

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С34505
А-471

2880/2-78

9 - 11389

В.Ф.Алексеев, В.Л.Громов, И.Ф.Колпаков,
М.Н.Омельяненко, Е.А.Силаев, В.М.Слепнев,
А.И.Соломатова, М.М.Фаерман,
Т.Д.Чельцова, В.М.Шешунов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ

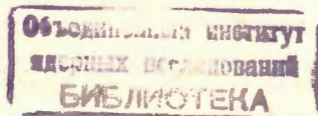
ДЛЯ МОНИТОРИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕГО ПУЧКА

СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

1978

В.Ф.Алексеев,* В.Л.Громок,* И.Ф.Колпаков,
М.Н.Омельяненко,* Е.А.Силаев, В.М.Слепнев,
А.И.Соломатова,* М.М.Фаерман,*
Т.Д.Чельцова,* В.М.Шешунов*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ВТОРИЧНО-ЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ
ДЛЯ МОНИТОРИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕГО ПУЧКА
СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ



* Дубненский филиал МИРЭА.

Алексеев В.Ф. и др.

9 - 11389

Использование вторично-электронного умножителя для мониторинга внутреннего пучка синхрофазотрона ОИЯИ

Экспериментально показана возможность мониторинга протонного пучка синхрофазотрона интенсивностью 10^{11} част./цикл методом регистрации продуктов ионизации с помощью ВЭУ. С этой целью в некоторый момент цикла ускорения производилось измерение частоты импульсов, поступающих с ВЭУ, помещенного в камеру синхрофазотрона. Показана необходимость создания электронной аппаратуры, позволяющей производить мониторинг непрерывно, на протяжении всего цикла ускорения.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Alexeev V.F. et al.

9 - 11389

Application of Secondary Electron Multiplier to Monitoring of Internal Beam of JINR Synchrophasotron

A possibility of monitoring the proton beam of the synchrophasotron with the intensity 10^{11} particles per cycle was proved experimentally by detecting ionization products by means of the secondary electron multiplier (SEM). To this end in a certain moment of acceleration cycle the frequency of pulses was measured which enter from SEM located in the synchrophasotron chamber. The necessity of creating an electronic device permitting to perform monitoring continuously during the acceleration cycle is shown.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Перевод ускорителя в режим ускорения ядер с массовым числом больше двух приводит к необходимости диагностики процесса ускорения пучков малой интенсивности. Поскольку чувствительность датчиков, которые установлены на ускорителе, не позволяет регистрировать интенсивность пучка при ускорении ядер углерода, необходимо было сделать выбор нового датчика. Для этого была произведена оценка существующих типов датчиков¹⁻³. Рассматривались только те датчики, которые являются прозрачными для ускоряемого пучка, т.к. процесс ускорения не допускает нарушения структуры пучка. Был выбран датчик ионизационного типа с ВЭУ в качестве детектора ионов^{4,5}.

Расчет ионизационных эффектов в камере синхрофазотрона показывает возможность создания высокочувствительного детектора пучков.

Табличные значения массовых тормозных способностей A для протонов⁶ в зависимости от энергии позволяют определить скорость n' образования пар ионов на единице пути для различных частиц с зарядовым числом Z_i ⁷:

$$n' = \frac{1}{\omega} A \rho Z_i^2 \frac{V}{L}, \quad /1/$$

где ω - средняя энергия, необходимая для образования пары ионов; ρ - плотность воздуха в камере ускорителя; V - скорость частицы; L - длина орбиты частицы.

Энергия частицы в ускорителе изменяется по следующему закону⁸:

$$T_i = \sqrt{(BrCZ_i)^2 + E_0^2} - E_0, \quad /2/$$

где r - радиус орбиты; C - скорость света; E_0 - энергия покоя частицы; B - индукция, линейно нарастающая в процессе ускорения.

Из выражений /1/ и /2/ с учетом массы ускоряемой частицы получена зависимость скорости образования пар ионов от времени в процессе ускорения протонов /p/, дейтронов /d/ и α -частиц, которая показана на рис. 1.

