

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Экз. чит. зала

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ УСКОРЕНИЯ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

с 345(04)
В-852

ТРУДЫ
ЧЕТВЕРТОГО ВСЕСОЮЗНОГО
СОВЕЩАНИЯ
ПО УСКОРИТЕЛЯМ
ЗАРЯЖЕННЫХ
ЧАСТИЦ

(Москва, 18—20 ноября 1974 г.)

Том II

100542

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1975

73. НУКЛОТРОН - УСКОРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР В ЛВЭ ОИЯИ

А.М. Балдин, Б.В. Василишин, Е.И. Дьячков, А.Г. Зельдович, Д.П. Зиновьев, И.Б. Иссинский, А.Д. Киржлов, Е.М. Кулакова, Д.Г. Макаров, А.И. Михайлов, И.Н. Семеновичи, А.А. Смирнов, В.Л. Степанюк, В.А. Михайлов
Объединенный институт ядерных исследований

В.П. Белов, Ю.П. Вахрушин, В.А. Глухих, О.А. Гусев, Л.Б. Динабург, В.М. Кофман, И.А. Мовалевский, Н.А. Мосозон, В.П. Надгорный, Б.В. Рождественский, И.Д. Финкельштейн, И.А. Шукейло

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры

им. Д.В. Ефремова

Л.Н. Зацев

Московский инженерно-физический институт

Новое научное направление - релятивистская ядерная физика, возникшее и развиваемое в ЛВЭ ОИЯИ [1], имеет хорошие перспективы, обеспечивая не только нетривиальный подход к наиболее острым проблемам физики элементарных частиц (множественные процессы, проблемы структуры частиц и др.), но и важные практические применения. Дальнейший прогресс в изучении этой области во многом определяется возможностями получения релятивистских ядер в широком диапазоне энергий и масс. Ниже приводятся характеристики разрабатываемого сверхпроводящего жесткофокусирующего ускорителя релятивистских ядер и протонов - Нуклотрона, который в будущем заменит синхрофазотрон ОИЯИ. Реализация этого предложения, сделанного совместно с РАН СССР [2], позволит получить широкий спектр пучков: релятивистские ядра средних масс с энергией до 16 ГэВ на нуклон, а также даст возможность на основе кумулятивного эффекта иметь вторичные пучки с энергией вплоть до ~ 100 ГэВ, протоны с энергией до 32 ГэВ, интенсивный монохроматический пучок нейтронов с регулируемой энергией и др. Пучки Нуклотрона также найдут применение в решении ряда медико-биологических и других проблем.

Общее описание ускорительного комплекса

При сооружении Нуклотрона будут использованы имеющиеся помещения, инжектор и часть оборудования синхрофазотрона, что приведет к сокращению сроков строительства и к его удешевлению. Конечная энергия ускоренных ядер определяется периметром существующего кольцевого помещения (~ 250 м) и реально достижимой в настоящее время индукцией магнитного поля ($B = 5$ Т) в сверхпроводящих магнитах синхротронов, изготовленных из сплава Nb-Ti, и составляет 15,6 ГэВ/нуклон. В дальнейшем, по мере промышленного освоения новых сверхпроводящих сплавов, возможно увеличение энергии путем замены магнитов.

Ядра с атомным весом A до 14 и $A/Z \leq 2$, полученные в источнике, разработанном в ЛВЭ [3], будут ускоряться в существующем линейном ускорителе до энергии 12,7 МэВ/нуклон. Эмиттанс пучка из линейного ускорителя $\epsilon_{x,z} \approx 5$ см.мрад. Проектную интенсивность 10^{11+12} ядер/з.цикл при токе инжектора 20 мА можно обеспечить за счёт многооборотной инжекции в Нуклотрон. Соответствующий этой интенсивности

аксептанс камеры (~ 30 см. мрад) требует больших апертур. Кроме того, при конечной индукции $\sim 5T$ "замороженные" остаточные поля затрудняют обеспечение обычных для синхротронов допусков, если начальная индукция меньше $0,2T$. В силу этого ускорение целесообразно производить в двух магнитных кольцах. Оба кольца имеют одинаковые радиусы и структуры ФODO с разделенными функциями поворота и фокусировки и расположены в цокольном этаже здания синхрофазотрона одно над другим (рис.1). Они состоят из 8 суперпериодов, каждый из которых включает в себя 8 квадрупольей, 6 дипольей и 2 прямолинейных промежутка длиной по 3,4 м. Частоты бетатронных колебаний в кольцах равны $Q_{x,y} = 6,75$, а кратность ускорения - 4. Первое кольцо - промежуточное кольцо ускорителя (ПКУ) - выполнено из обычных электромагнитов, имеет большую апертуру при сравнительно низком магнитном поле и позволяет ускорить ядра до промежуточной энергии $\sim 0,53$ ГэВ/нуклон.

