

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

18
3-63
556



Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, К.П.Мызников

556

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ
ЧАСТИЦ МАЛОЙ ЭНЕРГИИ
В СИНХРОФАЗОТРОНЕ
МЕТОДОМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ЗАРЯДА

Дубна 1960 год

Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, К.П.Мизников

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ
ЧАСТИЦ МАЛОЙ ЭНЕРГИИ
В СИНХРОФАЗОТРОНЕ
МЕТОДОМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ЗАРЯДА

499/6 мр.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1. Введение

Для измерения интенсивности протонов, ускоренных в синхротронном до энергий, не превышающих 100 Мэв, применялось измерительное устройство, основанное на принципе накопления заряда емкостью. В камеру ускорителя помещалась металлическая пластина, толщина которой в направлении пучка превышала длину пробега протона данной энергии. Протоны, направленные на пластину - коллектор, отдают ей свой заряд; по величине суммарного заряда можно судить о числе попавших на коллектор частиц. Метод накопления заряда является более чувствительным, чем непосредственное измерение тока и дает возможность измерять малые значения интенсивности пучка, что было особенно важно в начальной стадии запуска ускорителя. Он удобен также тем, что независимо от формы токового импульса можно измерить суммарный заряд, а следовательно, и число частиц, попавших на коллектор. Измерительное устройство позволяет определять интенсивность пучка с точностью не хуже $\pm 10\%$. Нижний предел измерений определяется уровнем помех. В нашем случае он соответствовал 10^6 частиц в импульсе.

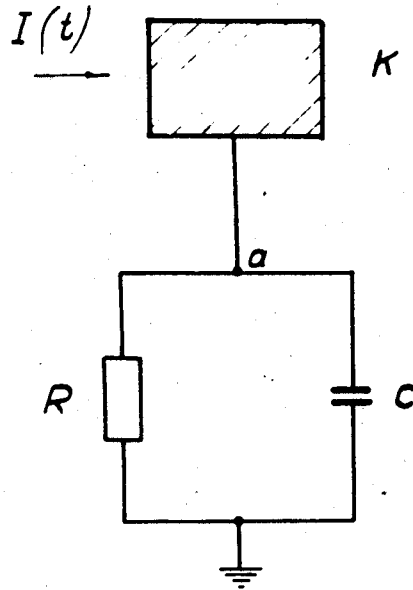
2. Метод измерения

На фиг. 1 показан коллектор и схема входной цепочки измерительного устройства. Коллектор К заземлен через сопротивление R . Емкость между коллектором и землей обозначена через C . Ток пучка заряженных частиц, являющийся функцией времени, обозначим через $J(t)$; напряжение в точке a - через $E(t)$. Тогда

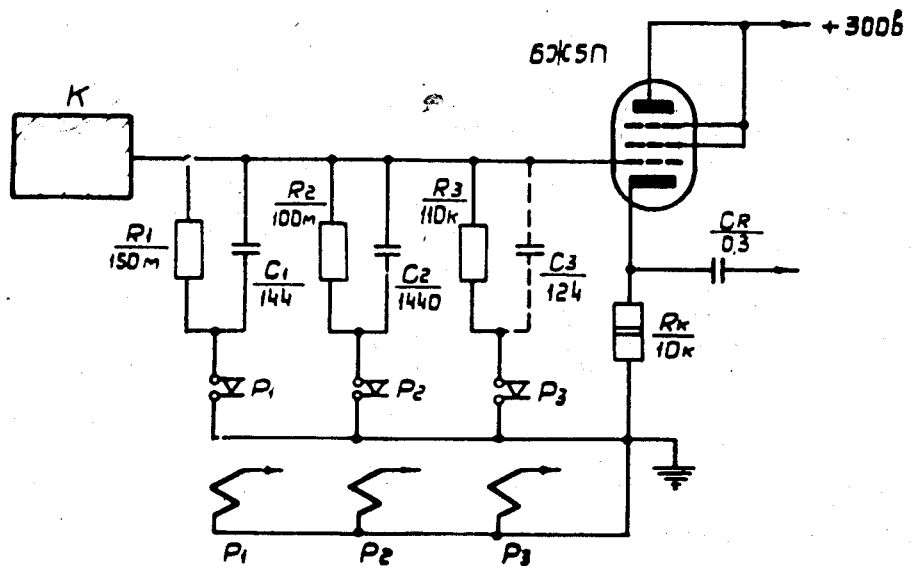
$$\frac{E(t)}{R} + C \frac{dE(t)}{dt} = J(t). \quad /1/$$