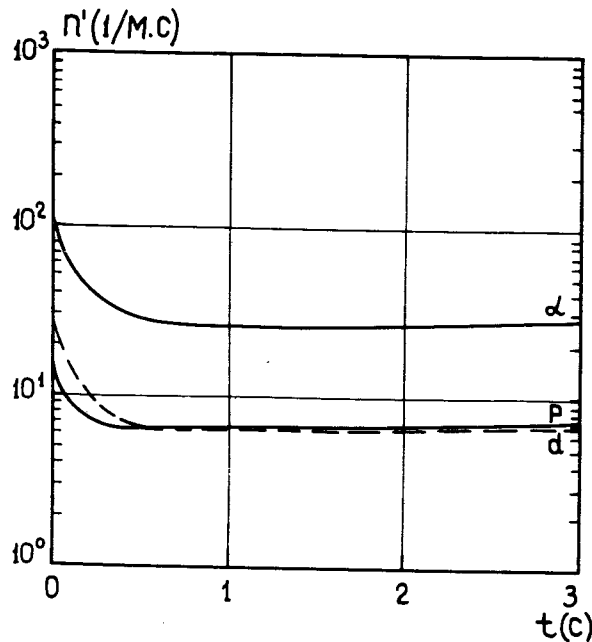


Рис. 1. Скорость образования пар ионов.

На скорость регистрации продуктов ионизации в детекторе могут влиять их энергетические спектры, а также рекомбинационные эффекты. Исходя из формулы для сечения столкновений $d\sigma$, сопровождающихся передачей энергии электрону в интервале dQ , распреде-

ление электронов $\frac{dn_e}{dQ}$ по энергиям определяем с помощью выражения

$$\frac{dn_e}{dQ} = n_0 \frac{2\pi Z^2 e^4}{m_e V^2} \cdot \frac{1}{Q^2}, \quad /3/$$

где n_0 - концентрация остаточного газа; Q - энергия, которую получает электрон в процессе ионизации; Z - заряд и скорость падающей частицы; m_e - масса электрона.

Распределение ионов по скоростям $\frac{dn_i}{dV_i}$ может

быть найдено на основании законов сохранения импульса и энергии:

$$\frac{dn_i}{dV_i} = n_0 \frac{8\pi Z^2 e^4}{V^2} \cdot \frac{1}{m_i^2 V_i^3}, \quad /4/$$

где m_i, V_i - масса и скорость иона.

На рис. 2 представлены энергетический спектр $\frac{dn_e}{dQ}$ электронов и распределение ионов по скоростям $\frac{dn_i}{dV_i}$

для значений энергии первичной частицы 10 и 500 МэВ. Оценка влияния рекомбинации, проведенная при значении коэффициента рекомбинации $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ л/м}^3 \cdot \text{с}^{0.9,10}$, показывает, что даже для случая максимальной концентрации ионов /ускорение α -частиц/ рекомбинация пренебрежимо мала.

Данные о скорости образования ионов позволяют найти скорость их регистрации детектором, если учесть при этом интенсивность ускоряемых частиц и длину участков ионизации, с которых происходит сбор частиц на детектор. Длина участков ионизации определяется тем, какая часть пучка попадает в поле детектора.

Быстродействие детектора зависит от времени движения частиц к ВЭУ, являющегося функцией электрического поля детектора. Расчеты показывают, что время дрейфа ионов для наиболее удаленных частиц составляет