Ускоренный в ПКУ пучок будет выводиться в существующий экспериментальный зал с энергией от 50 до 500 МэВ/нуклон и использоваться для экспериментов или раз в 15 сек переводиться в основное кольцо ускорителя (ОКУ), выполненное из сверхпроводящих магнитов и линз с малой апертурой. В ОКУ пучок ускоряется до конечной энергии 15,6 ГэВ/нуклон и выводится в сооружаемый в настоящее время экспериментальный зал (рис.1). Основные характеристики ПКУ и ОКУ приведены в табл.1, а модули функций Флоке и Ψ - функция на суперпериоде ОКУ - на рис.2.

Т а б л и ц а 1

Наименование	Размерность	ПКУ	ОКУ
Энергия инъекции	ГэВ/нуклон	0,0127	0,53
Максимальная энергия	ГэВ/нуклон	0,53	15,6
Средний радиус	м	39,72	39,72
Число бетатронных колебаний		6,75	6,75
β -функция, максимальная	м	12,8	12,8
β -функция, минимальная	м	2,9	3,05
Максимальное значение Ψ - функции	м	4,21	3,70
Число периодов		32	32
Длительность ускорения	сек	0,5	6
Поле инъекции	T	0,084	0,34
Максимальное поле	T	0,61	5,0
Градиент линз при инъекции	T/м	0,567	5,28
Максимальный градиент	T/м	4,1	77,8
Эмиттанс пучка при инъекции	ϵ_x	30 π	3 π
	ϵ_z	5 π	0,8 π
Эмиттанс пучка в конце ускорения	ϵ_x	3 π	0,2 π
	ϵ_z	0,5 π	0,03 π
Разброс по импульсам в начале ускорения	%	$\pm 0,45$	$\pm 0,05$
Апертура дипольных магнитов $x \times z$	см	19x9	\emptyset 8
Апертура квадрупольных магнитов $x \times z$	см	\emptyset 19	\emptyset 8
Эффективная длина дипольных магнитов	м	1,60	2,90
Эффективная длина квадрупольных магнитов	м	0,576	0,45
Количество ускоряющих станций		1	1
Амплитуда ускоряющего напряжения	кВ	7	10
Диапазон частот ускоряющего напряжения:			
протоны	МГц	0,78 \pm 4,44	4,44 \pm 4,8
ядра	МГц	0,38 \pm 3,68	3,68 \pm 4,8

Медленный вывод из ОКУ предполагается осуществить в вертикальной плоскости на квадратичном резонансе $3Q_x = 20$ с эффективностью $\sim 94\%$ и длительностью (0,5+5) сек. Быстрый вывод из ОКУ и ПКУ производится на традиционной схеме [4]. Для медленного вывода из ПКУ предполагается применить резонанс $3Q_x = 20$. Схема разводки первичных и вторичных пучков в экспериментальных залах приведена на рис.1.

Согласно расчётам [5] при интенсивности $\sim 10^{12}$ протонов/цикл и эффективности вывода $\sim 94\%$ требуется радиационная защита толщиной 1200 г/см².

Сверхпроводящие магниты ОКУ. Криогенные системы

Сверхпроводящие обмотки дипольных и квадрупольных магнитов [6] предполагается выполнить в виде ряда концентрических слоев с распределением обмоточного провода по слоям, обеспечивающим требуемую форму поля (рис.3) в рабочей апертуре. Обмоточный провод представляет собой обмотку двухслойную скрутку из 11 проволок диаметром 0,92 мм, которая имеет размеры 9,2x1,6 мм. Сверхпроводящая проволока содержит 3000 нитей диаметром ~ 10 мкм, выполненных из ниобий-титанового сплава HT-50. Матрица проволоки сложная, состоит из меди и мельхиора. Между слоями обмотки магнитов имеются кольцевые каналы для циркуляции гелия. Предусмотрена возможность коррекции магнитного поля с помощью специальных обмоток, размещенных снаружи апертурной трубки магнитов. Лоренцевские усилия, возникающие в обмотках, воспринимаются наружными разреженными по длине магнитов бандажами и передаются на внутреннюю поверхность магнитопровода. Внутренний диаметр и толщина магнитопровода выбраны такими, чтобы исключить зависимость характеристик поля от насыщения железа. Предполагается каждые 6 дипольных и 7 квадрупольных магнитов суперпериода разместить в одном криостате.

