

## ВАКУУМНЫЕ КАМЕРЫ И ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА БЕТАТРОНОВ на 15 — 25 МЭВ

А. Г. ВЛАСОВ

(Представлено научным семинаром физико-технического факультета)

Одним из основных элементов бетатрона является вакуумная ускорительная камера.

Вакуумная ускорительная камера должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Камера должна обладать достаточной механической прочностью, чтобы выдерживать атмосферное давление, равное  $1 \text{ кг/см}^2$ .
2. Материал камеры должен быть вакуумоплотным, т. е. газонепроницаемым.
3. Материал камеры должен обладать малой сорбционной способностью и хорошо обезгаживаться в процессе откачки.
4. Материал камеры также должен быть диэлектриком, допускающим прочное покрытие внутренней поверхности проводящим слоем.

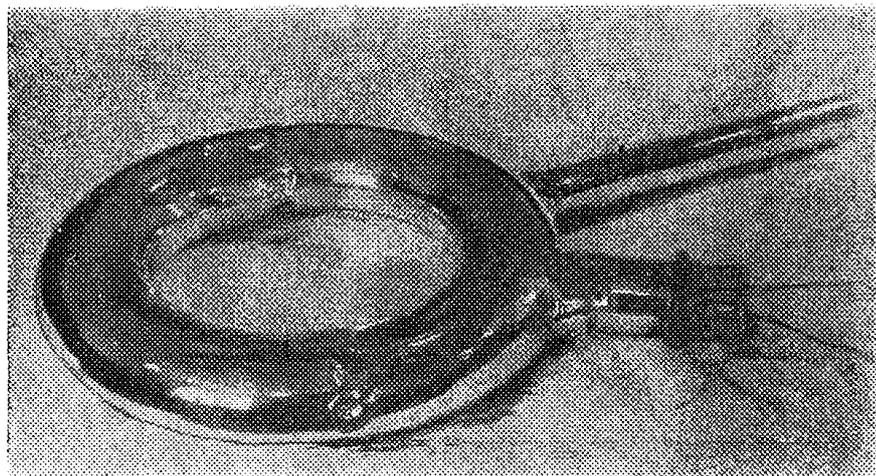


Рис. 1

Для бетатронов на энергии ускоренных электронов до 25 — 30 Мэв наибольшее распространение получили вакуумные камеры, изготовленные из стекла или фарфора. Они достаточно полно удовлетворяют вышеречисленным требованиям.

Камеры для бетатронов от 5 до 25 Мэв, применяемые нами, изготовляются из молибденового стекла марки ЗС-5 (рис. 1).

Поперечное сечение камеры обычно выбирается яйцевидной формы и повторяет сечение междуполюсного пространства.

По выбранному сечению и диаметральным размерам камеры вытачивается разъемная по центральной плоскости чугунная форма. В зависимости от диаметра камеры форма разрезается либо на 2 части, либо вырезается одна треть формы. Для камер с внешним диаметром до 400—450 мм из формы вырезается одна треть, а с внешним диаметром выше 450 мм форма разрезается на 2 части.

Таким образом, камеры с диаметром до 450 мм изготавливаются из двух половин, а с диаметром выше 450—500 мм—из трех частей.

Верхняя и нижняя половины формы скрепляются шарнирами (рис. 2).

