

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

9-86-160

**И.С.Дмитриев\*, А.И.Пикин**

**АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ  
ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ "Нуклотрона"**

---

\* Научно-исследовательский институт  
ядерной физики МГУ, Москва

**1986**

I. ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ДАВЛЕНИЮ В ВАКУУМНОМ ТРАКТЕ  
"Нуклотрона"

В настоящей работе анализируются методы обеспечения вакуума, достаточного для ускорения ионов всех элементов таблицы Менделеева на разрабатываемом в ОИЯИ сверхпроводящем ускорителе "Нуклотрон"/1/.

Требования к давлению остаточного газа в области движения пучка многоядерных ионов определяются допустимым уровнем потерь от перезарядки при столкновениях ускоряемых ионов с молекулами остаточного газа. Если для ядер единственным процессом, приводящим к перезарядке, является подхват электронов из оболочки атома-мишени, то для ионов, имеющих электроны на своих оболочках, изменение заряда происходит также при отрыве электронов в столкновениях с молекулами остаточного газа. Поэтому при расчете потерь сечения подхвата и отрыва электронов суммировались.

Полные сечения перезарядки ионов урана  $U^{92+}$  и  $U^{70+}$  рассчитаны полумпирическим методом <sup>2,3)</sup>, и на основе этих сечений найдены потери ионов урана в среде азота при ускорении в "Нуклотроне" для скорости роста магнитного поля  $\dot{B} = 4 \text{ Тл/с}$ . В таблице приведены значения потерь пучков ионов урана  $U^{92+}$  и  $U^{70+}$  в процентах к первоначальной интенсивности ( $\Delta I = \frac{I_{\text{нач}} - I_{\text{кон}}}{I_{\text{нач}}} 100\%$ ) для двух значений энергии инжекции и двух значений давления азота в вакуумном тракте "Нуклотрона".

Таблица

	$U^{92+}$		$U^{70+}$	
$E_{\text{инж.}}$	5 МэВ/нукл.	10 МэВ/нукл.	5 МэВ/нукл.	10 МэВ/нукл.
$P=I \cdot 10^{-8} \text{ Тор}$	27%	7,1%	27%	16%
$P=I \cdot 10^{-9} \text{ Тор}$	3,1%	0,7%	3,1%	1,8%

Из приведенной таблицы видно, что достаточно хорошие условия ускорения как полностью ионизованных, так и 70-зарядных ионов урана обеспечиваются при давлении азота  $P = 1 \cdot 10^{-9}$  Тор. Эту величину, видимо, и следует считать отправной точкой при проектировании вакуумного тракта "Нуклотрона". Требования к давлению водорода и гелия существенно менее жесткие вследствие меньших значений сечений перезарядки на этих газах.

## 2. АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ "Нуклотрона"

Проблему обеспечения требуемого давления остаточного газа в объеме ускорения "Нуклотрона" будем рассматривать в рамках основной особенности магнитной системы этого ускорителя, которая заключается в использовании для обмоток магнитов с холодным магнитопроводом трубчатого сверхпроводника <sup>/4/</sup>. Такой метод термостабилизации сверхпроводника обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с магнитами, охлаждаемыми жидким гелием в криостате <sup>/5/</sup>. Основное преимущество метода термостабилизации сверхпроводника, примененного в "Нуклотроне", заключается в отсутствии криостата для жидкого гелия, что значительно сокращает затраты на изготовление ускорителя. Однако отсутствие жидкого гелия, который непосредственно омывает камеру в магнитах погружного типа <sup>/6/</sup>, требует иного подхода к обеспечению требуемого вакуума в объеме ускорения.

Поскольку магниты находятся при температуре, близкой к температуре жидкого гелия, и газовыделение их очень мало, основным каналом поступления молекул газа в объем ускорения является натекание из изоляционного объема через промежутки между магнитами и сквозь шихтованный магнитопровод (водород и гелий).

Проведем анализ трёх вариантов обеспечения требуемого давления остаточного газа ( $P = 1 \cdot 10^{-9}$  Тор) в объеме ускорения "Нуклотрона". Ограничимся рассмотрением вариантов, предусматривающих криогенную откачку объема ускорения.

А. Внутри магнитов размещена герметичная вакуумная камера, охлаждаемая жидким гелием (рис. 1а).

Б. Такая же камера, но охлаждается за счет контактов со стенками магнитов (рис. 1б).

В. Вакуумная камера как элемент конструкции отсутствует, объем ускорения герметизирован (рис. 1в).

Рассмотрим каждый из этих вариантов подробнее.

А. Очевидно, в этом варианте возможность получения требуемого давления  $P = 1 \cdot 10^{-9}$  Тор и даже значительно ниже сомнений не вызывает.

