

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P1-89-649

С. А. Аверичев, Б. П. Банник, Н. А. Блинов,
Н. Т. Буриев¹, М. А. Воеводин, А. Ш. Гайтинов²,
Ю. В. Гусаков, В. И. Каплин, А. Д. Коваленко,
А. И. Кручинин³, Л. Г. Макаров, Е. А. Матюшевский,
А. Г. Мурызин, Ш. З. Сайфулин, В. В. Смирнов,
К. Д. Толстов, В. А. Трофимов, Р. Холынский⁴,
Г. А. Шнеерсон³

**УСТАНОВКА ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ
ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЙ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ
С ИНДУКЦИЕЙ ДО 100 Тл**

Направлено в Оргкомитет 5-й Международной конференции
по генерации мегагауссных магнитных полей
и родственным экспериментам "Мегагаусс - V",
Новосибирск, июль 1989 г.

¹Таджикский государственный университет, Душанбе

²ИФВЭ АН КазССР, Алма-Ата

³ЛПИ, Ленинград

⁴ИЯФ, Краков, ПНР

На протяжении последних нескольких лет в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ ведётся сооружение установки (названной СЛОН), предназначенной для изучения ядерных взаимодействий при высоких энергиях методом фотозумльсий в сильном магнитном поле^{/1/}. Особый интерес к созданию установки СЛОН связан с её способностью обеспечить получение уникальной информации о процессах множественного рождения частиц в событиях, когда число вторичных частиц достигает нескольких сотен. В установке СЛОН должны быть реализованы наилучшее по сравнению с другими детекторами пространственное разрешение (≤ 1 мкм) при регистрации треков заряженных частиц, причём в телесном угле 4π , и достаточно высокое (лучше 10 %) разрешение по импульсам с надёжной идентификацией вторичных заряженных частиц по зарядам и массам в широком диапазоне энергий.

Для достижения отмеченного выше разрешения при измерении импульсов вторичных заряженных частиц, образовавшихся в столкновении первичного ядра пучка с ядром фотозумльсии, необходимо сформировать магнитное поле с напряжённостью в несколько десятков Тесла в объёме более 10 см^3 , с пространственной неоднородностью $2 + 3 \%$.

Оптимальная длительность импульса магнитного поля, исходя из конкретных параметров пучка, выводимого из синхрофазотрона, и необходимости получения максимально возможной напряжённости поля без разрушения магнитной системы, составляет $100 + 150$ мкс.

Эксперименты по облучению ядерных фотозумльсий в магнитном поле предпринимались и ранее в различных лабораториях, однако желаемых преимуществ достигнуто не было либо из-за недостаточной амплитуды поля^{/2,3/}, либо из-за малости объёма, в котором оно формировалось^{/4/}.

Система формирования сильного магнитного поля установки СЛОН разработана с учётом отмеченных выше условий. Общая функциональная схема установки приведена на рис. 1.

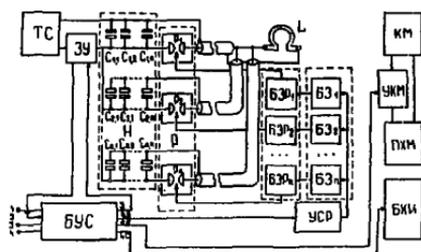


Рис. I Блок-схема установки. ТС - трансформатор силовой; ЗУ - зарядное устройство; Н - накопитель энергии; L - соленоид; Р - разрядники сильноточные; БЗР - блоки запуска разрядников; БЗ - блоки задержек; УСР - блок управления системой разрядников; К-М - отклоняющий кикер-магнит; УКМ - управление К-М; ПКМ - питание К-М; БКИ - блок контроля и измерений; БУС - блок управления и синхронизации.

Для получения поля используется разряд конденсаторной батареи на одновитковый соленоид специальной конструкции. Коммутация тока осуществляется управляемыми искровыми разрядниками, работающими при давлении $10^{-2} + 10^{-3}$ Торр.

1. Конденсаторная батарея

Конденсаторная батарея имеет суммарную энергоёмкость $\sim 1,6$ МДж. Она состоит из 576 конденсаторов типа ИС-5-200 ($C_k = 200$ мкФ, $U_H = 5$ кВ), сгруппированных в 48 блоков по 12 конденсаторов. Блоки размещены в четыре яруса на четырёх металлических фермах высотой 3,7 м. Каждый конденсатор соединён посредством двух кабелей типа РК-50-II-II длиной ~ 17 м с соответствующим модулем коммутаторов тока, расположенным вблизи соленоида. Конденсаторная батарея оборудована устройством эвакуации энергии, дистанционно управляемым заземлителем, системой аварийного маслосбора и другими средствами безопасности.

Зарядное устройство конденсаторной батареи включает в себя трёхфазный силовой трансформатор мощностью ~ 800 кВА, сильноточный управляемый тиристорный выпрямитель^{/5/}, обеспечивающий ток заряда ≤ 5 А и систему стабилизации зарядного напряжения батареи на уровне $\sim 10^{-3}$ в диапазоне до 5 кВ^{/6/}. В выпрямителе реализован фазоимпульсный метод управления с помощью одноканальной системы без ограничительного сопротивления в зарядной цепи, достигнута высокая равномерность зарядного тока. Время заряда батареи до максимального рабочего напряжения $U_{\text{макс.}} = 5$ кВ не превышает ~ 30 с.

