

М. 80
1996

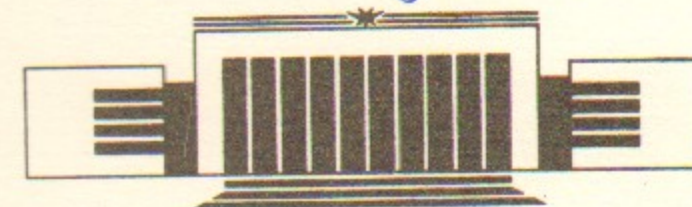
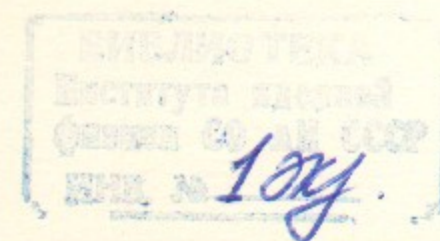


Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт ядерной физики
им. Г.И. Будкера

И.И. Морозов, В.Г. Соколов, М.Ю. Степанов

РЕГИСТРАЦИЯ НЕЙТРОНОВ,
ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ИНЖЕКТОРНОМ ТРАКТЕ
МОЩНОГО КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО
ДЕЙТЕРИЕВОГО ПУЧКА

ИЯФ 96-55



НОВОСИБИРСК

Регистрация нейтронов, образующихся в инжекторном тракте мощного квазистационарного дейтериевого пучка.

Морозов И.И., Соколов В.Г., Степанов М.Ю.

Аннотация.

В данной работе предлагается бесконтактный метод оперативного контроля мощного ионного дейтериевого пучка с полным током 50 А, энергией 30 кэВ и длительностью импульса 100 мс.

В основе метода лежит регистрация нейтронов, образующихся в результате реакции $D^+ + D \rightarrow n + {}^3\text{He}$ при прохождении исследуемого ионного пучка через остаточный газ в инжекторном тракте.

Представленная диагностическая система позволяет измерять поток нейтронов в диапазоне от $6 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^5$ нейтр./с с временным разрешением 4 мс, что соответствует току пучка от 5 до 150 А.

Registration of neutrons, being formed in the injector tract of powerful quasistationary deuterium beam

Morozov I.I., Sokolov V.G., Stepanov M.Yu.

Abstract

This work offers a contactless method of operational monitoring of powerful ionic deuterium beam with full current of 50 A, energy of 30 keV and pulse duration of 100 ms.

The basis of given method is the registration of neutrons, being formed as the result of $D^+ + D \rightarrow n + {}^3\text{He}$ reaction when the investigated ionic beam passes through the residual gas in the injector tract.

The represented diagnostic system allows to measure neutron stream in the range of $6 \cdot 10^3$ to $2 \cdot 10^5$ neutron per second with time resolution of 4 ms, corresponding to the beam current of 5 to 150 A.

morozov@inp.nsk.su
sokolov@inp.nsk.su

©Государственный научный центр
Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН

1. Введение

Для нагрева и поддержания плазмы в концевых пробкотронах открытой амбиполярной ловушки АМБАЛ-М [1] предполагается использовать интенсивные пучки быстрых атомов дейтерия. В каждый пробкотрон будут инжектироваться по четыре пучка атомов дейтерия с полным эквивалентным током до 160 А, энергией до 30 кэВ, длительностью импульса до 0,1 с. Атомарные пучки формируются перезарядкой ионных пучков на газовой или парометаллической мишени.

На рисунке 1 показана схема установки, на которой проводятся испытания ионных источников ИК-50 [2] и моделирование условий транспортировки пучков в инжекторных трактах АМБАЛ-М. Ток ионного пучка, выходящего из источника, до $J^+ = 50$ А. Эффективный угол расходимости пучка от $1,5 \cdot 10^{-2}$ до $3,5 \cdot 10^{-2}$ рад.

