

СЗ45е6

Р- 598

4/√-65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна 1965

2077



В.Г. Рогозинский, Е.И. Розанов

ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ  
БОЛЬШИХ ЦИКЛОТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ОИЯИ

Представлено в качестве доклада на совещание  
по физике и технике высокого вакуума  
Физического общества ГДР, Дрезден 1965

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1965

3132/3  
чр.

В.Г. Рогозинский, Е.И. Розанов

ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ  
БОЛЬШИХ ЦИКЛОТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ОИЯИ

Представлено в качестве доклада на совещание  
по физике и технике высокого вакуума  
Физического общества ГДР, Дрезден 1965

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
ОИЯИ  
1965

Современные крупные циклотроны и синхроциклотроны являются сложными электрофизическими установками с большими вакуумными объемами и мощными высоковакуумными насосами<sup>/1/</sup>.

Представляется интересным сделать совместный обзор вакуумных систем синхроциклотрона на 680 Мэв<sup>/2/</sup> и циклотрона многозарядных ионов У-300<sup>/3-5/</sup> на основе опыта их многолетней работы в Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Эти два ускорителя, являющиеся, каждый в своем классе, одними из крупнейших ускорителей в мире, достаточно близко подходят друг к другу, как по характеру физических явлений в вакууме, так и по методам и техническим средствам получения динамического высокого вакуума.

Опыт получения вакуума в синхроциклотроне и циклотроне У-300 является основой для разработки вакуумной системы проектируемого релятивистского циклотрона ОИЯИ<sup>/6/</sup>.

Основные характеристики ускорителей и их вакуумных систем приводятся в таблице 1 и таблице 2.

Степень высокого вакуума в ускорителях определяется необходимостью обеспечения электрической прочности высоковольтных промежутков и уменьшения потерь частиц в процессе ускорения. В первую очередь вакуумные условия определяют начальные условия ускорения, так как давление у шели ионного источника и далее на расстоянии нескольких сантиметров от нее выше среднего давления в камере. Здесь, вследствие относительно малой скорости ускоряемых частиц, наиболее велики их потери за счет рассеяния и перезарядки на остаточном газе<sup>/1/</sup>. Одновременно затрудняется поддержание высоких потенциалов на ускоряющих и фокусирующих электродах, ввиду возникновения осцилляционного разряда в магнитном поле.

Плазменный разряд или высоковольтный пробой возможен на любом участке, находящемся под высоким потенциалом, особенно при локальном ухудшении вакуума или увеличении среднего давления в камере выше  $2 \cdot 10^{-5}$  тор. Даже при давлениях ниже  $1 \cdot 10^{-5}$  тор может возникать низковольтный резонансный высокочастотный разряд (РВР), являющийся инициатором плазменного разряда<sup>/7,8/</sup>. В нетренированной системе развитие разрядов способствует выделению адсорбированных газов и интенсивное разложение масляных пленок на поверхности электродов. В процессе тренировки происходит графитизация электродов, способствующая подавлению РВР<sup>/8,10/</sup>.

При значительном постоянном натекании масла наблюдается необходимость повторной тренировки, даже после короткого выключения ускоряющего напряжения. Подобное

явление особенно часто наблюдалось при масляном охлаждении ротора вариатора частоты синхротрона. Переход на охлаждение дистиллированной водой значительно увеличил электрическую прочность резонансной системы и стабильность процесса ускорения.

В плазменном столбе ионного источника также происходит разложение паров масла. В синхротроне обнаруживается графитизация на участках прямой видимости открытого столба источника. Во избежание уменьшения электрической прочности необходимо экранирование изоляторов.

Консистентная смазка подвижных узлов является одним из источников паров, но основной вклад вносит обратный поток паров масла из вакуумных насосов.

Необходимость поддержания высоких напряжений на дуантах и электростатическом дефлекторе циклотрона У-300, казалось бы, требует не только достаточно высокого вакуума, но и минимального проникновения паров масла в камеру. Для максимального снижения обратного потока паров в насосах циклотрона У-300 применены жалюзийные ловушки. Предполагалось охлаждение ловушек до  $-130^{\circ}\text{C}$ , для чего требовалось создание сложной системы непрерывной дистанционной подачи жидкого азота. Однако опытным путем было определено, что устойчивая работа циклотрона сохраняется при повышении температуры ловушек до  $-15 - -20^{\circ}\text{C}$ . Это дало возможность перейти на охлаждение ловушек автономными фреоновыми установками, впоследствии замененными централизованной системой охлаждения с использованием водного раствора  $\text{CaCl}_2$  в качестве промежуточного теплоносителя.

Конструкция вакуумных камер обеспечивает хорошую герметичность при аккуратной сборке. Дефекты обнаруживаются гелиевыми масс-спектрометрическими течеискателями. Следует учитывать, что динамическая чувствительность течеискателей резко снижается при давлениях в больших объемах выше  $10^{-1}$  тор. Для сокращения времени обнаружения и ликвидации течей необходимо предварительное испытание монтируемых узлов, в частности, коммуникаций водяного охлаждения.

