

МАГНИТНЫЙ ПОЯС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА ИОНОВ В ПУЧКЕ, ВЫПУЩЕННОМ ИЗ ЦИКЛОТРОНА

Ю. В. КОРШУНОВ, Е. А. МЕЛЕШКО

Институт атомной энергии АН СССР

(Получено 21 марта 1961 г.)

Описан магнитный пояс с ферритовым сердечником, предназначенный для измерения тока ионов в выведенном из циклотрона пучке. Измерения производятся без перекрытия пучка, что позволяет применить этот метод в тех случаях, когда нельзя использовать мишень как приемник тока.

Величина тока пучка на удаленную от циклотрона мишень обычно определяется по падению напряжения на калиброванном сопротивлении, соединяющем мишень с «землей». Недостатками этого метода являются: необходимость подавлять вторичную электронную эмиссию с поверхности мишени и обеспечивать тщательную изоляцию последней, что в целом ряде случаев сильно усложняет ее конструкцию. Создание необходимого в этом случае чувствительного и стабильно работающего усилителя постоянного тока также встречает известные технические трудности.

Способ измерения тока, использующий магнитное поле пучка, не имеет указанных недостатков. Естественная модуляция тока позволяет использовать этот метод для измерения интенсивности пучка в циклотроне. Измерители тока пучка подобного типа для бетатрона и линейного ускорителя описаны в [1, 2].

Отличительной чертой предлагаемого метода является использование одной из гармонических составляющих тока пучка [3]. Радиотехническая схема измерителя оказывается в этом случае сравнительно простой. Особое преимущество этот метод имеет при работе с тонкими («прострельными») и газовыми мишенями, когда не представляется возможным использовать мишень как приемник тока.

Сигнал от магнитного пояса может быть использован также для запуска физической аппаратуры, например, в случае исследования спектра быстрых нейтронов по времени пролета [4]. При этом устраняется влияние нестабильности фазы сгустков ионов, проходящих на мишень, относительно фазы ускоряющего напряжения.

ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Схема измерения ионного тока с помощью магнитного пояса приведена на рис. 1. Благодаря прерывистой структуре пучка в обмотке магнитного пояса возникает электродвижущая сила E , частота первой гармоники которой равняется частоте следова-

ния сгустков ионов, проходящих через пояс. Зависимость между э. д. с. E и измеряемым током I определяется выражениями¹:

$$E = 0,4 \pi I_n r^{-1} \mu f S W \cdot 10^{-8};$$

$$I_n = 2I\tau/T \quad (n \leq 2),$$

где μ — относительная магнитная проницаемость сердечника; f — частота следования импульсов тока, $\mu\text{г}$; W — число витков пояса; r — средний радиус сердечника, см ; S — площадь сечения сердечника, см^2 ; I_n — амплитуда n -й гармоники тока ускоренных ионов; I — импульсное значение тока в сгустке; τ/T — отношение длительности импульса измеряемого тока к периоду ускоряющего напряжения. Для выпущенного пучка циклотрона величина τ/T лежит в пределах от 0,05 до 0,03.

Рассмотрим далее вопрос о влиянии магнитной проницаемости сердечника на чувствительность пояса. Поскольку э. д. с. в обмотке пояса $E = k\mu W$, а индуктивность пояса $L = k_1\mu W^2$, то

$$E = K \sqrt{L\mu/K_1} = K_2 \sqrt{L\mu},$$

где K , K_1 , K_2 — постоянные коэффициенты. Таким образом, при заданной индуктивности

¹ Для импульсов прямоугольной и треугольной формы при $\tau/T \ll 1$ амплитуды 1 и 2 гармоник примерно одинаковы.