Для регистрации напряжения в точке a сигнал с измерительной цепочки подается на вход катодного повторителя с коэффициентом передачи K , после чего поступает для измерения на калиброванный осциллограф. Следовательно, если измеренный осциллографом импульс равен U , то

$$U = k E(t).$$



Фиг. 1. Принципиальная схема входной измерительной цепочки.



Фиг. 2. Схема измерительного устройства.

Практический интерес представляют решения уравнения /1/ для 2-х частных случаев при $RC \gg \tau$ и $RC \ll \tau$, где τ - длительность исследуемого импульса тока.

При $RC \gg \tau$ решение уравнения /1/ имеет вид:

$$u = \frac{K}{C} \int_0^{\tau} j(t) dt. \quad /3/$$

Интеграл в формуле /3/ представляет собой суммарный заряд Q , накопившийся за время τ на емкости C . Следовательно:

$$u = \frac{K}{C} Q. \quad /4/$$

Число частиц в импульсе

$$N = \frac{Q}{q} = \frac{Cu}{Kq}, \quad /5/$$

где q - заряд протона.

Если C взято в пф, а u - вольтах, то расчетная формула принимает вид:

$$N = 6,25 \cdot 10^6 \frac{Cu}{K}. \quad /6/$$

При $RC \ll \tau$

$$u(t) = KR j(t), \quad /7/$$

т.е. имеет место прямая пропорциональность тока и измеряемого напряжения.

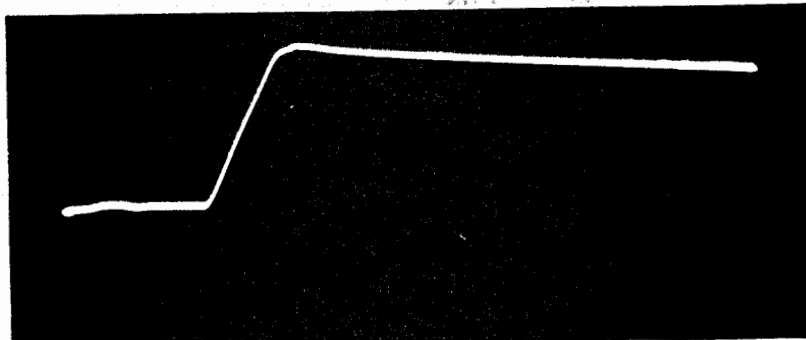
3. Техника измерения

Коллектор в виде латунной пластины размером $/220 \times 250/$ мм² и толщиной в направлении пучка 15 мм вводился в вакуумную камеру ускорителя с помощью штока, связанного с электрическим приводом. Телеметрический датчик /сельсин/ позволял судить о глубине введения коллектора. Коллектор устанавливается таким образом, чтобы измеряемый пучок частиц полностью попадал на него.

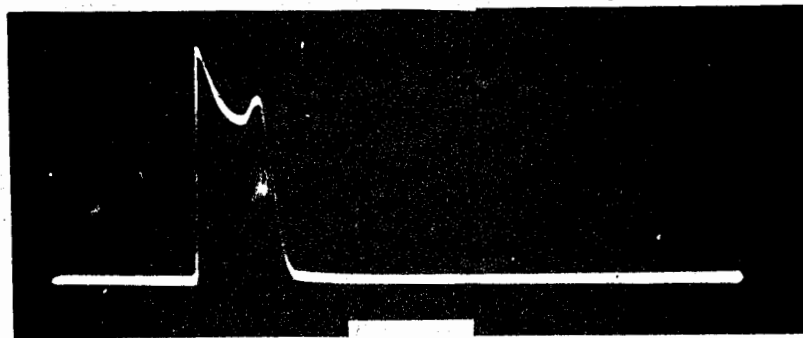
Практическая схема измерения интенсивности пучка показана на фиг. 2. Лампа и входные цепочки находятся вне вакуумной камеры. Поочередное включение реле P_1 , P_2 и P_3 дает возможность установить различные значения входного RC . Для измерения интенсивности с помощью реле P_1 или P_2 включается одна из интегрирующих цепочек с различными значениями емкости, что обеспечивает различную чувствительность устройства. Для наблюдения формы импульса тока с помощью реле P_3 может быть подключена цепочка R_3C_3 с малым значением RC . Емкость в этом случае является емкостью монтажа. Величины C_1 , C_2 и R_3 выбраны так, чтобы чувствительность схемы с учетом коэффициента передачи катодного повторителя составляла на первом диапазоне 10^9 частиц/вольт, на втором диапазоне 10^{10} частиц/вольт и на третьем диапазоне 10 мка/вольт.