Общая эффективная скорость откачки выбрана с достаточным резервом, обеспечивающим процесс ускорения даже при наличии слабых разрядов, а также при появлении случайных или трудноустраняемых небольших течей, в том числе водяных. Производительные газобалластные насосы предварительной откачки <sup>/11/</sup> и высоковакуумные агрегаты обеспечивают достаточно быстрое восстановление высокого вакуума как в аварийных случаях, так и после напуска атмосферы для экспериментальных работ или настройки ускорителя на другой режим. Так, например, при исследовании фокусировки пучка <sup>/12/</sup> на синхротроне в течение полутора месяцев было произведено около 30 циклов напуска атмосферы с последующей откачкой до рабочих условий.

В циклотроне У-300 при откачке производится дополнительное обезгаживание поверхностей резонансной системы нагревом дистиллированной водой при  $70^{\circ}\text{C}$ , подаваемой в трубки охлаждения. Этим достигается сокращение времени откачки до рабочего вакуума и ВЧ тренировки.

Вакуумные агрегаты снабжены системой электроавтоматики с дистанционным управлением и контролем. Включение насосов и открытие клапанов заблокировано с приборами измерения вакуума. Форвакуум надежно контролируется теплоэлектрическими манометрами. Высокий вакуум измеряется электронными ионизационными манометрами, срок службы датчиков составляет несколько сотен часов. Магнитные электроразрядные манометры используются на циклотроне У-300 для блокировки по вакууму. Ввиду воздействия рассеянного магнитного поля в условиях синхродиклотрона магнитные манометры работают нестабильно, для блокировки используются приставки к электронным манометрам. Применение радиоактивных манометров ограничено наличием сильного излучения ускорителей.

Доступа к ускорителям и расположенным в помещении ускорителя агрегатам и приборам во время процесса ускорения нет. Высокий уровень наведенной радиоактивности на камере и агрегатах синхродиклотрона ограничивает доступность к ним и после прекращения ускорения в течение длительного времени, определяемого процессами распада. В результате увеличения тока ускоренного пучка до  $2\text{ мкА}^{/13/}$  даже через несколько недель после выключения синхродиклотрона время пребывания у вакуумных агрегатов ограничено санитарными нормами до 1-2 часов в день, а у вакуумной камеры и особенно внутри ее составляет несколько минут<sup>/14/</sup>.

Усовершенствование синхродиклотрона направлено на дальнейшее повышение интенсивности. Камера оснащается новым оборудованием с высоковольтными вводами, протяженной системой водяного охлаждения и эпоксидными изоляционными покрытиями<sup>/15/</sup>. В этих условиях необходимо совершенствование параметров и надежности вакуумного оборудования.

Вакуумные системы синхродиклотрона и циклотрона У-300 обеспечивают поддержание динамического рабочего вакуума без существенных простоев в течение нескольких месяцев между остановками ускорителя на ремонт. Снижение обратного потока паров масла в объем при сохранении высокой эффективной скорости откачки, обеспечение стабильной работы вакуумных агрегатов при ограниченной доступности, являются задачами дальнейшего совершенствования вакуумных систем мощных ускорителей циклотронного типа.

Принципиально новые проблемы возникли при разработке физического обоснования и технического проекта вакуумной системы релятивистского циклотрона ОИЯИ. Предполагается использование внутри камеры корректирующих обмоток<sup>/18/</sup> с изоляционным

покрытием большой площади, газовыделение с которой может быть значительным вследствие нагрева и воздействия мощных потоков ионизирующего излучения<sup>/17,18/</sup>. Нейтронные потоки могут влиять также на уплотнения многочисленных вводов токовых и охлаждающих коммуникаций, надежность их конструкции может быть определяющей в достижении необходимой герметичности. Излучение может влиять на параметры высоковакуумных насосов; доступность последних даже при выключенном ускорителе резко ограничивается, потребуется система защитных экранов и дистанционных манипуляторов для возможности обслуживания. В этих условиях требуется выбрать рациональное размещение высоковакуумных насосов с целью обеспечения достаточно эффективной скорости откачки и высокой надежности при длительной работе. Предположительно могут быть использованы мощные диффузионные паромасляные насосы. Вспомогательные агрегаты безусловно должны быть удалены в изолированные помещения, но без снижения их эффективности.

Особую проблему может представлять осуществление в циклотронных ускорителях режима ускорения поляризованных протонов<sup>/19/</sup>, что потребует получения вакуума  $10^{-8}$  -  $10^{-7}$  тор, практически свободного от водородосодержащих фракций. В этом случае наиболее рационально использование сорбционно-ионных насосов с предварительной откачкой объема двухроторными насосами<sup>/20-22/</sup>. Конструкция должна соответствовать требованиям, необходимым для получения очень высокого вакуума.