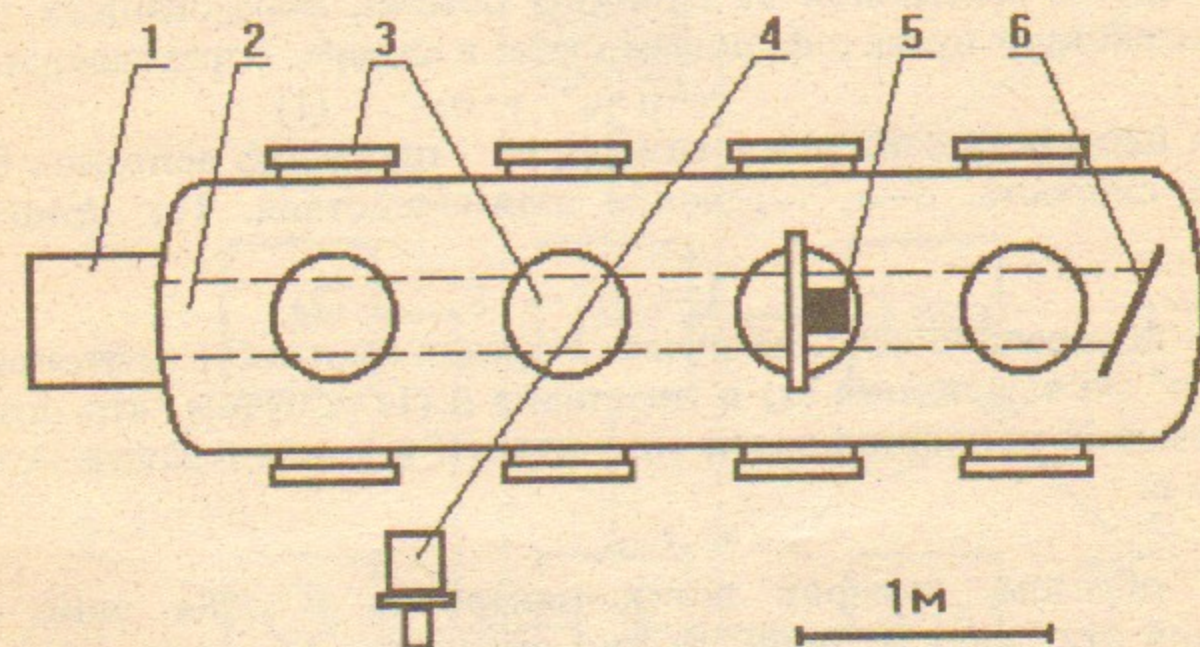


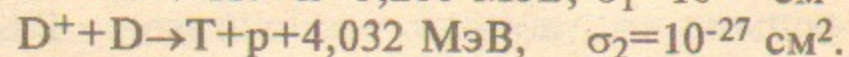
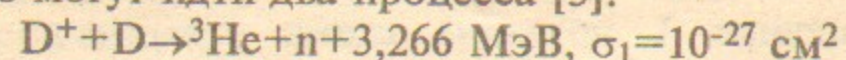
Рис.1. Схема установки ИК-50.

1 - ионный источник ИК-50; 2 - ионный пучок;
3 - фланцы вакуумной камеры;
4 - детектор нейтронов; 5 - оптическая диагностика;
6 - приемник пучка (титановый лист).

Диагностика квазистационарного пучка мегаватной мощности контактными методами затруднительна из-за больших тепловых нагрузок. Данная работа посвящена изучению бесконтактного метода диагностики мощного дейтериевого пучка, основанного на регистрации нейтронов, образующихся в ядерных реакциях синтеза при взаимодействии дейтронов пучка D^+ с атомами D остаточного газа в камере.

2. Регистрация нейтронов

При энергии дейтронов пучка $E=30$ кэВ с равной вероятностью могут идти два процесса [3]:



Обе реакции экзоэнергетичны, то есть идут с выделением энергии. Первая ветвь реакции идет с испусканием нейтронов. При этом энергия, уносимая каждым нейтроном, $E_n=2,45$ МэВ. Такие нейтроны относятся к классу быстрых.