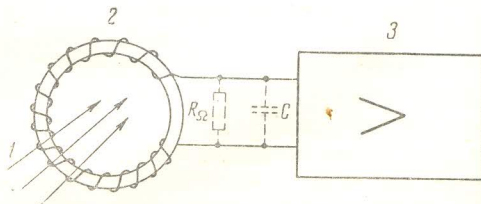


Рис. 1. Принципиальная схема магнитного пояса: 1 — измеряемый ток; 2 — магнитный пояс; 3 — усилитель; 4 — измерительный прибор

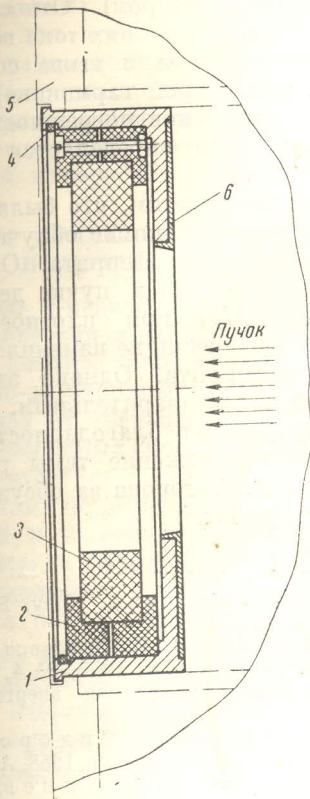


Рис. 2. Установка пояса в ионопроводе циклотрона: 1 — корпус; 2 — изолятор (тефлон); 3 — магнитный пояс; 4 — пружинящее кольцо; 5 — фланец ионопровода; 6 — свинцовая диафрагма

сти чувствительность пояса пропорциональна величине $\sqrt{\mu}$, поэтому естественно в качестве сердечника применять материал с высокой проницаемостью.

КОНСТРУКЦИЯ

Пояс представляет собой кольцо из феррита НЦ-800 ($\mu = 800$), на которое гальваническим путем нанесено 5 вит из меди. Такой способ выполнения витков значительно уменьшает поток рассеяния пояса. Внешний диаметр кольца — 120 мм, внутренний — 85 мм. Так как чувствительность метода при прочих равных условиях определяется взаимодействием пояса с магнитным полем измеряемого тока, следует стремиться к минимально допустимому диаметру сердечника. Ввиду того что в поясе использован ферри-

товый сердечник, устанавливать его нужно вне области сильных магнитных полей.

На частотах порядка десятков мегагерц ферриты с высокой проницаемостью вносят значительное затухание в контур, образованный емкостью пояса C на «землю» (рис. 1) и его индуктивностью, вследствие чего добротность такого контура мала ($Q \approx 1,5 \div 2$). Это обстоятельство позволяет работать в довольно широком диапазоне частот без перестройки контура пояса.

На рис. 2 показана конструкция приспособления для установки пояса в ионопроводе циклотрона.

ИСПЫТАНИЯ НА ЦИКЛОТРОНЕ

Испытания магнитного пояса проводились следующим образом. Пучок ионов, пройдя через пояс, попадал на изолированную мишень, где полностью поглощался. Ток ионов, падающий на мишень, измерялся интегратором [5]. Напряжение с пояса подавалось на усилитель, который находился в непосредственной близости от пояса, а с выхода усилителя — по кабелю на измерительный прибор.

Для работы с магнитным поясом были использованы две усилительные схемы. Первая схема представляет собой резонансный усилитель с полосой пропускания 4 Мгц. Такая схема позволяет работать без перестройки во всем диапазоне частот генератора циклотрона и дает малые сдвиги фазы сигнала при произвольном изменении частоты; последнее особенно важно при использовании магнитного пояса для запуска физической аппаратуры от «сигнала пучка». Недостатком такого усилителя является сравнительно высокий уровень собственных шумов, что ограничивает его применение в случае измерения малых токов ускоренных ионов.

Вторая схема использовалась при измерении малых токов и представляла собой узкополосный усилитель², собранный по супергетеродинной схеме. Усилитель состоит из у. в. ч., смесителя и трех каскадов у. п. ч. (промежуточная частота 465 кгц). Общий коэффициент усиления по напряжению — 140 дб. Усилитель настраивался на рабочую частоту циклотрона и имел чувствительность ~ 3 мкв при соотношении сигнал/шум = 10. Симметричная схема входного устройства позволила значительно ослабить однокан-

² Усилитель сконструирован К. Н. Нагорным.