2. Коммутаторы тока

В качестве коммутаторов тока используются управляемые вакуумные разрядники. Рабочий диапазон давлений составляет $10^{-2} + 10^{-3}$ Торр. Коммутируемый каждым разрядником ток при длительности разряда 100 мкс может достигать величины ~ 1 МА. Разрядники соединены с коллектором тока короткими ($\sim 3 + 4$ м) отрезками кабеля РК-50-II-II.

3. Система импульсного магнита

Кабельный коллектор, одновитковый соленоид и их соединяющий переходник конструктивно объединены в единую механически жёсткую систему.

В дополнение к обычным требованиям, предъявляемым к системам формирования сильных импульсных магнитных полей, таким, как достаточная механическая прочность, высокий к.п.д. и т.д., в нашем случае необходимо обеспечить точную юстировку магнита относительно оси пучка, пространственную однородность формируемого магнитного поля в объёме облучаемой стопки фотоэмульсий на уровне $\pm 3\%$, отсутствие массивных металлических деталей (соленоид, бандаж и др.) на пути пучка релятивистских ядер и свободное пространство вдоль оси за пределами магнитного поля. Последнее условие связано с тем, что продольный разрез стопки фотоэмульсий желательно иметь большим, для измерения продолжения трека частиц.

Соленоид выполнен цельноточеным и имеет вид усечённого конуса с осевым отверстием $\varnothing 30$ мм и двумя продольными, диаметрально противоположенными вырезами. Системой переходных колец соленоид зажимается в стальном бандаже, который устанавливается на канале вывода пучка и имеет юстировочные винты для точной регулировки его положения. Такая конструкция магнита позволяет в широких пределах варьировать размеры рабочей области магнитного поля, а также его пространственное распределение. Продольный размер соленоида $\varnothing 120$ мм.

Кабельный коллектор представляет собой соосную с пучком коаксиальную линию внешним диаметром ~ 280 мм. Апертура канала для пролёта частиц ~ 80 мм. Осевая длина коллектора для размещения 144 штук токоподводящих кабелей типа РК-50-II-II от блока разрядников составляет ~ 120 мм.

Переходник осуществляет передачу тока с коаксиальной геометрии коллектора на плоскую геометрию соленоида. Он выполнен из двух деталей, электрически изолированных друг от друга эпоксидным компаундом и имеет со стороны соленоида плоские выступы трапециевидального профиля для контакта с соленоидом. В конструкции переходника учтены эффекты перераспределения тока и увеличение его плотности на токонесущих поверхностях соленоида примерно в 4 раза по сравнению с коллектором. В центральной части переходника выполнено отверстие ~ 20 мм для пролёта пучка.

На рис.2 схематически показана магнитная система установки СЛОН. Стопка фотоэмульсий, закреплённая в специальной диэлектрической каскаде, легко устанавливается и юстируется относительно соленоида. На этой же каскаде закрепляются витки обмотки для контроля магнитного поля.

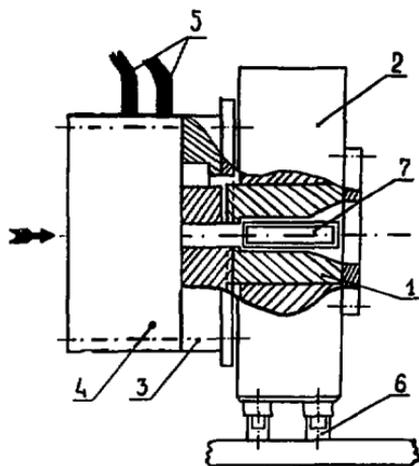


Рис.2 Схематический разрез магнитной системы. 1 - одновитковый соленоид; 2 - бандаж; 3 - переходник; 4 - кабельный коллектор; 5 - токоподводящие кабели; 6 - регулируемые опоры; 7 - кассета с фотоэмульсией.

себя часть конденсаторной батареи (132 конденсатора), разряжаемые через два коммутатора на прототип соленоида, имеющего вертикальную апертуру ~ 30 мм. Для контроля формы и амплитуды тока был изготовлен пояс Роговского, охватывающий разрядник. Магнитное поле в рабочей области контролировалось индукционным датчиком (рамкой), сигнал с выхода которой после интегрирования также можно было наблюдать на экране осциллографа. На рис.3 приведены осциллограммы, показывающие форму разрядного тока и магнитного поля.

Рис.3 Осциллограммы импульсов. Верхний луч - сигнал с магнитометра, нижний - сигнал разрядного тока с пояса Роговского. Развёртка - 50 мкс/деление.