Оциллограммы сигналов для случая больших и малых RC даны на

фиг. 3.



а/



б/

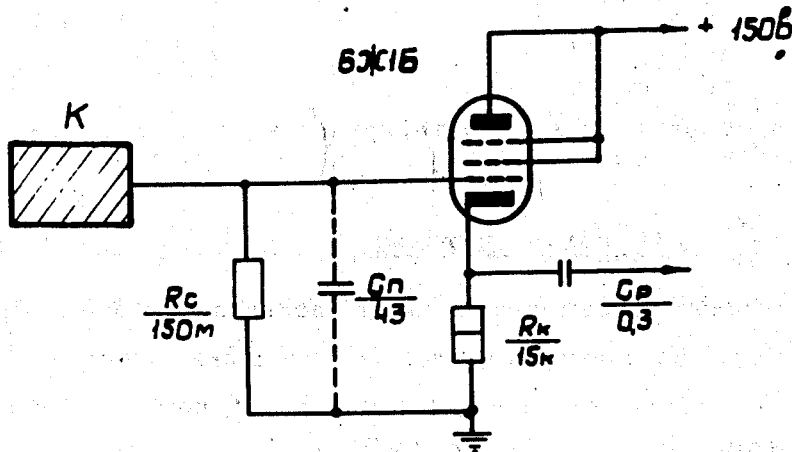
Фиг. 3. Оциллограммы выходных сигналов:

а/ форма сигнала при входном $RC \gg \tau$

б/ форма того же сигнала при входном $RC \ll \tau$

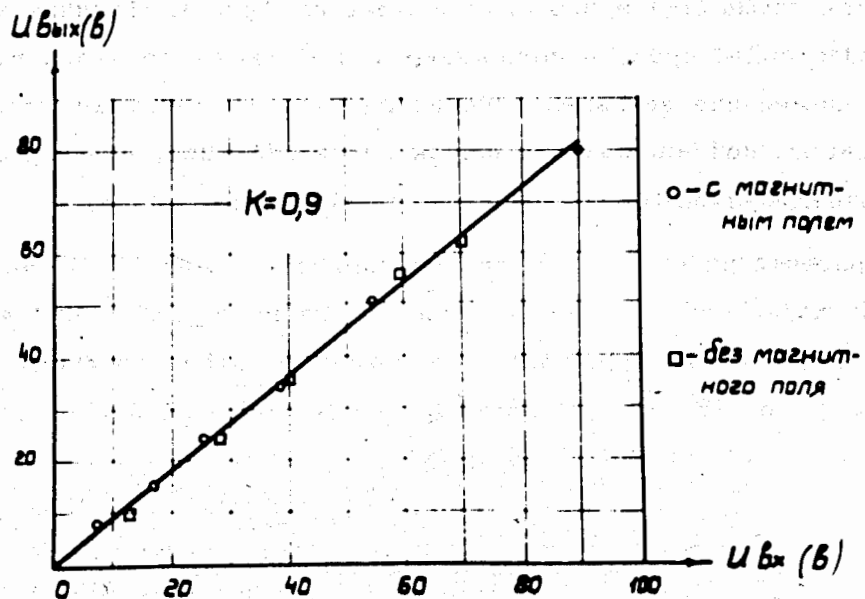
При проведении экспериментов, требующих максимальной чувствительности, паразитная емкость коллектора была уменьшена до 43 пф, что соответствует чувствительности $\sim 3 \cdot 10^8$ частиц/вольт. В этом случае миниатюрный пентод 6Ж1Б был помещен внутри штока, в непосредственной близости от коллектора. Электрическая схема для этого случая дана на фиг. 4. Наличие магнитного поля заставило ориентировать положение лампы таким образом, чтобы свести к минимуму изменение ее характеристик за счет воздействия магнитного поля. Наивыгоднейшим положением оказалось горизонтальное, с направлением оси баллона, перпендикулярным силовым линиям магнитного поля.

