

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
СО АН СССР

2

В.Л.Ауслендер, Г.Б.Глаголев, В.Н.Лазарев,
А.А.Лившиц, Ю.В.Маклаков, В.Н.Осипов

**ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА
СИНХРОТРОНА Б - 5**

ПРЕПРИНТ ИЯФ 79 - 5

Новосибирск

ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА СИНХРОТРОНА Б-5

В.Л.Ауслендер, Г.Б.Глаголев, В.Н.Лазарев,
А.А.Лившиц, Ю.В.Маклаков, В.Н.Осипов

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе описаны вакуумные требования в синхротроне Б-5 для ускорения протонов, многозарядных ионов и конструкция вакуумной системы. Приведены экспериментальные результаты удельного газовыделения используемого эпоксидного компаунда и стеклотекстолита СТЭФ, а также результаты предварительного получения вакуума.

Показано, что вакуум $5 \cdot 10^{-7}$ торр не является предельным для данного ускорителя.

ТРЕБОВАНИЯ К ВАКУУМНЫМ УСЛОВИЯМ СИНХРОТРОНА

Для получения большой средней величины тока ускоренных ионов при заданной интенсивности инжектора (ограничение по интенсивности источника многозарядных ионов) желательно иметь большую частоту повторения циклов ускорения. Малое время ускорения уменьшает требования к вакуумным условиям, но делает невозможным применение металлических камер. Использование керамической камеры приводит к увеличению апертуры магнита и, следовательно, размеров ускорителя, усложняет конструкцию, увеличивает потребляемую мощность, что в итоге, приводит к резкому увеличению стоимости всего ускорителя.

Реализованные проекты Корнелиевского электронного синхротрона /1/ и быстрого бустера *NAL* /2/ показывают принципиальную возможность получения вакуума порядка $5 \cdot 10^{-7}$ торр при размещении магнита внутри вакуумной камеры.

При ускорении протонов требования к давлению остаточных газов определяются процессами упругого рассеяния на ядрах остаточного газа, так как сечения неупругих, включая ядерные взаимодействия и перезарядку протонов при энергии ~ 1 МэВ, намного меньше (до 7 порядков) сечения упругого или резерфордского рассеяния. Расчеты и практика работы протонных ускорителей показывают, что давление в апертуре порядка $5 \cdot 10^{-6}$ торр вполне достаточно для ускорения без существенных потерь пучка протонов.

При ускорении многозарядных ионов ослабление интенсивности пучка в основном происходит в результате перезарядки ионов на тяжелых атомах остаточного газа. При этом часть ионного пучка изменяет свой заряд и выходит из процесса ускорения. Необходимо отметить, что потери будут происходить в начале ускорения, где скорости ионов меньше, чем скорости электронов на K - оболочке атома.

В работе /3/ приведен последовательный расчет функции сохранения для ядер O^{+8} , Ne^{+10} , Ar^{+18} при различных режимах ускорения ионов, разных парциальных давлениях компонент остаточного газа и общем давлении. Из результатов работы следует, чтобы функция сохранения имела значение в пределах 0,1 - 1 при энергии инжекции 0,8 МэВ/нук. средний вакуум по длине орбиты должен быть не

хуже $5 \cdot 10^{-7}$ торр, если тяжелые примеси остаточного газа составляют не больше 30-40%.

Ниже приведены результаты вакуумных испытаний синхротрона, показывающие что указанная величина вакуума вполне достижима при незначительной реконструкции откачных средств и улучшении технологии получения вакуума.

КОНСТРУКЦИЯ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ СИНХРОТРОНА Б-5

Сечение синхротрона Б-5 с откачным агрегатом представлено на рис. I. Внутри вакуумного кожуха 1, изготовленного из нержавеющей стали, укреплена магнитная система 2, состоящая из шихтованных пакетов стали. Пакеты пластин монолитно вклеены эпоксидным компаундом в рубашку квадранта. Четырехвитковая обмотка 3 выполнена в виде цельной монолитной конструкции. Поверхность обмотки, обращенная в сторону пучка, покрыта аквадагом для удаления электрического заряда, возникающего при попадании пучка. Для откачки газа из апертуры в магнитопроводе имеются радиальные пазы шириной 27 мм и длиной по радиусу 120 мм. Общее количество пазов по периметру ускорителя 72.

Суммарная проводимость пазов и концов апертуры квадранта порядка $16,5 \cdot 10^3$ л/сек.

Прокладка 4 из стеклотекстолита является механическим компенсатором между обмоткой и пакетами пластин железа.

Основной откачкой агрегат состоит из шибера 5, сферической азотной ловушки 6, и диодного магниторазрядного насоса (НОРД-250). Проводимость шибера с переходниками ~ 1000 л/сек.