Поток нейтронов из единицы объема, образованных при взаимодействии пучка с фоновым газом в камере, определяется:

$$N = n \cdot n^+ \cdot v \cdot \sigma, \quad (1)$$

где n - плотность дейтерия в камере, n^+ - плотность дейтронов D^+ , v - их скорость, $\sigma = \sigma_1$ - сечение взаимодействия. Ток ионного пучка:

$$I = e \cdot n^+ \cdot v \cdot S, \quad (2)$$

где S - поперечное сечение пучка. Выразив плотность дейтронов в пучке n^+ из выражения (2) и подставив в (1) получим, что поток нейтронов N пропорционален току пучка I и концентрации газа в камере n :

$$N \sim I \cdot n.$$

Таким образом, измерив поток нейтронов и зная одно из значений этих двух величин, можно определить значение другой, то есть либо ток пучка, либо давление в камере.

Отсутствие у нейтрона электрического заряда исключает способы непосредственной регистрации его с помощью электрических и магнитных полей. В данной работе для регистрации быстрых нейтронов использован водородосодержащий сцинтиллятор из полистирола. Регистрация нейтронов происходит по вторичным заряженным частицам - протонам отдачи, образующимся при взаимодействии нейтронов с

ядрами водорода [4]. Время "высвечивания" энергичных протонов в полистироле - $2,2 \cdot 10^{-9}$ с, длина волны в максимуме спектра - 400 нм [5]. Детектор представляет собой параллелепипед из полистирола (длина пробега нейтронов ~ 5 см) с размерами 3 см \times 20 см \times 22 см со световодом для ФЭУ. Сцинтиллятор обернут алюминиевой фольгой, что способствует регистрации большинства образованных в полистироле фотонов, а также позволяет исключить паразитную засветку, связанную с видимым светом. В данной работе использовался ФЭУ-84 с усилителем и интегрирующей цепочкой с $\tau=100$ нс.