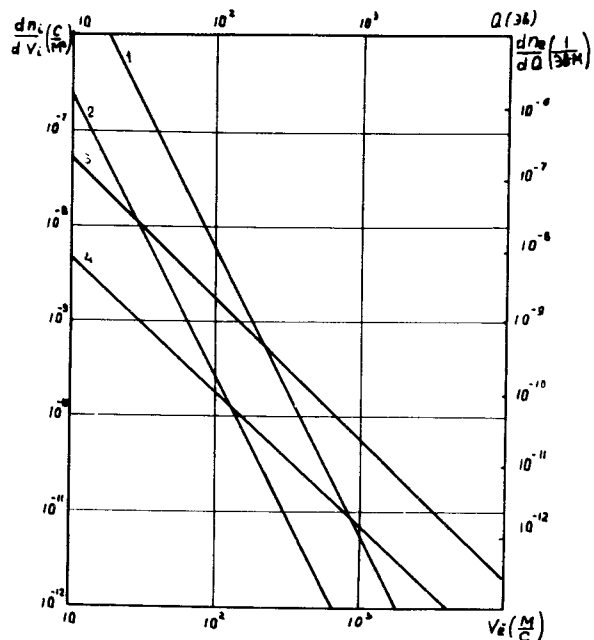


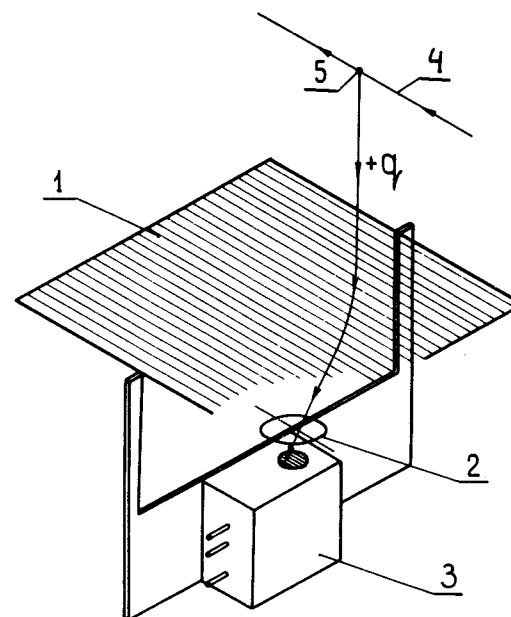
Рис. 2. Спектры скоростей ионов ионизации при энергии протона 10 МэВ (1) и 500 МэВ (2). Энергетические спектры электронов ионизации при энергии протона 10 МэВ (3) и 500 МэВ (4).

$3,5 \cdot 10^{-3}$ с при расположении ВЭУ на боковой и $0,7 \cdot 10^{-3}$ с при расположении ВЭУ на нижней стенках камеры.

В качестве детектора, регистрирующего продукты ионизации, были испытаны два типа вторично-электронных умножителей: ВЭУ-4 и ВЭУ-6. В окончательном варианте был выбран ВЭУ-6. Этот умножитель имеет воронкообразное устье, переходящее в канал умножения, изогнутый в виде спирали. Такая конструкция улучшает условия работы ВЭУ-6 в магнитных полях и уменьшает обратную ионную связь^{/11/}.

Выходной импульс тока ВЭУ-6 имеет фронт $t_H = /10 \div 20/$ нс и экспоненциальный спад длительностью $t_{\text{н}} = /80 \div 120/$ нс.

Продукты ионизации, образующиеся в камере, с помощью фокусирующей системы, изображенной на рис. 3, направляются в устье ВЭУ. Электростатическая линза образована латунной сеткой с шагом 5 мм из проволоки диаметром 0,1 мм, расположенной на расстоянии 50 мм от устья ВЭУ, и диафрагмой из меди в виде проволочного кольца с диаметром 15 мм, расположенной на расстоянии 8 мм от устья ВЭУ.



1. Сетка
2. Диафрагма
3. ВЭУ
4. Ускоряемая частица
5. Место рождения иона +q

Рис. 3. Схематическое изображение фокусирующей системы.

Для испытаний ионизационный датчик был установлен в одном из прямолинейных промежутков синхрофазотрона. На *рис. 4* представлена блок-схема измерения. Питание ВЭУ осуществляется от высоковольтного источника. Импульсы с ВЭУ усиливаются по амплитуде усилителем, специально разработанным для этой цели, затем формируются по длительности с помощью формирователя и регистрируются счетчиком, который включается на время Δt через интервал времени t_3 от начала цикла ускорения. Для формирования интервалов Δt и t_3 используется таймер.

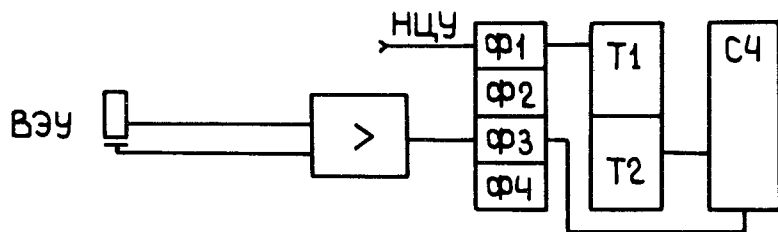


Рис. 4. Блок-схема регистрирующей аппаратуры.