Для проверки работы катодного повторителя в магнитном поле снимались амплитудные характеристики при наличии магнитного поля и без него. Для этого на вход катодного повторителя в момент, соответствующий величинам магнитных полей от 150 до 500 эрстед, подавался импульс от имитатора,



Фиг. 4. Схема измерительного устройства для случая повышенной чувствительности.

длительностью ~ 100 мсек. Сопоставление амплитудных характеристик катодного повторителя, снятых при наличии магнитного поля и без него указывает на их совпадение в пределах ошибки измерения /фиг. 5/.



Фиг. 5. Амплитудная характеристика катодного повторителя.

4. Ошибки измерений

Оценим ошибку в измерении числа частиц по формуле /6/. Если σ_c , σ_u и σ_K — среднеквадратичные относительные ошибки в измерении c , u и K соответственно, то среднеквадратичная относительная ошибка в измерении числа частиц σ_N /для случая $RC \gg \tau$ / составит:

$$\sigma_N = \pm \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_u^2 + \sigma_K^2}. \quad /8/$$

Оценим величины σ_c , σ_u и σ_K .

1. Емкость C складывается из номинальной емкости, емкости коллектора, монтажа и входа катодного повторителя. Номинальная емкость представляет собой конденсатор, подключенный на вход катодного повторителя для

получения нужной чувствительности устройства. Эта емкость может быть измерена очень точно. При перемещении коллектора внутри вакуумной камеры паразитная емкость может изменяться, что вносит дополнительную ошибку при измерениях. Эта ошибка существенна при большой чувствительности схемы, когда интегрирующая емкость мала. В нашем случае при максимальной чувствительности схемы среднеквадратичная ошибка в определении емкости не превышала $\pm 4\%$.

2. Среднеквадратичная ошибка в измерении коэффициента передачи катодного повторителя составляла $\pm 0,5\%$.

3. Ошибка в измерении U складывается:

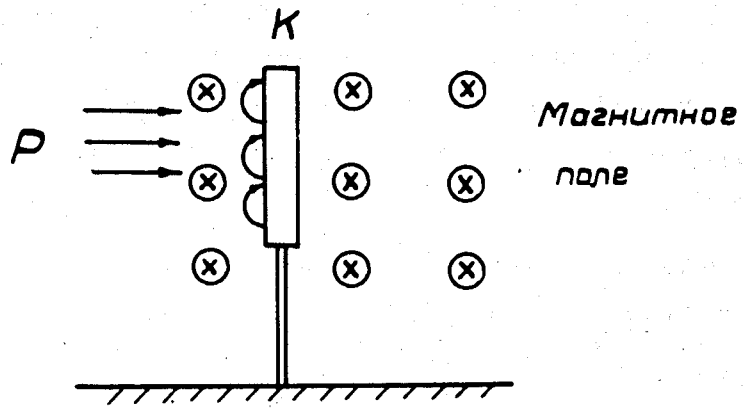
а/ из ошибки, с которой амплитуда импульса измеряется осциллографом;

б/ из ошибки, обусловленной влиянием вторичной электронной эмиссии с коллектора под действием пучка протонов.