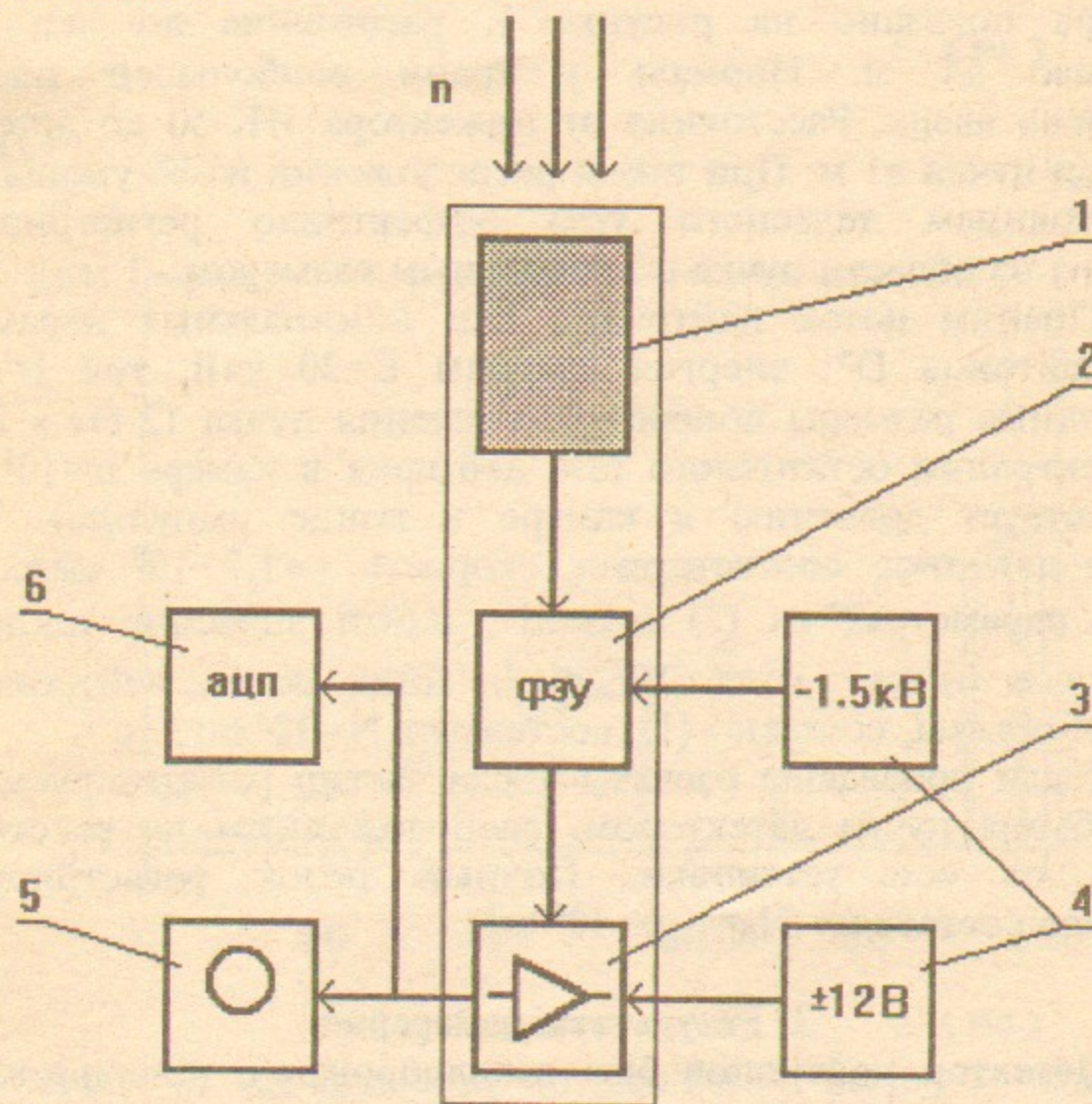


Рис.2. Схема сцинтилляционного счетчика нейтронов.

- 1 - сцинтиллятор из полистирола;
- 2 - фотоэлектронный умножитель ФЭУ-84;
- 3 - усилитель; 4 - источники питания;
- 5 - осциллограф С8-17; 6 - АЦП-101СК [6].

Схема диагностической системы показана на рисунке 2. Запоминающий осциллограф использовался для контроля формы сигнала на выходе сцинтилляционного счетчика нейтронов. Для обработки сигнал с ФЭУ подавался на АЦП в стандарте КАМАК и далее в цифровом виде запоминался в ЭВМ.

Проведенные расчеты, учитывающие конкретную форму сцинтиллятора, показывают слабую зависимость регистрируемого потока от ориентации детектора относительно пучка. Калибровка системы регистрации с использованием плутониевого источника, приведенная ниже, также подтверждает это. Расположение детектора показано на рисунке 1, расстояние до оси пучка составляло $\cong 1$ м. Нормаль к грани наибольшей площади направлена вверх. Расстояние от инжектора ИК-50 до детектора вдоль оси пучка $\cong 1$ м. При таком расположении из-за уменьшения с расстоянием телесного угла эффективно регистрируются нейтроны из области пучка с продольным размером ~ 1 м.

Оценим поток нейтронов при номинальных параметрах пучка дейтонов D^+ : энергия частицы $E=30$ кэВ, ток $I=50$ А, эмиссионные размеры поперечного сечения пучка $12 \text{ см} \times 24 \text{ см}$; и концентрации остаточного газа дейтерия в камере $n=10^{12} \text{ см}^{-3}$ (соответствует давлению в камере в конце импульса). Такой энергии дейтонов соответствует скорость $v=1,7 \cdot 10^8 \text{ см/с}$. При данных параметрах из (2) можно найти значение плотности дейтонов в пучке $n^+=6 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$. Тогда поток нейтронов из единицы объема, согласно (1), составляет $N=10^3 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$.

Были проведены расчеты числа частиц регистрируемых со всего объема пучка детектором, расположенным на расстоянии $R=1$ м от оси установки. Полный поток регистрируемых нейтронов составляет $N_n = 6 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$.

3. Результаты измерений

Детектор нейтронов был откалиброван с использованием эталонного плутониевого источника с бериллиевым конвертором, который давал $2,23 \cdot 10^5$ нейтр./с. Измерялся поток нейтронов при различных углах ориентации источника относительно детектора для фиксированного расстояния 1 м. При этом было зарегистрировано $(7 \pm 2) \cdot 10^4$ отсчетов/с.

Измеренный фон с помощью детектора нейтронов в отсутствие пучка дейтонов составил $(6 \pm 1) \cdot 10^3$ отсчетов/с.

