

С 3459  
А-64

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р - 2313



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

В.Д. Ананьев, П.С. Аяцупов, С.П. Капица,  
И.М. Матора, В.Н. Мелехин,  
Л.А. Меркулов, Р.В. Харьюзов

МИКРОТРОН-ИНЖЕКТОР НА 30 МЭВ  
ДЛЯ ИБР<sub>а</sub>

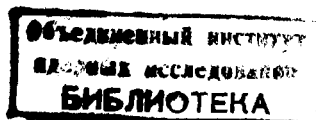
1965

Р - 2313

3529/1 чр.  
В.Д. Ананьев, П.С. Анцупов, С.П. Капица<sup>х/</sup>,  
И.М. Матора, В.Н. Мелехин<sup>х/</sup>,  
Л.А. Меркулов, Р.В. Харьюзов

МИКРОТРОН-ИНЖЕКТОР НА 30 МЭВ  
ДЛЯ ИБРА

Направлено в "Атомную энергию"



<sup>х/</sup> Сотрудник Института физических проблем АН СССР.

Проект микротрона был разработан в 1962 году совместно сотрудниками ЛНФ и Физической лаборатории ИФП АН СССР, причем основные физические параметры установки тождественны параметрам известного микротрона ИФП<sup>/1/</sup>. Сооружение и наладка установки выполнены сотрудниками ЛНФ ОИЯИ. Этот ускоритель обеспечивает кратковременную вспышку активности импульсного реактора на быстрых нейтронах (ИБРа) в момент его минимальной подкритичности и размещен над ИБРом<sup>/2/</sup>. В связи с этим в проекте в конструкцию<sup>/1/</sup> были введены существенные изменения. В частности, средняя магнитная плоскость ускорителя расположена вертикально, введен 10 м электроно-оптический тракт, соединяющий микротрон с реактором, мишень из урана, установленная в центре активной зоны ИБРа, и т.д.

В ходе сооружения и наладки были разработаны катод новой конструкции с большим сроком действия, прямоугольный резонатор с квадратным сечением полости, орбитальный свч тракт с плавной регулировкой подаваемой на резонатор мощности, система токовых витков, обеспечившая хорошее прохождение электронов по всем 30 орбитам, а также система вывода и фокусировки пучка в центр активной зоны ИБРа.

В настоящее время ускоритель проработал совместно с ИБРом 260 часов, имея следующие характеристики:

Число орбит	30
Энергия электронов на последней орбите	30 Мэв
Ток в импульсе на последней орбите	40-60 на
Ток в импульсе перед урановой мишенью	40-60 на
Эффективность системы вывода и фокусировки	~ 100%
Размер сечения пучка на алюминиевой заглушке перед мишенью	4 x 6 мм <sup>2</sup>
Длительность токового импульса	1-3 мксек.
Частота повторения импульсов	50 1/сек.

## Магнитное поле

Установка работает в так называемом 2-м режиме ускорения<sup>/3/</sup>, при котором прирост энергии на каждую орбиту 1 Мэв. Это обстоятельство обеспечивает весьма малые размеры и вес магнита, необходимые для достижения электронами заданной энергии. При длине волны ускоряющего электрического поля в резонаторе - 10 см, диаметр рабочей области поля составляет - 90 см, а вес магнита - 5 т.

Номинальное значение напряженности магнитного поля 2200 э поддерживается с точностью до 0,03% во времени, когда выведенный пучок фокусируется на мишень в реакторе, или при необходимости в поддержании хорошей монохроматичности пучка. В остальных случаях стабилизация магнитного поля во времени не обязательна. От центра рабочей области до конечного радиуса напряженность магнитного поля плавно спадает на 0,1%, а амплитуда 1-й гармоники азимутальной неоднородности поля в окрестности конечного радиуса не превосходят 0,03%.