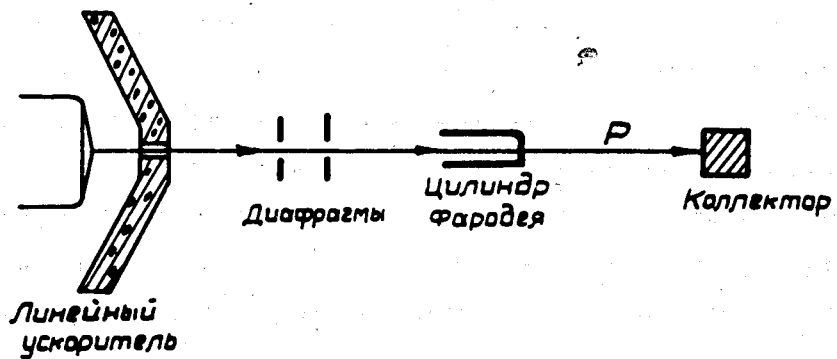
Измерения импульса, поступающего от катодного повторителя, производились на специальном осциллографе. Осциллограф был предварительно прокалиброван, что позволило оценить среднеквадратичную ошибку измерений амплитуды $\pm 6\%$.

Ошибка, вносимая вторичной эмиссией, практически полностью исключалась, так как в момент попадания пучка на коллектор последний находился в рабочей области ускорителя, где магнитное поле составляет величину от 150 до 500 эрстед. Ориентировка коллектора относительно направления магнитных силовых линий показана на фиг. 6. Вторичные электроны под действием магнитного поля возвращаются на коллектор по круговым траекториям. Оценка радиуса кривизны траектории электронов при указанных величинах напряженности магнитного поля дает значение, не превышающее нескольких сантиметров.

Надежность такого метода устранения ошибки за счет вторичной эмиссии исследовалась специально. Схема этого эксперимента показана на фиг. 7. Пучок протонов, ускоренный в линейном ускорителе, диафрагмировался с помощью системы щелей и попадал в цилиндр Фарадея. Этот цилиндр был большой глубины, по его оси было приложено магнитное поле. Путем подачи задерживающих потенциалов на охранные кольца этого цилиндра было установлено, что



Фиг. 6. Положение коллектора внутри камеры ускорителя. Показано направление магнитных силовых линий. Горизонтальными стрелками указано направление пучка протонов



Фиг. 7. Схема опыта по проверке влияния вторичной эмиссии на измерения тока пучка.

продольное магнитное поле полностью исключает ошибку за счет вторичной электронной эмиссии. Дно цилиндра Фарадея открывалось, и пучок попадал на коллектор, который был помещен в магнитное поле, направленное перпендикулярно направлению движения пучка. Величина тока, протекающего через коллектор, измерялась. На основании этого эксперимента было установлено, что ошибка в измерении \mathcal{U} , обусловленная вторичной электронной эмиссией, была много меньше ошибки, вносимой осциллографом.

Таким образом, общая среднеквадратичная относительная ошибка в измерении числа частиц согласно /8/, составляет:

$$\sigma_N = \pm \sqrt{4^2 + 6^2 + 0,5^2} = \pm 7,2 \%$$

Для наших целей такая точность являлась удовлетворительной. При более точных измерениях она может быть улучшена за счет тщательной калибровки осциллографа и более точного измерения входной емкости.

Калибровка сигнальных электродов методом интегрирования заряда

С помощью описанного измерительного устройства была произведена калибровка сигнальных электродов при энергии ускоренного пучка до 100 Мэв. Ниже приводится таблица калибровки

Время ускорения мсек	Число частиц по методу интегрирования заряда	Число частиц по сигнальным электродам
5	$2,8 \pm 0,20 / \cdot 10^9$	$3,3 \cdot 10^9$
20	$1,1 \pm 0,08 / \cdot 10^9$	$1,3 \cdot 10^9$
40	$6,0 \pm 0,43 / \cdot 10^8$	$6,5 \cdot 10^8$
60	$5,0 \pm 0,36 / \cdot 10^8$	$5,4 \cdot 10^8$
80	$3,8 \pm 0,27 / \cdot 10^8$	$4,4 \cdot 10^8$

Авторы пользуются случаем выразить свою благодарность В.Н.Булдаковскому и А.И.Крюкову, принимавшим участие в наладке аппаратуры и проведении измерений.

Рукопись поступила в издательский отдел

23 июня 1960 года.