. Сигналы с ламелей измерялись селективным вольтметром. Полученные экспериментальные зависимости $\sigma_{II}(x')$ подтвердили правильность расчетов.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

На рис. 4 представлена одна из осциллограмм, полученных с помощью описанного устройства. Эти пять

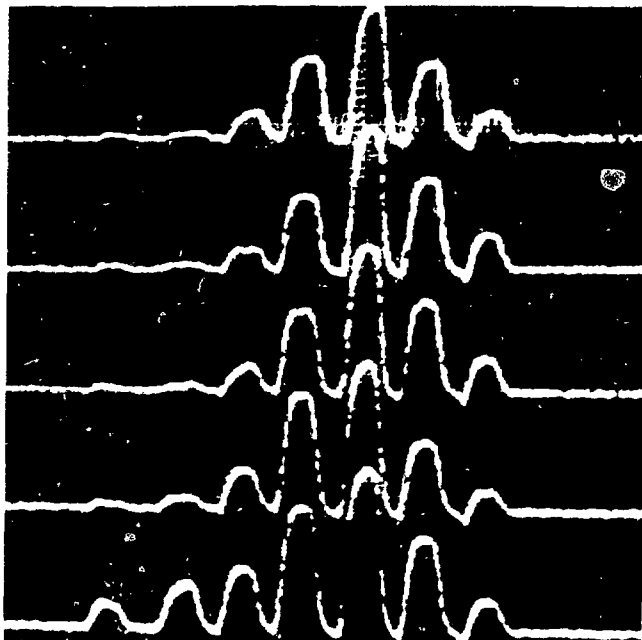


Рис. 4. Осциллограммы распределений наведенного заряда.

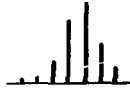
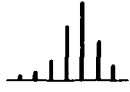
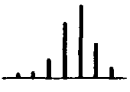
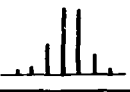
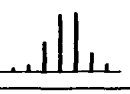
гистограмм, считая снизу вверх, отражают динамику пучка, начиная с момента времени $t = 2$ мс от начала ускорения, через интервал $\Delta t = 2,5$ мс. На основании, например, этих данных можно сказать, что центр тяжести пучка с момента захвата частиц в сепаратрису

Таблица 1

Протоны

время ускор (мс)	Распределение набиваемого заряда	Эффект ширинного заряда	Координаты замера			ΔR_0	\bar{U}_m
			0	0.5	1.0		
6		6R ₁	Расчет $\alpha/\beta=0.85$			-3см	3.3б
			1.00	0.860	0.39		
			Эксперимент				
			1.00	0.88	0.26		
11		5всм	Расчет $\alpha/\beta=0.725$			-4см	3.3б
			1.00	0.80	0.29		
			Эксперимент				
			1.00	0.85	0.21		
21		48см	Расчет $\alpha/\beta=0.6$			-3см	3.3б
			1.00	0.71	0.21		
			Эксперимент				
			1.00	0.69	0.17		
~60		+0см	Расчет $\alpha/\beta=0.5$			+3см	3.0б
			1.00	0.62	0.16		
			Эксперимент				
			1.00	0.57	0.12		
~80		33см	Расчет $\alpha/\beta=0.41$			+3см	2.4б
			1.00	0.57	0.14		
			Эксперимент				
			1.00	0.47	0.12		

Таблица 2

Дейтоны							
Заряд ускор. (гПа)	Распределение наведенного заряда	Эффект ширина З.С. ЭФФ	Квадраты лапласа			ΔR_0	$\gamma_{\text{м}}$
			0	0,5	1,0		
6		44 см	Расчет $\gamma_{\beta}=0,55$			15 см	2,76
			1,00	0,680	0,193		
			Эксперимент				
11		42 см	Расчет $\gamma_{\beta}=0,525$			17 см	2,66
			1,00	0,66	0,18		
			Эксперимент				
16		36 см	Расчет $\gamma_{\beta}=0,45$			14 см	2,56
			1,00	0,6	0,15		
			Эксперимент				
21		35 см	Расчет $\gamma_{\beta}=0,437$			8,5 см	2,36
			1,00	0,59	0,147		
			Эксперимент				
26		32 см	Расчет $\gamma_{\beta}=0,4$			11 см	2,26
			1,00	0,56	0,136		
			Эксперимент				
			Расчет $\gamma_{\beta}=0,4$				
			1,00	0,56	0,136		
			Эксперимент				