Коническая стальная трубка магнитного канала имеет входное отверстие диаметром 8 мм и внешний диаметр 12 мм, длина трубки - 660 мм, и выходные диаметры внутренний - 20 мм, наружный - 30 мм. Резкое понижение напряженности магнитного поля в окрестности канала практически полностью скомпенсировано парой "полубесконечных" шимм, зазор между которыми - 50 мм, а толщина ступеньками увеличивается от 0,4 мм у входного конца до 1,2 мм у середины канала.

Много работы по корректировке магнитного поля возникло в связи с тем, что стенки вакуумной камеры изготовлены из нержавеющей стали. Из-за этого на периферии рабочей области возникли заметные локальные возмущения магнитного поля у отверстий для фланцев. Величина этих возмущений доходила до 0,5-0,8%. Компенсация возмущений была выполнена с помощью тонких стальных колец, вставляемых внутрь отверстий фланцев.

При ускорении электронов выяснилось, что в магните существует прихотливая медианная магнитная поверхность, не совпадающая с геометрической плоскостью симметрии камеры. Поэтому пришлось около 2-5% ампервитков магнита соединить по схеме, обеспечивающей возникновение лишь радиальной составляющей магнитного поля. Кроме этого, весьма эффективным оказалось введение единичных токовых витков, создающих составляющую магнитного поля, параллельную общему диаметру орбит. Последние позволяют последовательно по орбитам компенсировать как эффекты смещения "медианной поверхности", так и возможные ошибки в установке резонатора и магнитного канала. Отметим, что номинальное значение энергии электронов на выходе 30 Мэв легко было получено сразу после создания системы таких витков.

## Тракт СВЧ

Передача энергии СВЧ от магнетронного генератора к резонатору осуществляется с помощью волноводного тракта длиной около 8 метров. Часть волновода, прилегающая к резонатору, используется в качестве трубы для откачки последнего. Остальные элементы отделены кварцевой диафрагмой и наполнены шестифтористой серой. Возможность плавной регулировки мощности, подаваемой на резонатор, позволяет не только без затруднений выбрать оптимальный режим ускорения, но и избежать многих неприятностей, связанных с подготовительными работами, при которых КСВ резонатора может меняться в широких пределах. Контроль за распределением мощности осуществляется термометрами, введенными в систему водяного охлаждения нагрузок и резонатора. Кроме того имеются детекторные секции, позволяющие наблюдать огибающую импульса падающих и отраженных от резонатора СВЧ колебаний.

## Резонаторы

Работа резонатора, в котором расстояние между крышками 20 мм, а амплитуда напряжения превосходит 1 мегавольт, при наличии мощного термокатода сопровождается некоторыми важными посторонними процессами, из которых наиболее неприятным оказался резонансный свч разряд. Если не приняты меры, подавляющие этот процесс, то ускорение во 2-ом режиме практически нельзя осуществить.

В настоящее время непрерывная работа резонаторов возможна в течение 70-100 часов. Последнее достигнуто с помощью применения чистой меди, электрополировки поверхности резонатора и его отжига в вакууме. Следует подчеркнуть, что решающим условием, необходимым для продолжительной работы резонатора, является хороший вакуум. Только после достижения в камере ускорителя давления  $5 \cdot 10^{-8}$  мм Hg мы смогли длительно эксплуатировать ускоритель.

## Термокатод

В качестве катода используется стержень цилиндрической формы диаметром 2,5 мм и длиной 6,5 мм, изготовленный из гексабарита лантана. Тонкая танталовая державка обеспечивает без пайки надежный электрический контакт и незначительный теплоотвод во всем диапазоне рабочих температур при достаточно надежной фиксации положения стержня. Подогрев катода - косвенный с помощью электронного пучка, ускоренного электрическим полем специального источника напряжения от вольфрамовой накаленной спирали на катод, установленный в 22 мм от спирали на тех же самых силовых линиях магнитного поля. Мощность, потребляемая системой электронного нагрева катода, около 20 вт. Изменением режима системы подогрева осуществляется регулировка тока эмиссии с термокатода в резонатор от 0 до 10 ампер при достаточной надеж-

ности и долговечности. Термокатод снабжен устройством, позволяющим при необходимости изменить глубину его погружения в полость резонатора для достижения оптимальной фокусировки пучка инжектируемых электронов.