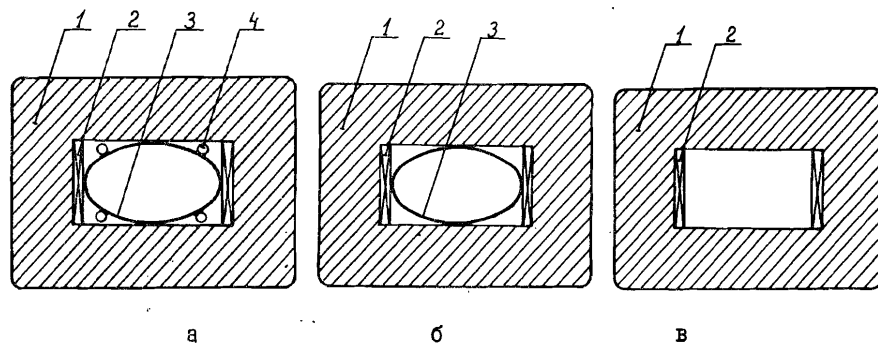


Рис. 1. Варианты создания герметичного объема ускорения внутри сверхпроводящих магнитов:

1- магнитопровод, 2- сверхпроводящая обмотка, 3- камера, 4- каналы охлаждения камеры жидким гелием.

Однако металлическая камера с каналами охлаждения вызовет искажения магнитного поля магнитов за счет токов Фуко, наводимых в материалах этих элементов. Кроме того, нагрев камеры токами Фуко будет дополнительной нагрузкой на рефрижератор. Проведем оценочный расчёт этого тепловыделения в предположении отсутствия каналов охлаждения для камеры круглого поперечного сечения по методике <sup>/7/</sup>:

$$P_{\text{труб}} = \pi r^3 \frac{\Delta r}{\rho} \dot{B}^2, \quad (I)$$

$P_{\text{труб}}$  - удельное тепловыделение в камере (Вт/м),

$\dot{B}$  - скорость изменения индукции магнитного поля (Тл/с),

$r$  - радиус камеры (м),

$\Delta r$  - толщина стенки камеры (м),

$\rho$  - удельное сопротивление материала камеры (для нержавеющей стали при температуре жидкого гелия  $\rho = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  <sup>/7/</sup>).

Положим  $r = 5 \cdot 10^{-2}$  м,  $\Delta r = 5 \cdot 10^{-4}$  м. Для цикла "Нуклотрона", при котором подъём и спад поля до величины  $B = 2$  Тл осуществляются за  $0,5$  с <sup>/1/</sup>, пиковое удельное тепловыделение, найденное по формуле (I), составит

$$P_{\text{труб.пик}} = 6,3 \text{ Вт/м.}$$

Если "стол" в цикле длится 1 с, среднее удельное тепловыделение составит

$$\bar{P}_{\text{труб}} = 3,15 \text{ Вт/м.}$$

Для всего "Нуклотрона" нагрев камеры явится дополнительной нагрузкой мощностью около 600 Вт при указанных параметрах цикла.

По нашему мнению, в этом случае теряется основное преимущество

ускорителя с трубчатыми магнитами, которое заключается в простоте, а значит, и в меньшей трудоёмкости его создания по сравнению с вариантом, где магниты погружены в жидкий гелий. К тому же дополнительный контур охлаждения снизит надёжность всего ускорителя.

Б. Этот вариант значительно проще, чем предыдущий. Герметизация объёма ускорения от изоляционного — обеспечена. Газоотделение с большей части поверхности вакуумной камеры практически исключено вследствие низкой температуры стенок камеры.

Недостатки варианта — те же, что и в предыдущем. Дополнительным недостатком является более высокая, чем в варианте "А", температура стенок камеры. Если рассчитывать на получение требуемого давления остаточных газов с помощью конденсации на холодной поверхности камеры, температура этих стенок должна составлять не более 25 К, потому что при более высокой температуре коэффициент "прилипания" молекул азота к поверхности резко падает<sup>/8/</sup>. В рассматриваемом температурном диапазоне практически единственным каналом теплоотвода является теплопередача через механический контакт камеры с холодными внутренними стенками магнитов. Теплопроводность такого контакта в вакууме определяется силой прижима контактирующих поверхностей<sup>/9/</sup>. Если камера изготовлена из стали, то для отвода мощности  $P = 3,15$  Вт/м, выделяющейся в камере от токов Фуко при разнице температур камеры и магнитов  $\Delta T \approx 10$  град, требуется создать и постоянно поддерживать силу прижима камеры к магнитам, равную  $F_{\text{приж}} = 3000$  кг/м, причём это усилие должно быть равномерно распределено по длине камеры. Указанная величина прижима относится к средней температуре камеры. В действительности вследствие импульсного характера нагрузки температура камеры будет нестабильна во времени.