Т а б л и ц а 2

Наименование	Размерность	Дипольный магнит	Квадрупольный магнит
Максимальное поле	Т	5 ^{х)}	5
Максимальный рабочий ток в скрутке	А	2400	2400
Длительность нарастания поля	сек	6	6
Минимальная длительность цикла	сек	14	14
Индуктивность	Г	0,1	0,0075
Запасаемая энергия	кДж	300	22
Тепловыделение в обмотке за цикл	Дж	280	50
Тепловыделение в железе за цикл	Дж	120	20
Длина сверхпроводящей проволоки	км	22	3
Вес экрана	кг	3500	170
Пиковая мощность всех магнитов	МВт		5,1
Максимальная запасаемая энергия во всех магнитах	МДж		15,8
Суммарная длина сверхпроводящей проволоки на все магниты	км	1308	
Общий вес магнитопровода	т	180	

х) В рабочей апертуре

Термостатирование сверхпроводящих магнитов ОКУ на температурном уровне 4,4+4,5^к и предварительное охлаждение их до рабочей температуры осуществляется криогенной станцией. Она спроектирована из расчёта компенсации динамических тепловыделений и статических теплопритоков в 13 ватт на 1 метр длины магнита. Станция

включает в себя три рефрижератора мощностью по 1,5 кВт каждый при 4,3°K. Две из них рабочие и обслуживают по четыре суперпериода ОКУ, один – резервный и пусковой. Блоки охлаждения рефрижераторов размещены в центре кольца. Блоки очистки, компрессии и хранилище для газообразного гелия находятся вне радиационной зоны. Для охлаждения радиационных экранов криогенных систем предусмотрены две холодильно-газовые машины ХГМ 9000/80 мощностью 9 кВт при 80°K. Основные параметры сверхпроводящих магнитов приведены в таблице 2.

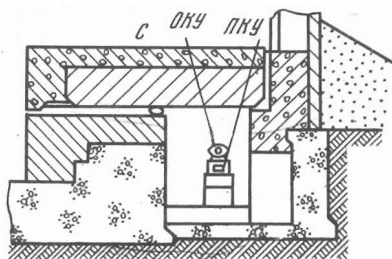
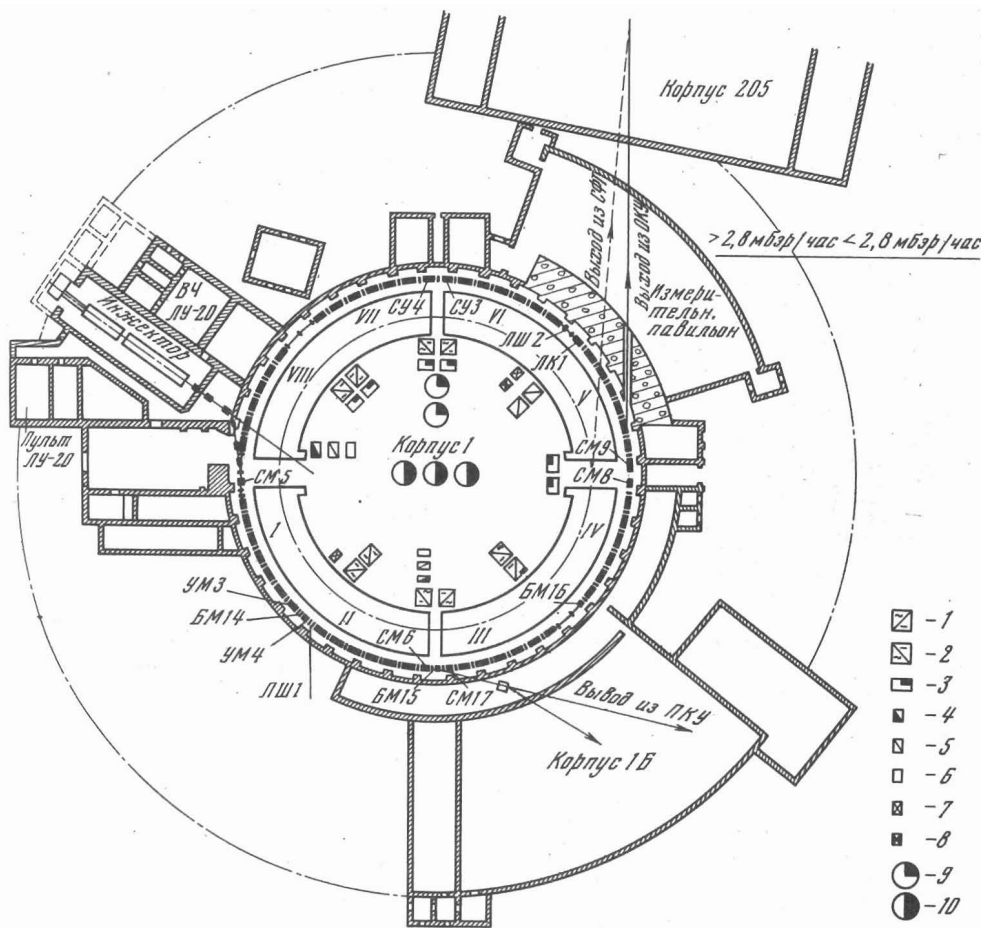