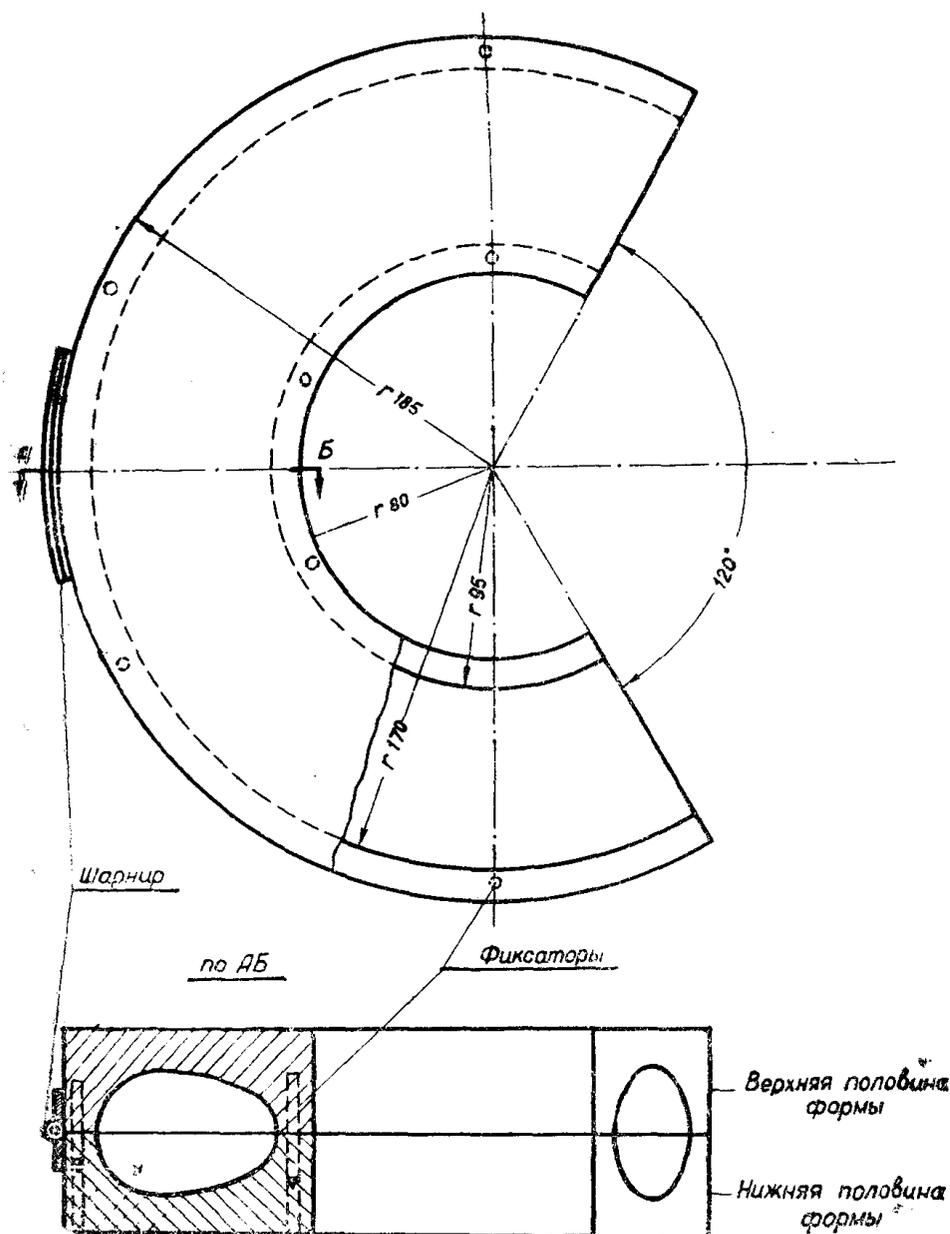


Рис. 2. Форма для выдувания секторов камеры для бетатрона 15 Мэв

По данной форме из расплавленного стекла выдуваются сектора камеры, к которым после тщательного отжига припаивается необходимое число патрубков для присоединения инжектора, вакуумных насосов и т. д.

После вновь тщательно произведенного отжига сектора спаиваются открытым пламенем газовых горелок, и готовая камера вновь отжигается.

При изготовлении камеры из трех секторов отжиг производится после заварки каждого шва.

Стоимость изготовленной таким методом камеры для бетатронов на 15 Мэв не превышает 600—650 руб., а для бетатрона на 25 Мэв—800 руб.

Несколько сложнее изготовление стеклянных камер для вывода пучка электронов, так как требуется приварка патрубков эллиптического сечения достаточно больших размеров по большой оси эллипса и направленных по касательной к камере. Приварка таких патрубков довольно сложна. Поэтому камеры для вывода пучка электронов целесообразнее изготавливать из фарфора путем отливки. Технология изготовления таких камер достаточно хорошо разработана на Ленинградском фарфоровом заводе им. Ломоносова.

Изготовленные вышеуказанным способом камеры для бетатронов 15 25 Мэв подвергаются следующей обработке:

1. Тщательная промывка внутренней поверхности камеры.
2. Припайка ранее заготовленного патрубка с оформленным выводом слоя.

3. Нанесение проводящего слоя на внутреннюю поверхность камеры.

