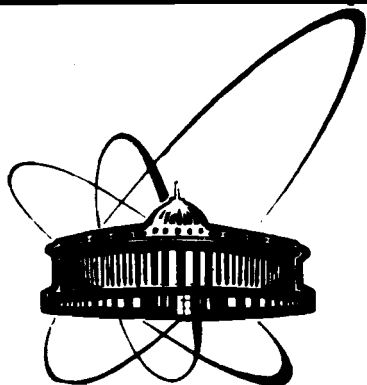


89-649



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

A 127

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

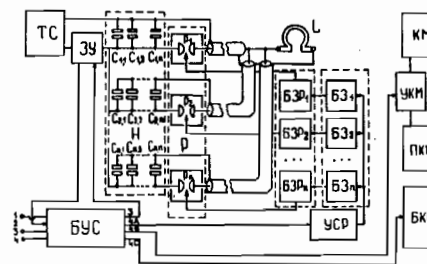


Рис. I Блок-схема установки. ТС - трансформатор силовой; ЗУ - зарядное устройство; Н - накопитель энергии; L - соленоид; P - разрядники высоковольтные; БЗР - блоки запуска разрядников; БЗ - блоки задержек; УСР - блок управления системой разрядников; К-М - отключающий кикер-магнит; УКМ - управление К-М;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

На протяжении последних нескольких лет в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ ведётся сооружение установки (названной СЛОИ), предназначенной для изучения ядерных взаимодействий при высоких энергиях методом фотоэмульсий в сильном магнитном поле^{/1/}. Особый интерес к созданию установки СЛОИ связан с её способностью обеспечить получение уникальной информации о процессах множественного рождения частиц в событиях, когда число вторичных частиц достигает нескольких сотен. В установке СЛОИ 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 фотоэмульсии, 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 фотоэмульсий 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 СЛОИ разработана с учётом отмеченных выше условий. Общая функциональная схема установки приведена на рис. I.

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 маслобвора и другими средствами безопасности.

Зарядное устройство конденсаторной батареи включает в себя трёхфазный силовой трансформатор мощностью ~ 800 кВА, высоковольтный 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 фотозмульсий 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 фотозмульсии 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 трапецеидального 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 фотозмульсий, закреплённая в специальной диэлектрической кассете, легко устанавливается и юстируется относительно соленоида. На этой же кассете закрепляются витки обмотки для контроля магнитного поля.

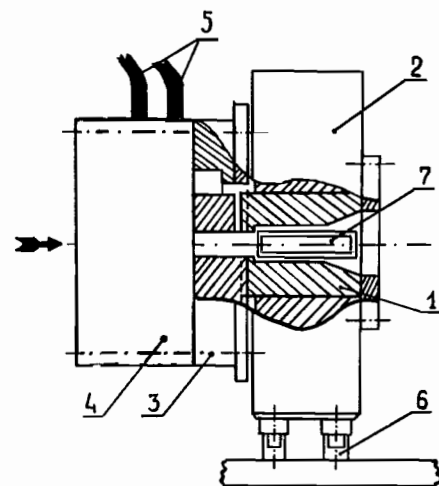


Рис.2 Схематический разрез магнитной системы. 1 - одновитковый соленоид; 2 - бандаж; 3 - переходник; 4 - кабельный коллектор; 5 - токоподводящие кабели; 6 - регулируемые опоры; 7 - кассета с фотозмульсией.

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 фотозмульсий 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 системе установки завершены. С целью проверки работы коммутаторов и отладки электротехнических устройств были проведены испытания модуля установки, включающего в 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.

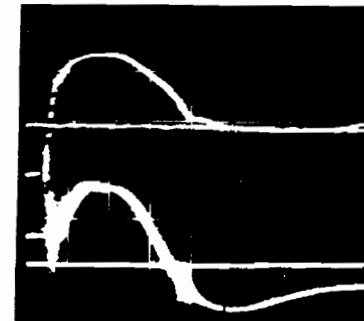


Рис.3 Осциллограммы импульсов. Верхний луч - сигнал с магнитометра, нижний - сигнал разрядного тока с пояса Роговского. Развёртка - 50 мкс/деление.

Исходя из наблюдаемых параметров импульса: полупериод разряда $T/2 \approx 150$ мкс, затухание $K \approx 0,5$ и заданной ёмкости батареи $C_0 = 200 \times 10^{-6}$ ф, 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 фотоэмульсий на пучке 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 фотоэмульсий 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 фотоэмульсионных пластинках вблизи максимума магнитного поля составляло ~ 1 % от полного числа зарегистрированных взаимодействий. В результате просмотра и измерения треков в стопке фотоэмульсии 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 фотоэмульсии, 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.Киррилову, В.И.Котову, Л.Н.Комолову, Н.М.Сухареву, Л.А.Кильчаковскому, В.Н.Кузнецову и другим сотрудникам ЛВЭ за помощь в подготовке и проведении сеанса облучения и систем установки к работе, а также В.В.Феофанову 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.Moergurgo. Nucl.Instr.Methods, v.20, p.489, 1963.
4. H.Heckmann, 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 $1,5 \times 1 \times 10$ 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 $1,5 \times 1 \times 10$ 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