смещается на 8 см и ускорение происходит на радиусе $r_0 + 20$ см. Эффективная ширина пучка к 10 мс ускорения составляет ~46 см. В табл. 1,2 содержатся данные обработки осциллограмм, полученные при ускорении дейтонов и протонов. Первая колонка - это момент регистрации относительно начала ускорения, затем показаны профили распределений наведенного заряда. Измеренные по этим профилям значения эффективной ширины пучка

$2a_{эфф}$ даны в следующем столбце. Далее приведены амплитуды нормированной функции $\sigma(x')$, соответствующие координатам центров измерительных ламелей и там же даны соответственные значения для распределения наведенного заряда от пучка шириной $2a$ с равномерной плотностью частиц n , наконец, последние две колонки содержат данные о положении центра тяжести пучка относительно равновесного радиуса r_0 и максимальную амплитуду сигнала с ламелей.

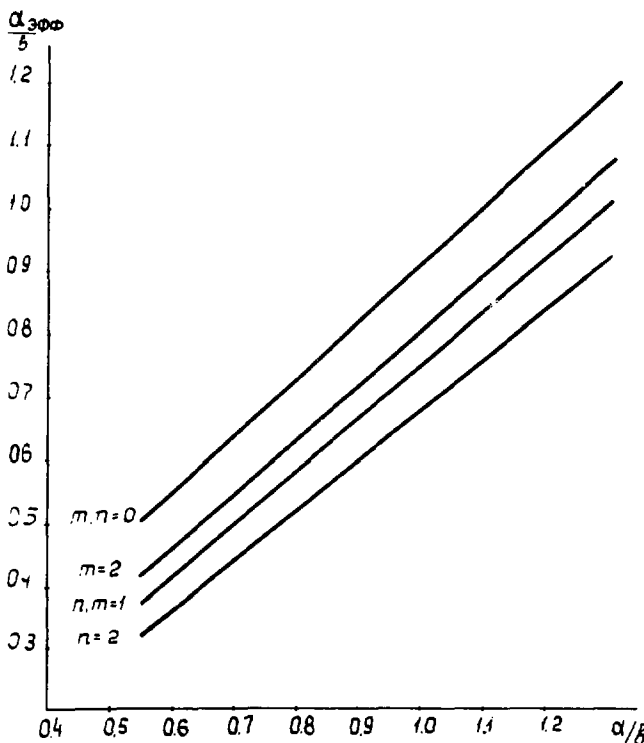


Рис. 5. Эффективные радиальные размеры пучка с различной плотностью частиц по сечению.