#### Средства наблюдения за пучком

В процессе работы ускорителя прохождение пучка по орбитам наблюдалось с помощью горизонтального пробника,двигающегося вдоль общего диаметра орбит.

Первая конструкция горизонтального пробника позволяла помимо измерения импульса тока с помощью типовой промышленной телевизионной установки наблюдать светящееся пятно пучка на одиодламельном коллекторе этого пробника. Отсутствие хорошей экранировки пробника вызывало появление наводок на нем от высокочастотного поля резонатора. Наиболее полную информацию о пучке обеспечила последняя конструкция пробника, коллектор которого разрезан вдоль средней геометрической плоскости камеры ускорителя, и токосъем с обеих ламелей идет по двум независимым цепям. Это позволяет судить не только о величине тока на каждой орбите, но и о смещении пучка от средней плоскости. Весь коллектор заключен в сплошной медный заземленный кожух. Ток электронов вне ускорителя измеряется двумя пробниками в виде цилиндров Фарадея. Коллектор каждого из них представляет собой медный стакан с толщиной дна 20 мм и наклонной крышкой из медной фольги. Крышка покрывалась люминофором для наблюдения светящегося пятна пучка по телевидению и измерения размеров автографов пучка при вскрытии электропровода.

#### Электропровод

Расходимость выведенного из ускорителя пучка по радиальному направлению составляет 10-15 мм/метр, а по азимутальному - 1 мм/метр. Размеры его на входе в магнитный канал 3x4 мм<sup>2</sup>. Однако расстояние от микротрона до ИБРов велико (10 м). Поэтому внутренний диаметр электропровода выбран 80 мм, а апертура обеих квадрупольных магнитных линз - 100 мм. Линзы установлены на полпути между микротроном и ИБРом, причем верхняя линза может при дистанционном управлении перемещаться в пределах  $\pm 1,5$  мм поперек оси электропровода по радиальному направлению (она совпадает с осью большого нейтропровода), а нижняя линза может перемещаться в аксиальном направлении в пределах  $\pm 1$  мм. Таким образом, с пульта ИБРов можно вызвать перемещение линз, необходимое для нацеливания сфокусированного пучка на урановую мишень, установленную в центре активной зоны реактора.

Выходной конец электропровода закрыт алюминиевой фольгой толщиной 0,3 мм, после чего до мишени остается 200 мм, которые электроны проходят в атмосфере охлаждающего мишень гелия.

В заключение приносим искреннюю благодарность Д.И. Блохинцеву, П.Л. Капиче, И.М. Франку, Ф.Л. Шапиро за постоянный интерес к работе и помощь, а также С.К. Николаеву, Б.И. Воронову и Б.Н. Буяну, заботы которых способствовали созданию ускорителя.

#### Л и т е р а т у р а

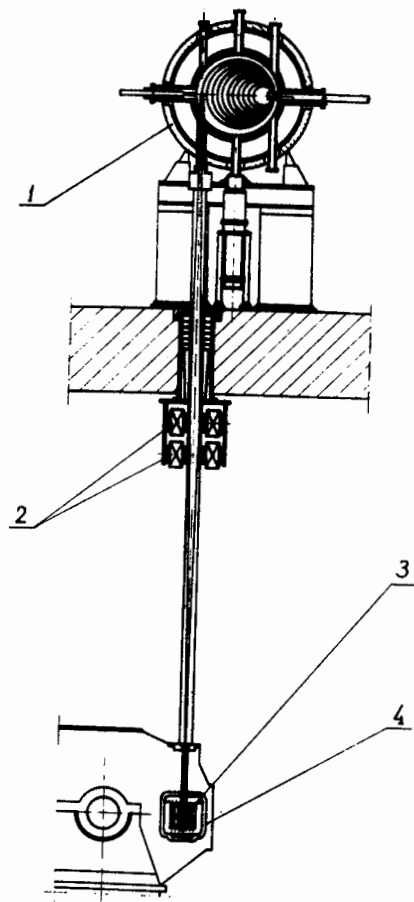
1. Л.М. Зыкин, С.П. Капича, В.И. Мелехин, А.Г. Неделиев, "Микротрон с большим током". Труды Международной конференции по ускорителям. Стр. 1048, Дубна (1963).