ную наводку. Измерения показали, что при настройке усилителя на первую гармонику измеряемого тока (7,66 МГц) среднему току 1 мкА на мишень соответствовал сигнал ~85 мкВ. Уровень наводки, приведенной к входу, составлял в этом случае 10 ÷ 20 мкВ.

Следует заметить, что при значении параметра $\tau/T = 0,05 \div 0,03$ вторая гармоника сигнала имеет амплитуду практически такую же, как и первая. Это обстоятельство было использовано в дальнейшем для настройки усилителя на частоту второй гармоники, что позволило снизить уровень наводки в ~10 раз. Таким образом, при измерении на второй гармонике тока в 1 мкА отношение сигнал/помеха составляло ~50.

На точность измерений тока методом магнитного пояса влияют: а) стабильность параметров магнитного пояса; б) погрешность выходного прибора; в) погрешность первичной градуировки; г) стабильность коэффициента усиления усилителя; д) стабильность частоты следования сгустков на мишень; е) стабильность коэффициента заполнения и формы импульсов тока на мишень; ж) соотношение сигнал/помеха. Стабильность первичной градуировки усилителя сохраняется с точностью 1÷2% (при условии периодической калибровки усиления

внутренним калибратором). Относительная погрешность при измерениях тока величиной от одного микроампера и выше составляет ~5% (работа на второй гармонике). При измерении меньших токов погрешность возрастает и в основном определяется уровнем помех.

В заключение заметим, что была сделана попытка определить влияние облучения дейтронами на параметры феррита. Облучение образца в течение 12 ч в пучке дейтронов с энергией 19,6 МэВ при плотности тока ~1 мкА/см² практически не изменило магнитные свойства феррита. Однако этот опыт следует считать предварительным.

Авторы выражают благодарность В. С. Панасюку за предложение темы работы и благодарят А. В. Антонова за обсуждения и советы в ходе работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Bess, A. O. Hanson, Rev. Scient. Instrum., 1948, 19, 108.
2. И. А. Гришаев, Н. И. Мочешников, В. Ф. Иванов, ПТЭ, 1960, № 4, 17.
3. В. С. Панасюк, Атомная энергия, 1957, 3, 6, 47.
4. Б. В. Рыбаков, В. А. Сидоров, Спектрометрия быстрых нейтронов, 1958, Атомиздат.
5. А. А. Курашов, А. Ф. Линева, ПТЭ, 1957, № 2, 70.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ГАММА-КВАНТОВ В КСЕНОНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ

Л. П. КОНОВАЛОВА, Л. С. ОХРИМЕНКО, З. С. СТРУГАЛЬСКИЙ¹

Объединенный институт ядерных исследований

(Получено 12 марта 1961 г.)

Описан метод определения энергии γ -квантов в ксеноновой пузырьковой камере. В диапазоне энергий от 10 до ~1000 МэВ применяется калориметрический способ. Точность определения энергии в этих пределах ~20%. Для определения энергии свыше 1000 МэВ используются теоретические сведения о развитии электронно-фотонного ливня.

Определение энергии γ -квантов в ксеноновой пузырьковой камере представляет большой интерес. Такая камера является хорошим детектором γ -квантов, обладающим большой эффективностью регистрации. Возможность измерять энергию γ -квантов с известной точностью позволит расширить круг физических задач, изучаемых с помощью ксеноновой камеры.

Хотя ксеноновая камера по своим свойствам (особенно в отношении эффективности регистрации γ -квантов) близка к фотоэмульсиям, но методы изме-

рения энергии γ -квантов, применяемые в работах с ядерными фотоэмульсиями, не применимы в работе с пузырьковой камерой. Поэтому была поставлена задача разработать новые способы измерения или соответственным образом изменить методы, применяемые в работах с фотоэмульсиями.

В данной статье описан метод измерения энергии γ -квантов в ксеноновой пузырьковой камере для широкого диапазона измеряемых энергий. В расчетах и анализе эксперимен-

¹ Институт ядерных исследований, Варшава.