Ток потребления исправного агрегата с прогретым насосом при 7 кВ меньше 100 мкА.

Для откачки тяжелых компонент остаточного газа используются четыре распределенных азотных ловушки 8, изготовленных из нержавеющей стали диаметром 56 мм, расположенных над квадрантами. Объем газа поступающего на 1 см^2 поверхности не зависит от давления и для воздуха равен:

$$V = 300 \sqrt{\frac{T_{300}}{M_{\text{возд}}}} = 11,6 \text{ л/сек.см}^2$$

Для тяжелых молекул газа поверхность азотной ловушки является "черным телом" с коэффициентом прилипания 0,5 и для нашего случая скорость откачки распределенных ловушек $1 \cdot 10^4$ л/сек.

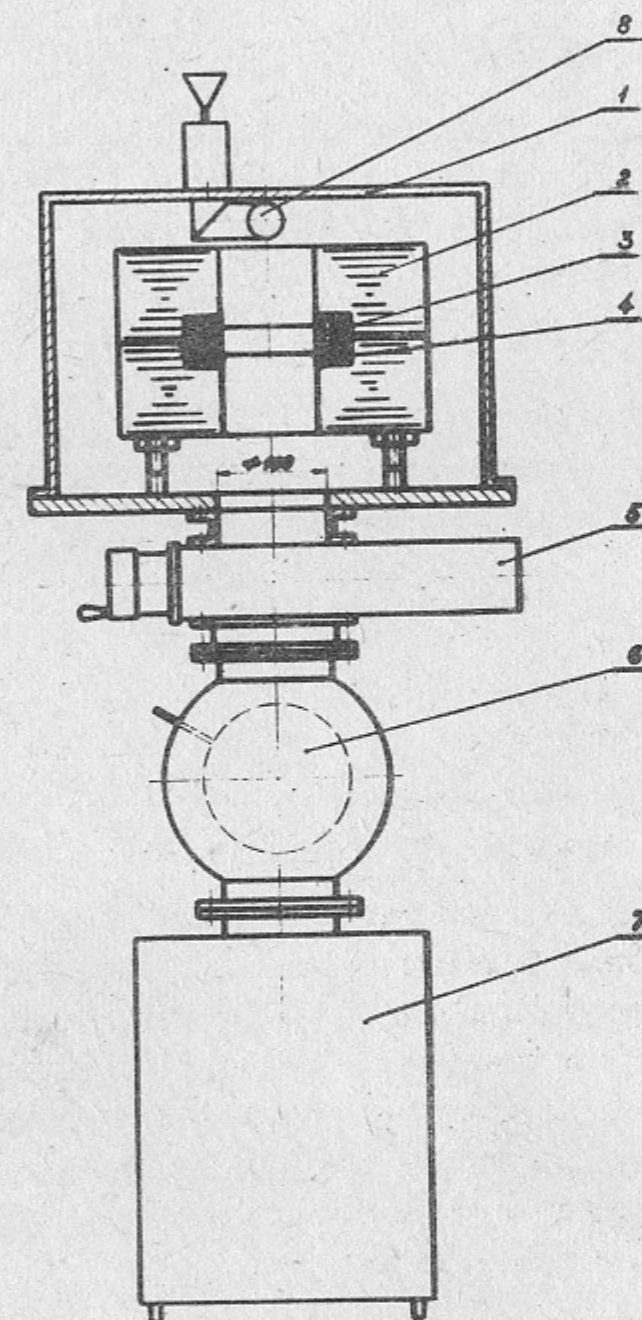


Рис. I. Конструкция вакуумной системы синхротрона Б-5.

В таблице I приведены площади поверхностей основных деталей и их материалов, десорбция с которых определяет давление в камере. Удельное газовыделение материалов, кроме СТЭФ и эпок-

сидного компаунда, взято из литературы /3/ с учетом обработки поверхностей.

Таблица I.

Наименование	Материал	$S \cdot \text{см}^2 \cdot 10^{-3}$	$\frac{g}{\text{сек} \cdot 10^{-3}}$	$Q \text{ л.торр} \cdot 10^{-3}$	% от общ. потока
Вакуумный кожух	I2X18H9T	$2,4 \cdot 10^2$	0,1	2,4	10
Рубашка магнита	I2X18H9T	$8,5 \cdot 10$	0,1	0,85	4
Фл. на прямол. промеж.	Д16Т	15	0,1	0,25	1
Полуса магнита	Сталь 34II	54	0,05	0,27	1
Эпок. смола на полюсах	Э. смола	1,5	1,5	0,225	1
Обмотки	Э. смола	52	1,5	7,5	32
Коромысло 128 шт.	стеклотекстолит	15	1	1,5	7
Боковая пов. пакетов	Э. смола	2,7	1,5	4	17
Прокладки	СТЭФ	40	1	4	17
Уплотнение	Вак. резина	2,5	6	1,5	7
Сварные швы	I2X18H9T	4,8	1	0,48	2

Суммарный поток газовыделения равен $2,3 \cdot 10^{-2}$ л.торр/сек.