2. Б.Н. Буяни, И.М. Матора, С.К. Николаев, Л.Б. Пикельнер, И.М. Франк, В.П. Шабалин, Ф.Л. Шапиро, Ю.С. Языцкий, Доклад A/Conf. 28/P/324, USSR, May, 1964.

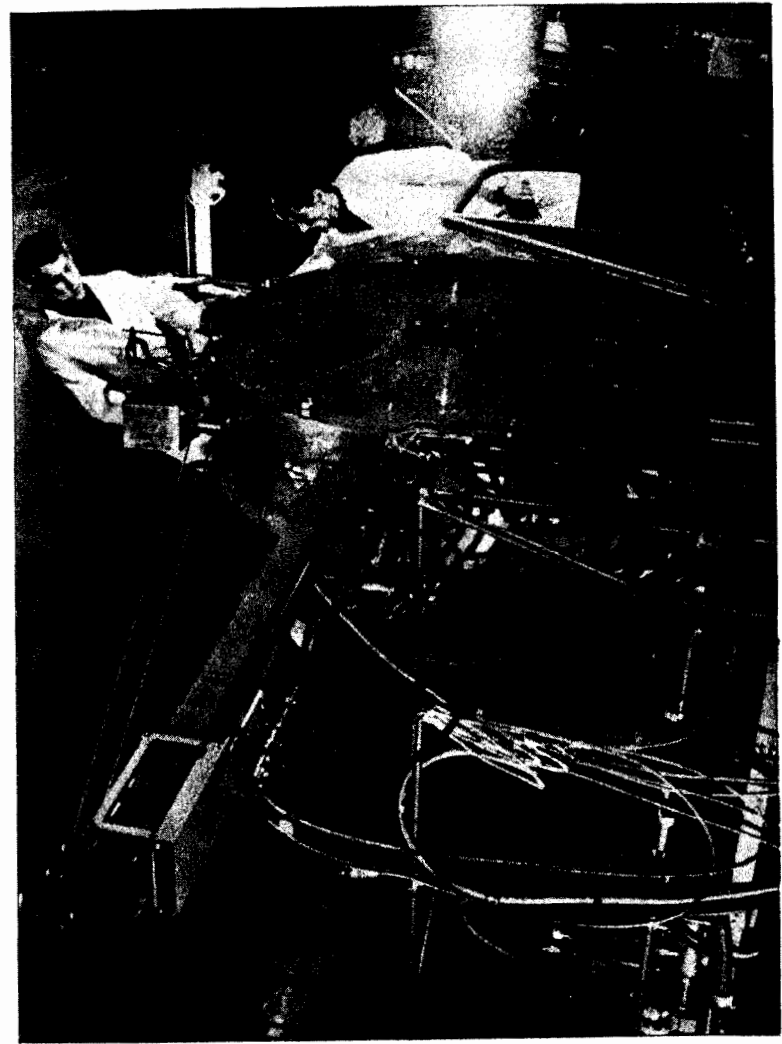
Третья Международная конференция ООН по использованию атомной энергии в мирных целях.

3. С.П. Капича, В.П. Быков, В.И. Мелехин. ЖЭТФ, 39, 997 (1960).

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 июля 1965 г.



Р и с. 1. Схема расположения микротрона и реактора ИБР:  
 1 - камера ускорителя; 2 - фокусирующие линзы;  
 3 - мишень; 4 - активная зона реактора.



Р и с. 2. Общий вид микротрона.