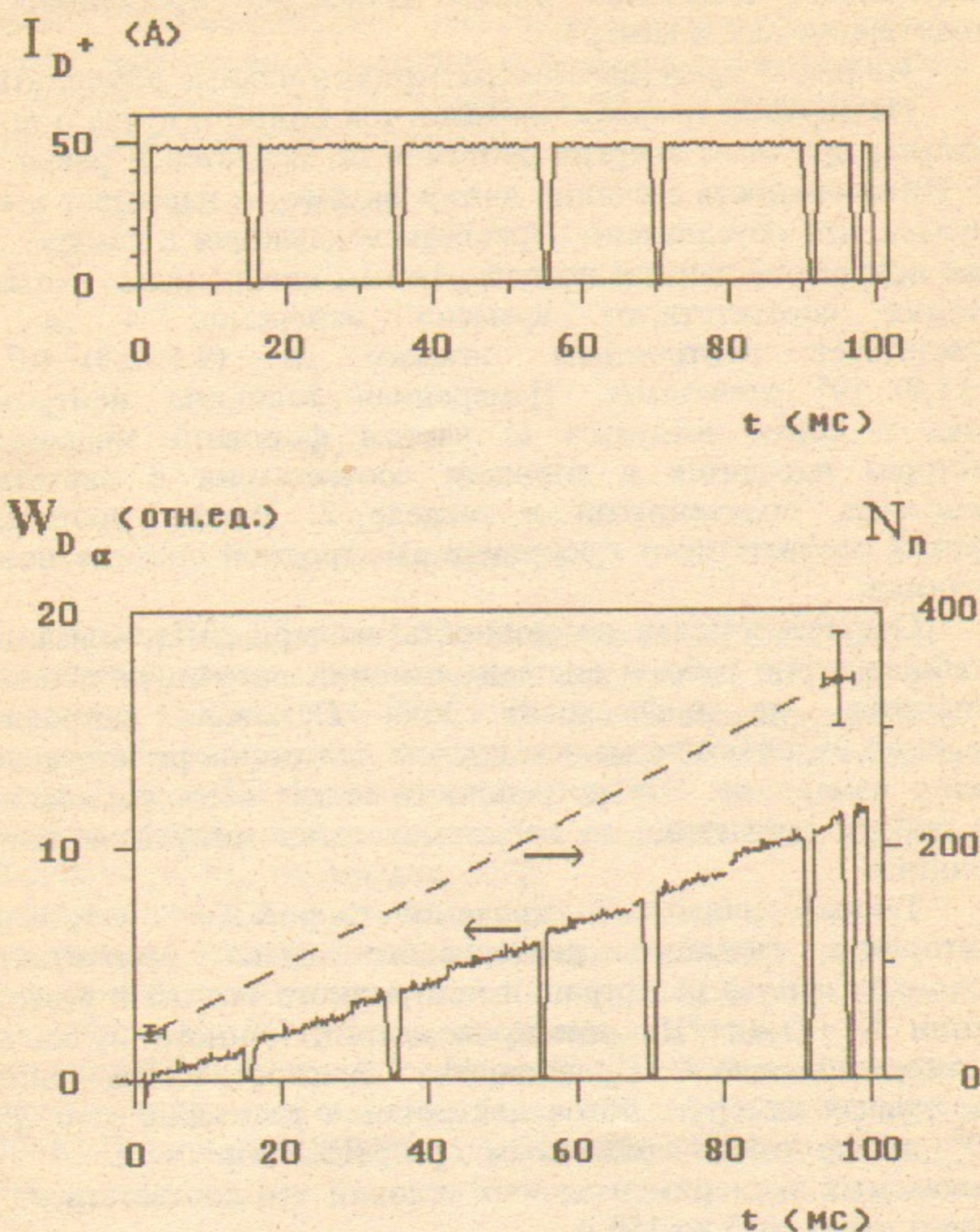


Рис. 3. Зависимости от времени: сверху - ток пучка, снизу - интенсивность излучения линии Бальмер- α и число отсчетов детектора ($t_{\text{изм.}}=4$ мс).

Об изменении давления в камере можно судить по интенсивности излучения линии Бальмер- α (656,5 нм) атомов дейтерия, возбуждаемых в результате прохождения ионного пучка через остаточный газ в камере. При постоянных параметрах пучка

интенсивность излучения линии Бальмер- α пропорциональна концентрации газа в камере.