В результате измерений получена экспериментальная зависимость скорости счета ВЭУ от времени ускорения при ускорении протонов со средней интенсивностью 10^{11} частиц за цикл /*рис. 5*/. Кривая усреднена по пяти циклам ускорения. Точки, соответствующие началу цикла ускорения, не были сняты из-за перегрузок ВЭУ в связи с высокой интенсивностью пучка. Экспериментальная кривая в пределах ошибок согласуется с теоретической, показанной на *рис. 1*.

Большие абсолютные ошибки объясняются тем, что регистрирующая аппаратура не позволяла наблюдать интенсивность в одном цикле. А так как имеется разброс интенсивности от цикла к циклу, то это увеличивает ошибку измерений. Некоторые отличия могут быть также

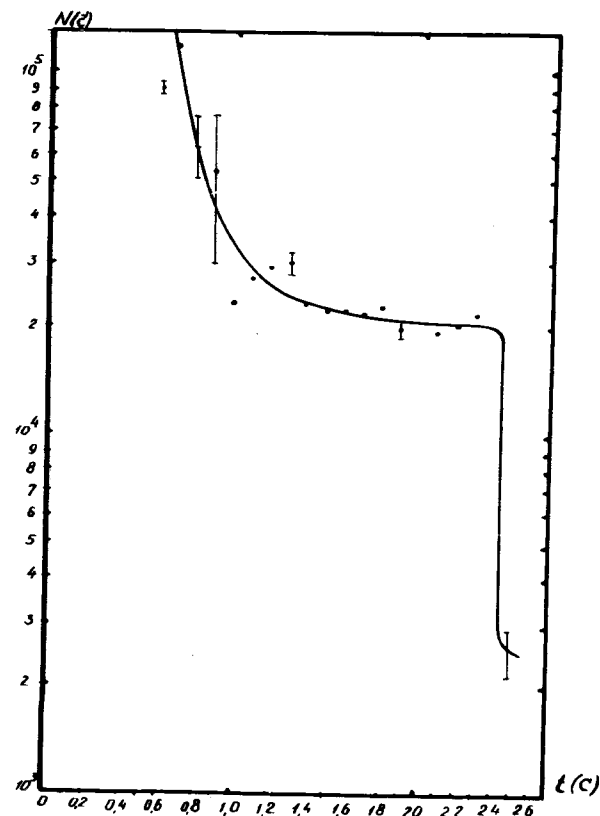


Рис. 5. Скорость счета ВЭУ в зависимости от времени ускорения.

объяснены сужением пучка в процессе ускорения, перемещением пучка по радиусу и падением интенсивности за счет потерь. Таким образом, в результате проделанной работы показана принципиальная возможность мониторинга протонного пучка синхрофазотрона ЛВЭ методом регистрации продуктов ионизации остаточного газа с использованием вторично-электронного умножителя.

В заключение авторы выражают свою искреннюю признательность Л.Г.Макарову за постановку задачи, И.Н.Семенюшкину за поддержку работы, К.В.Чехлову и Л.Г.Зиновьеву за помощь в работе и обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Johnson C.D., Thorndahl L. *Symposium on Beam Intensity Measurement. Daresbury, DNPL, 1968, p.227.*
2. Сиколенко В.Ф. ОИЯИ, 9-5817, Дубна, 1971.
3. Агорицас В. и др. Методы измерения параметров пучка. В кн.: Труды 2-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т.2. "Наука", М., 1970, с.82.
4. Липатов Г.Ф. и др. Ионизационный датчик параметров пучков протонов ИТЭФ. В кн.: Труды 3-го Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, т.2. "Наука", М., 1972, с.2.
5. De Luca H. *Beam Detection Using Residual Gas Ionization. IEEE Trans.Nucl.Sci., VNS 16, no. 3, p.813.*
6. *High Energy and Nuclear Physics Data Handbook, Rutherford High Energy Lab., Chilton, 1963, p.VII-5.*
7. Стародубцев С.В., Романов А.М. Прохождение заряженных частиц через вещество. Изд. АН УзССР, Ташкент, 1962, с.29,71.
8. Комар Е.Г. В кн.: Ускорители заряженных частиц. Атомиздат, М., 1964, с.195.
9. Росси Б. Частицы больших энергий. Гостехиздат, М., 1955, с.70.
10. Мессис Г., Бархон Е. Электронные и ионные столкновения. ИЛ, М., 1958, с.553.
11. Айнбуд М.Р. и др. ПТЭ, 1974, №4, с.154.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 марта 1978 года.