Рис. 1. Общая схема Нуклотрона

С – сечение туннеля с защитой; СУ – ускоряющие станции; СМ – септум-магниты; УМ – ударные магниты; БМ – бамп-магниты; ЛШ – шестипольные линзы; ЛК – квадрупольные линзы; 1, 2 – источники питания ОКУ; 3 – источники питания УС; 4 – источники питания СМ; 5 – источники питания УМ; 6 – источники БМ; 7 – источники питания ЛШ; 8 – источники питания ЛК; 9 – емкость жидкого гелия; 10 – рефрижераторы

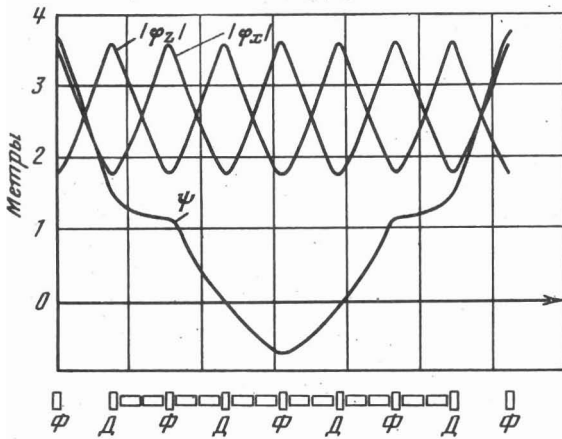


Рис. 2

Рис. 2. Функции Флоке $|\varphi_{xz}|$ и ψ - функция на суперпериоде ОКУ

Рис. 3. Поперечное сечение квадрупольного магнита ОКУ

1 - наружный силовой каркас; 2 - внутренний силовой каркас; 3 - железный экран; 4 - каналы для протока охлаждающего гелия; 5 - корректирующая обмотка; 6 - обмотка возбуждения; 7 - вакуумный объем; 8 - азотный экран; 9 - местные контактные соединения

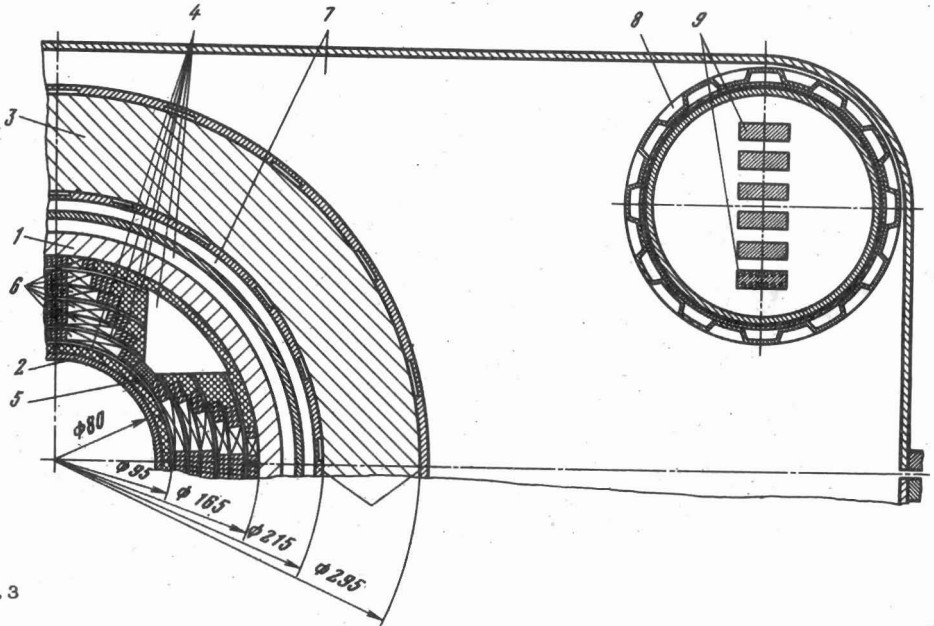


Рис. 3

Л и т е р а т у р а

1. А.М.Баддин, ОИЯИ, Р7-5808, Дубна, (1971).
2. В.П.Алексеев, А.М.Баддин, А.А.Васильев и др. ОИЯИ, 9-7148, Дубна, (1973).
3. Е.Д.Донец и др.: ОИЯИ, Р7-4469, Дубна, (1969).
4. R. Bertolotto et al. Труды Международной конференции по ускорителям. Дубна, 1963г. М., Атомиздат, 1964, стр.669.
5. Л.Н.Зайцев и др., ОИЯИ, Р16-6185, Дубна, (1972).
6. Б.Н.Луков, В.Н.Лебедев, НИИ ЭФА, Б-0163, Ленинград, (1972).