Для определения удельного газовыделения стеклотекстолита и эпоксидного компаунда, применяемых в синхротроне Б-5 были произведены измерения на испытательном стенде. Измерялось газовыделение образцов без покрытия и покрытых аквадагом, как наиболее вероятным материалом покрытия для уменьшения газовыделения. Измерения производились после 140 часов вакуумирования. Результаты измерения приведены в таблице I. Образцы покрытые аквадагом выделяли вдвое меньше газа.

Малая величина удельного газовыделения объясняется технологией приготовления эпоксидного компаунда и условиями полимеризации.

Вакуумноплотный объем с пакетами электротехнической стали помещается в электропечь и прогревается при температуре 110° в течение 4-х часов. Затем объем подключается к вакуумной системе

и вакуумируется при остаточном давлении $5 \cdot 10^{-1}$ торр в течение 5 часов.

Эпоксидная смола в состоянии поставки прогревается при температуре 120° в течение 8 часов до прекращения активного выделения газовых пузырей. После смешивания в смешательном баке подготовленных компонент, компаунд вакуумируется при остаточном давлении $5 \cdot 10^{-1}$ торр. К моменту пропитки эпоксидный компаунд и форма с блоками должны иметь температуру $60-70^\circ$.

Прогретый компаунд подается через предварительно откачанный трубопровод в резиновый мешок и из мешка под давлением 2,5 атм. в объем с пакетами пластин. Компаунд в форме выдерживается по давлением не менее 2-х часов, после чего полимеризуется при температуре 120° в течение 24 часов.

Рецепт компаунда: эпоксидная смола ЭД-16 - 100 в.ч., дибутилфталат - 25 в.ч., малеиновый ангидрид - 2,2·К в.ч., где К - эпоксидное число партии смолы.

Газонатекание через неуплотнившиеся соединения, обнаружение которых производится течеискателем ПТИ-7 (чувствительностью = $5 \cdot 10^{-11}$ лит.торр/сек) можно пренебречь при условии, что количество мест натекания из атмосферы не больше 20, то есть, общий поток газонатекания равен $1 \cdot 10^{-9}$ л.торр/сек, что значительно меньше потока газовыделения из поверхностей деталей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ

После полной сборки синхротрона были проведены вакуумные испытания. При испытаниях для откачки использовались 6 откачных агрегатов, один диффузионный насос со скоростью откачки ~ 500 л/сек и две распределенные азотные ловушки.

Для измерения вакуума в кожухе синхротрона использовался манометрический датчик МИ-14, имеющий малую величину фототока по сравнению с другими ионизационными датчиками. Измерение вакуума в апертуре ускорителя производилось лампой ЛМ-2 без стеклянной колбы. Лампа была помещена в апертуру на расстоянии 20 см. от края квадранта, над которым использовалась распределенная

азотная ловушка. Для общего контроля и относительной калибровки применялась ионизационная манометрическая лампа расположенная в отдельном металлическом объеме, присоединенном к вакуумному кожуху через переходник.

По окончании периода пуско-наладочных работ был произведен прогрев синхротрона. Для равномерного нагрева всех узлов и деталей прогрев производился горячей водой подаваемой в систему охлаждения по замкнутому контуру. Время прогрева составляло 7 суток, из них — 60 часов температура воды и деталей была 70°C , при мощности нагревателя порядка 15 кВт. Откачка во время прогрева производилась откачными агрегатами, которые по окончании прогрева подвергались профилактике. Удаление конденсата на азотных ловушках производилось механическим способом с последующим прогревом агрегата штатным нагревателем насоса НОРД-250 с откачкой через форвакуумную магистраль.

Через 80 часов непрерывной откачки после нагрева лампа в манометрическом блоке показала давление $1 \cdot 10^{-6}$ торр, датчик МИ-14 расположенный в кожухе синхротрона $2 \cdot 10^{-6}$ торр. Лампа расположенная в апертуре $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ торр. После заливки азота в распределенные ловушки вакуум улучшился соответственно до $2 \cdot 10^{-7}$; $4 \cdot 10^{-7}$; $1 \cdot 10^{-6}$ торр.

Для выяснения факторов определяющих парциальный состав остаточного газа измерялся спектр газа при различных откачных средствах. Измерения производились прибором ИПДО-2.

В таблице II представлены результаты измерения с учетом чувствительности омегафона по различным газам.

Таблица II.