#### Л и т е р а т у р а

1. Е.Г. Комар. Ускорители заряженных частиц. М. Атомиздат, 1964.
2. Д.В. Ефремов и др. Атомная энергия, 4, 5 (1956).
3. И.Ф. Малышев, В.Г. Рогозинский. Препринт ОИЯИ, 1398, Дубна, 1963.
4. А.С. Пасюк и др. ПТЭ, 1963, № 5, 23.
5. Г.Н. Флеров, В.А. Карнаухов. Препринт ОИЯИ, Д-1798, Дубна, 1964.
6. А.А. Глазов и др. Труды международной конференции по ускорителям. Дубна, 1963 г., М., Атомиздат, 1964, стр. 547.
7. R. Bock u.a. Zschr. für angewandte Physik, 10, 2, 49 (1958).  
Русский перевод: Атомная техника за рубежом, 1959, № 2, 48.
8. Б.А. Загер, В.Г. Тишин. ЖТФ, XXXIII, 1121, 1963.
9. Б.А. Загер, В.Г. Тишин. ЖТФ, XXXIV, 287, 1964.
10. Б.А. Загер и др. ПТЭ, 1963, № 2, 20.
11. В.Г. Рогозинский. ПТЭ, 1961, № 3, 182.
12. В.И. Данилов и др. Препринт ОИЯИ, Р-1853, Дубна, 1964.

13. В.И. Данилов, Е.И. Розанов и др. Труды международной конференции по ускорителям. Дубна, 1963 г. М., Атомиздат, 1964, стр. 591.
14. М.М. Комочков. Препринт ОИЯИ, Р-1349, Дубна, 1963.
15. В.И. Данилов, Е.И. Розанов и др. Препринт ОИЯИ, Р-1985, Дубна, 1965.
16. В.П. Дмитриевский и др. Труды международной конференции по ускорителям. Дубна, 1963 г. Атомиздат, 1964, стр. 556.
17. Г.М. Мартюгов, П.А. Фефелов. Сб. Электрофизическая аппаратура, вып. 2, Атомиздат, 1964, стр. 160.
18. И.М. Майофис. Радиоактивное облучение электронизолирующих материалов. Обзор, М. ЦБТИ, 1959 г.
19. R. Keller. *Projet d'une source d'ions polarises*. CERN, 57-30.
20. Д.В. Каретников и др. Линейные ускорители ионов. Госатомиздат, 1962, стр. 184-185.
21. Giordano S. IRE. *Intern. Conv. Rec. part 9, March 21-24 (1960)*.
22. C.L. Gould, *First Intern. Congress on Vakuun, Namur, 1958*.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 марта 1965 г.



Т а б л и ц а 1

Х а р а к т е р и с т и к а	Ед. изм.	Синхроциклотрон	Циклотрон У-300	Релятивистский циклотрон (проект)
Диаметр полюса магнита	см	600	310	700
Вакуумная камера: объем	м <sup>3</sup>	35	70	65
площадь поверхностей в вакууме	м <sup>2</sup>	300	800	
Ионный источник		открытый	закрытый	закрытый
Расход газа	см <sup>3</sup> аг/мин	10-20	0,5-3	
Ускоряемые частицы		р ( d, a )	Ne <sup>+4</sup> , Ar <sup>+8</sup> и др.	р
Предельная энергия	Мэв	680, (420, 840)	140, 300	700
Ток внутреннего пучка	мкА	2, (0,1; 0,001)	50,2 2	500
Напряжение на дуанте	кВ	20-25	150-200	100
Ч а с т о т а	МГц	13,5 - 26	3 - 6	12,05

Т а б л и ц а 2

Х а р а к т е р и с т и к а	Ед.измер.	Синхроцикло- трон	Циклотрон У-300
Насосы предварительной откачки		ВН-6, 2 шт	ВН-6, 1 шт
время откачки камеры	час	1-1,5	1,5-2
до давления	тор	(2 - 5).10 <sup>-2</sup>	5.10 <sup>-2</sup>
Высоковакуумные агрегаты		М-4(ВА-40),Н-15	ВВА-20-2а
количество	шт	2 1	5
Скорость откачки одного агрегата:			
эффективная (на камере)	л/сек	16000,4000	8000
номинальная (до ловушки)	л/сек	40000,10000	20000
Рабочая жидкость двухступенчатых диффузионных насосов		ВМ-1	ВМ-1
Бустерные насосы		Б-3, Б-2	БН-3М
Форвакуумные насосы		ВН-4Г	ВН-4Г
Ловушки		цилиндрические	жалюзийные
Теплоноситель		фреон-12 или водный р-р CaCl <sub>2</sub>	Водный р-р CaCl <sub>2</sub>
температура	°С	-10 - -20	-15 - -20
предельно-допустимая температура	°С	0- -5	-5 - -10
Общая эффективная скорость откачки	л/сек	36000	25000
Натекание в объем камеры	л.мтор/сек	10	20
Предельный вакуум	тор	1,5.10 <sup>-6</sup>	2,5.10 <sup>-6</sup>
Рабочий вакуум	тор	5.10 <sup>-6</sup> -1.10 <sup>-5</sup>	5.10 <sup>-6</sup> -1.10 <sup>-5</sup>
Время откачки до рабочего вакуума:			
после длительного простоя под атмосферным давлением	час	12-24	24
после короткого простоя	час	4-8	4-8