Поскольку при проектировании величину теплового контакта камеры с магнитом определить очень трудно, так же трудно предсказать ожидаемую температуру камеры, а следовательно, сделать вывод: можно ли рассчитывать на криогенную откачку или необходимо предусматривать средства откачки традиционные.

В. Вариант В предусматривает герметизацию объёма ускорения от изоляционного путём создания такой конструкции магнитов и соединяющих их элементов, которая бы исключала диффузию газа в объём ускорения через промежутки между магнитами и через шихтованный магнитопровод. Исключить диффузию через щели между листами магнитопровода можно несколькими способами, например, проклейкой листов с помощью герметика или лака либо заключением всего магнитопровода в герметичный кожух. Чтобы исключить поступление газа в объём ускорения через промежутки между магнитами, в этих промежутках можно установить переходники, соединяющие внутренние объёмы соседних магнитов и герметизирующие их от

изоляционного объёма. Эти переходники должны допускать небольшие относительные перемещения магнитов в процессе юстировки.

Откачку водорода и гелия, поступающих через оставшиеся щели и являющихся составными частями газоотделения имеющихся в тракте "теплых" элементов, можно вести с помощью капсул с активированным углём, размещённых на охлаждаемых участках в объёме ускорения.

Недостатком этого варианта является необходимость доработки конструкции и технологии изготовления магнита с учётом герметизации внутреннего объёма без камеры.

Но суммарные трудовые затраты на изготовление ускорителя с учётом этой доработки, по нашему мнению, должны быть значительно ниже, чем для вариантов с камерами. Кроме того, исключаются искажения магнитного поля и дополнительные тепловыделения.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По нашему мнению, последний из рассмотренных вариантов обеспечения необходимого вакуума в "Нуклотроне" в наибольшей степени соответствует методу термостабилизации сверхпроводника в трубчатых магнитах. Требуемый вакуум в объёме ускорения обеспечивается в этом случае без внесения дополнительных искажений магнитного поля и дополнительной тепловой нагрузки на рефрижератор.

Авторы благодарны И.Б.Иссинскому за инициирование этой работы, А.А.Смирнову и Г.Г.Ходжибагянну — за полезные обсуждения.

#### Литература

1. A.M.Baldin et al. IEEE Trans. on Nucl.Sci., NS-30, N°4, p.3247, Aug.1983.
2. I.S.Dmitriev, V.P.Zaikov, Yu.A.Tashaev. Nucl.Instr.Meth., 164, 329, 1979.
3. I.S.Dmitriev, V.S.Nikolaev, Ya.A.Teplova. SPIG-80, Dubrovnic, 72, 1980.
4. Н.Н.Агапов и др. ОИЯИ, Р8-12786, Дубна, 1979.
5. И.А.Шелев, И.П.Юдин. ОИЯИ, 9-12346, Дубна, 1979.
6. И.А.Шелев и др. ОИЯИ, Р9-82-383, Дубна, 1982.
7. Т.Брехна. Сверхпроводящие магнитные системы. "Мир", Москва, 1976.
8. Р.Хэфер. Криовакуумная техника. Энергоатомиздат, Москва, 1983.
9. R.Verma. J.Appl.Phys., 27, N°4, p.318, 1956.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 марта 1986 года.

Дмитриев И.С., Пикин А.И.  
Анализ вариантов вакуумной камеры "Нуклотрона"

9-86-160

Приведены требования, предъявляемые к давлению остаточного газа в "Нуклотроне", необходимому для ускорения ионов урана с допустимым уровнем потерь. Проанализированы три варианта создания герметичного объема ускорения внутри сверхпроводящих магнитов с использованием криогенной откачки. Показано, что конструкции трубчатых сверхпроводящих магнитов в наибольшей степени соответствует вариант без камеры как конструкционного элемента, но с герметизацией магнитопровода и зазоров между магнитами.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Dmitriev I.S., Pikin A.I.  
Analysis of Versions of "Nuclotron" Vacuum Chamber

9-86-160

The requirements to the pressure of residual gas in the "Nuclotron" providing acceleration of uranium ions with acceptable losses are given. Three versions of hermetic volume of acceleration inside the superconducting magnets with cryopumping are analysed. It is shown that the version without vacuum chamber as an element of a structure provided hermitization of a magnet yoke and gaps between magnets corresponds to a considerable degree to the design of magnets with a hollow superconductor.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986