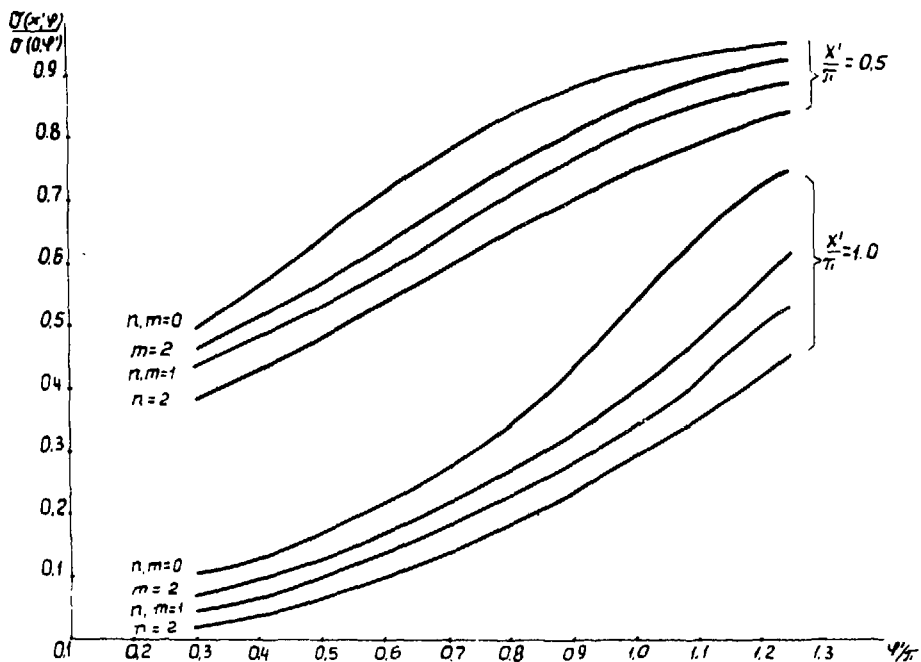


Рис. 6. Зависимость амплитуды нормированной функции распределения наведенного заряда от ширины для пучка с различным распределением частиц.

Средняя ошибка, получаемая при определении нормированных амплитуд, составляет $\pm 0,015$, ошибка в определении эффективной ширины $\pm 10\%$, а в определении отклонения центра тяжести пучка ± 1 см.

Для получения информации о распределении частиц в радиальном направлении следует воспользоваться рис. 5,

б, где построены зависимости $\frac{a}{b} = f\left(\frac{a_0 \phi \phi'}{b}\right)$ и $\frac{\sigma(x', \phi')}{\sigma(0, \phi')} = f\left(\frac{\phi'}{\pi}\right)$ /напомним, что $\frac{\phi'}{\pi} = \frac{a}{b}$ / для заданных функций распределения $\rho(\xi')$, определяемых выражениями /7,8/ работы /1/ при $n, m = 0, 1, 2$.

4. ВЫВОДЫ

Описанное устройство в течение длительного времени успешно применяется для изучения динамики пучка на начальном этапе ускорения, что позволило получить ряд ценных данных, использованных в расчетах.

Из получаемой информации можно извлечь сведения о распределении частиц по сечению пучка, однако для повышения точности необходимо увеличить количество сигнальных электродов.

Измерение координат центра пучка в отличие от известных методов с использованием разрезных индукционных электродов /5/ не требует операции нормирования, которая значительно усложняет электронную аппаратуру.

Обычно координаты пучка в устройствах с использованием индукционных электродов определяются делением сигнала разностного датчика на сигнал датчика интенсивности. Деление обычно выполняется схемой АРУ /6/. Выработка сигнала, регулирующего коэффициент передачи усилительного тракта, требует определенного времени, в лучшем случае исчисляемого несколькими десятками микросекунд /7/. Следовательно, изучение динамики пучка на начальном этапе ускорения с помощью разрезных пикап-электродов затруднительно. В опи-

санном устройстве можно практически измерять мгновенное значение координат пучка в радиальном направлении, т.к. опрос всех ламелей происходит за 10 мкс, а постоянная времени ФНЧ может быть снижена до 5 мкс.

Обработку информации в перспективе можно производить машинным способом с выводом результатов на дисплей или цифropечать, получая, таким образом, данные об интенсивности, положении, размерах и распределении частиц по сечению пучка.

В заключение авторы выражают благодарность Л.П.Зинновьеву за проявленный интерес к работе, Ю.Д.Безкогих - за полезные обсуждения, И.И.Карпову за участие в разработке конструкции датчика, В.Н.Кузнецову, А.А.Анашину за изготовление и налаживание радиоэлектронной аппаратуры, А.А.Ларину - за участие в проведении стендовых испытаний.

Литература

1. М.А.Воеводин, А.Д.Коваленко. Препринт ОИЯИ, 9-9989, Дубна, 1976.
2. Е.И.Шушков, М.Б.Цодиков. Многоканальные аналогоцифровые преобразователи. "Энергия", 1975.
3. В.В.Воскресенский, А.М.Иваницкий, Применение туннельных диодов в импульсной технике. "Связь", 1974.
4. М.Ф.Шабашов, Р.Яник. Препринт ОИЯИ, 11-7564, Дубна, 1973.
5. А.А.Кузьмин, С.С.Курочкин и др. ПТЭ, №4, 1962.
6. O.Barboiat. MPS/Int/RF 67-8 os/mt, 1967.
7. И.П.Карабевков и др. Труды Международной конференции по ускорителям заряженных частиц. Кэмбридж, 1967.

*Рукопись поступила в издательский отдел
28 июля 1976 года.*