На рис. 3 представлены экспериментальные результаты.

На верхнем графике приведен ток ионного пучка в течение импульса, при этом энергия дейтонов не меняется и равна $E=30$ кэВ. Интенсивность свечения линии Бальмер- α нарастает к концу импульса, что обусловлено нарастанием давления в камере. Здесь также приведены данные по нейтронным измерениям. Указанные значения соответствуют времени измерения 4 мс, что соответствует нейтронным потокам от $(9,6 \pm 0,9) \cdot 10^3$ до $(8,5 \pm 1,0) \cdot 10^4$ отсчетов/с. Измеренная величина нейтронного потока в конце импульса (с учетом фонового значения на детекторе) находится в хорошем соответствии с расчетными прогнозами, полученными в разделе 2. Резкие провалы на графиках соответствуют пробоям в электродной системе ионного источника.

Систематическая погрешность эксперимента, связанная с нестабильностью работы системы питания источника и системы газонапуска, не превосходит 10%. Основная погрешность измерений обусловлена малым числом нейтронов регистрируемых за одно измерение. Эта погрешность может быть уменьшена за счет набора статистики за несколько сотен импульсов ионного источника.

Таким образом продемонстрирована возможность мониторинга мощного дейтериевого пучка бесконтактным методом на основе регистрации нейтронного потока в результате реакции $D^+ + D \rightarrow n + {}^3\text{He}$ при прохождении ионного пучка через инжекторный тракт. Представлена диагностическая система, позволяющая измерять поток нейтронов в диапазоне от $6 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^5$ нейтр./с с временным разрешением 4 мс. Для описываемых экспериментальных условий это соответствует току ионного пучка от 5 до 150 А.

К достоинствам нейтронной диагностики можно отнести ее расположение вне вакуумной камеры, что не требует специальных фланцев и вакуумных вводов. Эту диагностику можно применять на термоядерных установках.

Представляет интерес измерить поток нейтронов непосредственно в области титанового приемника пучка (см. рисунок 1), поскольку в данном случае существенным может

оказаться взаимодействие высокоэнергетичного пучка с дейтерием, накопленным в титане за большое число выстрелов.

Авторы выражают благодарность Ю.Ю. Овчаренко за помощь в проведении экспериментов.

Литература

1. Давыденко В.И., Димов Г.И., Морозов И.И., Савкин В.Я. Развитие ионных источников для инжекторов АМБАЛ-М. Препринт ИЯФ СО АН СССР 89-163. Новосибирск, 1989.
2. Dimov G.I., Morozov I.I. "50 A Ion Source IK-50 for AMBAL-M Device."- Rev. Sci. Instrum., 1990, N 1(II).
3. Таблицы физических величин. Под ред. акад. И.К. Кикоина. Справочник. М., Атомиздат, 1976.
4. Крамер-Агеев Е.А. и др. Экспериментальные методы нейтронных исследований. М., Энергоатомиздат, 1990.
5. Физический энциклопедический словарь. Под ред. А.М. Прохорова. М., "Советская энциклопедия", 1983.
6. Батраков А.М., Козак В.Р., Кругляков М.Э. Регистраторы формы импульсных сигналов серии "S". АЦП-101SK, АЦП-850SK. Препринт ИЯФ СО АН СССР 88-98. Новосибирск, 1988.

И.И. Морозов, В.Г. Соколов, М.Ю. Степанов

**Регистрация нейтронов,
образующихся в инжекторном тракте
мощного квазистационарного
дейтериевого пучка**

I.I. Morozov, V.G. Sokolov, M.Yu. Stepanov

**Registration of neutrons,
being formed in the injector tract
of powerful quasistationary deuterium beam**

ИЯФ 96-55

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев

Работа поступила 2.07. 1996 г.

Сдано в набор 10.08.1996 г.

Подписано в печать 10.08.1996 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0.7 печ.л., 0.6 уч.-изд.л.

Тираж 200 экз. Бесплатно. Заказ № 55

Обработано на IBM PC и отпечатано на
роталпринте ГНЦ РФ "ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН",
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.