Условия измерения	давление торр	H_2^+	H_2O^+	N_2^+ CO^+	C_3H_5^+ $\text{Ar}^+, \text{C}_3\text{H}_7^+$	тяж. прим.
до прогрева, без азотных ловушек	$4 \cdot 10^{-6}$	25%	42%	12%	5%	16%
с прогревом без азотных ловушек	$2 \cdot 10^{-6}$	10%	48%	13%	5,7%	14%
с прогревом и азотными ловушками	$1 \cdot 10^{-6}$	24%	24%	17%	10%	25%

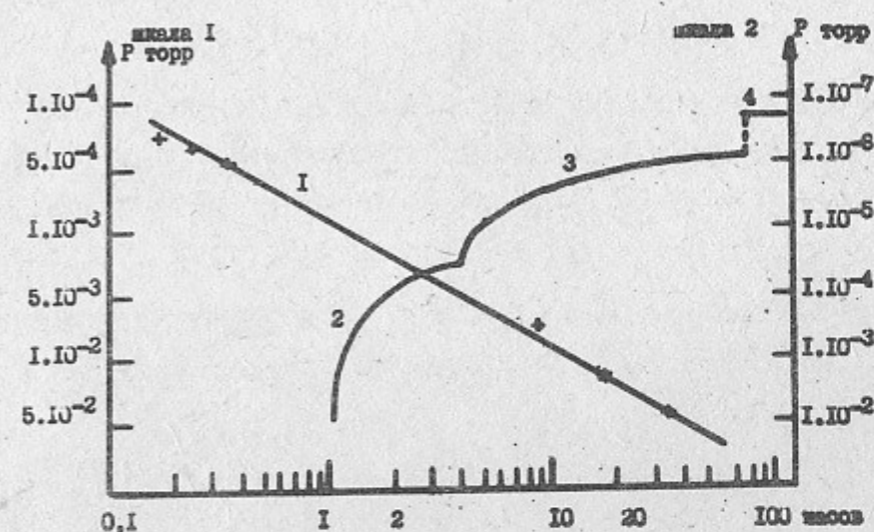


Рис.2. Увеличение давления в кожухе Б-5 при выключенных откачных агрегатах (шкала I линия I) и уменьшение давления во время откачки (шкала II — кривые 2, 3, 4).

Данные по тяжелым примесям и азоту могут быть завышены вследствие разложения сложных химических веществ на раскаленной вольфрамовой нити датчика. Из результатов таблицы II следует, что прогрев синхротрона обязателен и производить его следует при более высокой температуре ($90+100^{\circ}\text{C}$) в течение 100-200 часов.

На рис.2 приведена зависимость давления в кожухе, измеренное лампой в манометрическом блоке, от времени откачки. Линия II показывает уменьшение давления при откачки одним диффузионным насосом, линия III при откачке 6-ю откачными агрегатами в течение 74 часов. При заливке азота в распределенные ловушки вакуум улучшился до $2 \cdot 10^{-7}$ торр. (Линия 4). Линия I показывает увеличение давления в кожухе синхротрона при отключенных откачных агрегатах. Линейная зависимость увеличения давления в логарифмическом масштабе указывает на отсутствие течей.

Эксплуатация откачных агрегатов в период наладочных работ, а также эксперименты с отдельными агрегатами показали возмож-

ность работы агрегатов без шиберов. Замена шибера коротким переходником повысит производительность откачных агрегатов по тяжелым компонентам газа и воды в два-три раза.

Применение азотных ловушек на форвакуумной системе, замена масла ВМ-4 в диффузионном насосе на высокомолекулярное масло с низким давлением паров позволит получить средний вакуум на орбите синхротрона не хуже $5 \cdot 10^{-7}$ торр.

Авторы благодарят В.А.Терзова за труд по получению вакуума, а также Л.А.Мироненко за измерения спектрального состава остаточного газа.

Л и т е р а т у р а

1. *Boyce D., M. Davies. "Status of Cornell 10СЭV accelerator."*
Труды VII Международной конференции по ускорителям заряженных частиц высоких энергий. Ереван. 1969. Издательство Академии наук Армянской ССР, Ереван, 1970, том. I, стр. 95.
2. *R.R. Wilson. Proceedings of the 8-th international conference on high-energy accelerators. CERN 1971 (CERN, Geneva 1971) P. 3*
3. Шилов В.П., Девятко Н.И., Поздняков А.В., Определение требований к вакууму в камере синхротрона радиового Института. Препринт РИ-82. Л. 1977.
4. Глазков А.А. Вакуумные системы электрофизических установок. М., Атомиздат, 1975.

Работа поступила 27 декабря 1978 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов

Подписано к печати 22.02.79г. МН 07 347

Усл. 0,8 печ.л., 0,6 учетно-изд.л.

Тираж 200 экз. Бесплатно

Заказ №5

Отпечатано на ротопринтере ИЯФ СО АН СССР.