4. Система синхронизации

Она обеспечивает требуемую логическую последовательность работы узлов и систем установки и их синхронизацию с циклом работы ускорителя как в однократном, так и в периодическом режимах облучения. Для предотвращения возможности формирования магнитного поля без облучения и облучения фотоэмульсий без магнитного поля в блоке синхронизации использована тройная последовательная блокировка канала запуска. Временная синхронизация работы отдельных узлов достигается посредством трёх независимых каналов запуска с регулируемыми задержками в диапазоне от 0 до 500 мкс с шагом 50 нс.

5. Результаты наладки

Основные монтажные работы по системам установки завершены. С целью проверки работы коммутаторов и отладки электротехнических устройств были проведены испытания модуля установки, включающего в



Исходя из наблюдаемых параметров импульса: полупериод разряда $T/2 \approx 150$ мкс, затухание $K \approx 0,5$ и заданной ёмкости батареи $C_0 = 200$ х 132 мкФ, получаем для суммарной индуктивности контура значение $L \approx 85$ нГн, а для постоянной времени $\tau \approx 2,32 \cdot 10^{-4}$ с. Таким образом, амплитуда разрядного тока через каждый разрядник достигает значения $I_0 \approx 0,42$ МА при зарядном напряжении $U_{зар.} = 1$ кВ. Расчётный коэффициент преобразования "ток - поле" для соленоида составляет 23 ± 25 Тл/МА.

В конце 1988 года проведён первый методический сеанс по облучению фотозумульсий на лучке протонов синхрофазотрона с импульсом 6 ГэВ/с. Запуск разрядников был синхронизирован с циклом работы ускорителя и вывода пучка в канал облучения. Были облучены две стопки фотозумульсий размерами $1,5 \times 1 \times 10$ см³ при значениях зарядного напряжения 0,6 и 1,2 кВ соответственно. При этом максимальное поле в рабочей области соленоида (при $U_{зар.} = 1,2$ кВ), по оценкам, составляет 27 ± 30 Тл.

В данном сеансе работы установки длительность пучка составляла величину ~ 1 мс, поэтому количество интересующих нас событий взаимодействий ядер в фотозумульсионных пластинках вблизи максимума магнитного поля составляло ~ 1 % от полного числа зарегистрированных взаимодействий. В результате просмотра и измерения треков в стопке фотозумульсии обнаружены следы частиц, прохождение которых совпало с максимумом магнитного поля. Величина магнитного поля, рассчитанная по измерению кривизны трека первичного протона с импульсом 6 ГэВ в фотозумульсии, подтвердила правильность приведённых выше оценок.

В настоящее время на установке проводятся работы по подготовке её к следующему сеансу облучения, по измерению пространственного распределения магнитного поля в рабочей области соленоида, повышению надёжности работы отдельных систем.

В заключение авторы выражают благодарность академику А.М.Балдину за постоянный интерес к работе и поддержку, И.Н.Семеновскому, А.Д.Кириллову, В.И.Котову, Л.Н.Комолову, Н.М.Сухареву, Л.А.Кильчаковскому, В.Н.Кузнецову и другим сотрудникам ЛВЗ за помощь в подготовке и проведении сеанса облучения и систем установки к работе, а также В.В.Фефанову за помощь в изготовлении элементов магнитной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.Т.Буриев и др. ОИЯИ, Р13-86-492, Дубна, 1986.
2. В.М.Лихачёв и др. ЖЭТФ, т.29, с.894, 1955.
3. L.Hoffman, M.Morpurgo. Nucl.Instr.Methods, v.20, p.489, 1963.
4. H.Neckmann, F.Herlag. Nucl.Instr.Methods, v.106, p.269, 1973.
5. Н.Т.Буриев и др. ОИЯИ, Р13-89-458, Дубна, 1989.
6. Н.Т.Буриев и др. ОИЯИ, Р13-89-459, Р13-89-209, Дубна, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел

11 сентября 1989 года.

Аверичев С.А. и др.

P1-89-649

Установка для облучения ядерных фотоэмульсий
в магнитном поле с индукцией до 100 Тл

Описана установка для облучения ядерных фотоэмульсий в сильном магнитном поле, созданная на канале вывода релятивистских ядер синхрофазотрона ОИЯИ. Представлены основные параметры модуля установки и магнитного поля, полученные в первом методическом сеансе по облучению фотоэмульсии размерами 1,5 x 1 x 10 см пучками релятивистских протонов с импульсом 6 ГэВ/с.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод авторов

Averichev S.A. et al.

P1-89-649

A Set-up for Irradiation of Nuclear Emulsions
in Magnetic Field with Induction up to 100 Tl

A set-up for irradiation of nuclear emulsions in high magnetic field is described. It is installed at the JINR synchrotron channel of relativistic nuclei extraction. Main characteristics of the set-up module and the magnetic field obtained in the first methodical experiment on the irradiation of nuclear emulsions with the dimensions of 1,5 x 1 x 10 cm by 6 GeV/c relativistic protons are presented.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989

6 коп.

Редактор М.И.Зарубина. **Макет** Н.А.Киселевой.

Подписано в печать 05.10.89.

Формат 60х90/16. **Офсетная печать.** Уч.-изд.листов 0,43.

Тираж 490. **Заказ** 42581.

**Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.**