Промывка камеры имеет целью тщательное обезжиривание внутренней поверхности ее перед нанесением проводящего слоя, которая проводится различными способами в зависимости от степени загрязнения поверхности. Наиболее часто нами применяется промывка концентрированной азотной кислотой, 40—50-процентной щелочью, хромпиком, а если этого недостаточно, то и спиртом.

Особенно важным в подготовке камеры к работе является оформление надежного вывода слоя из камеры. Вывод должен иметь хороший электрический контакт со слоем, позволяющим пропускать токи до 1—2 ампер в импульсе, а в бетатронах на большие энергии и больше 3—4 а.

Нами были проведены следующие исследования различного оформления вывода слоя:

- а) впаивались молибденовые вводы в патрубок для откачки и соединение их со слоем, после очищения от окисла электролитическим путем, производилось посредством нанесения сплава Вуда с последующим его расплавлением;

- б) приклеивались к слою никелевые полоски порошкообразным сплавом Вуда, смешанным с клеем БФ-4;

- в) создавался пружинящий контакт со слоем, соединенный электросваркой с молибденовым вводом;

- г) распылялся слой серебра под вакуумом на молибденовые вводы предварительно проникированные гальваническим способом, так как распыленный слой серебра без никелировки вводов не дает хорошего электрического контакта с молибденом. Никель служит переходным слоем между серебром и молибденом.

В настоящее время наиболее широкое применение получило оформление вывода путем нанесения серебра методом вжигания серебряной пасты в стекло. Такой метод используется нами двояким образом.

Для камер с постоянной откачкой в заготовленный заранее патрубок для откачки на внутреннюю поверхность наносится небольшим кольцом паста. От кольца делаются отводы этой же пастой через край патрубка, соединяемый с вакуумной системой. После этого патрубок припаявается к камере.

Вторая модификация метода вжигания наиболее удобна для отпаянных камер.

В стеклянную трубку диаметром, равным диаметру откачного патрубка камеры 30-35 мм, длиной 15-18 см, впаиваются 2—3 молибденовых ввода. Диаметр молибдена 1—1,2 мм. Концы вводов, выступающие внутрь трубки

на 3—4 мм, очищаются от окисла и никелируются гальваническим путем. В месте впаивания вводов кольцом шириной 2—2,5 см наносится паста на внутреннюю поверхность стеклянной трубки и на концы вводов. После вжигания между слоем возжженного серебра и молибденовыми вводами обеспечивается надежный электрический контакт, позволяющий пропускать переменный ток порядка 10—15 ампер в течение 10—15 минут, и только после этого вследствие разогрева слоя и стекла контакт нарушается.

Первые три вышеописанные способа оформления вывода слоя дают гораздо худший контакт со слоем и разрушаются при кратковременном пропускании тока 0,5—0,8 а.

Метод распыления серебра под вакуумом обеспечивает достаточно прочный контакт, выдерживающий ток до 8—10 а в течение 5—10 минут, но при нанесении слоя он частично отстает от стекла, что ведет к ухудшению контакта. Таким образом наилучшим способом оказался метод вжигания серебра.

Трубка с оформленным выводом слоя припаивается к откачному патрубку камеры и камера покрывается проводящим слоем. Проводящий слой, наносимый на внутреннюю поверхность камеры, должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Достаточно прочное соединение со стенками камеры.
2. Малая сорбционная способность и хорошая выгаживаемость в процессе откачки.
3. Малая эмиссионная способность при бомбардировке его электронами.
4. Достаточно большое удельное сопротивление.

Определенных рекомендаций для удельного сопротивления слоя в литературе нет, и приводимые данные весьма различны [1 ÷ 8].

Проводящий слой в наших камерах обладает сопротивлением 50—100 ом между диаметрально противоположными точками в камерах для бетатрона на 15 Мэв.

Нанесение проводящего слоя производится самыми различными способами.

Наибольшее распространение для камер бетатронов на 15—25 Мэв получили покрытия внутренней поверхности камеры аквадагом или путем химического серебрения. Это наиболее простые способы нанесения слоя, не требующие специального оборудования и более или менее удовлетворяющие вышеприведенным требованиям к слою.

Эти способы обладают также существенными недостатками. Слой, нанесенный путем химического серебрения, слабо держится на поверхности камеры и при попадании влаги отстает от поверхности. Этот недостаток не допускает возможность применения серебрения для изготовления отпаянной камеры, так как при припайке инжектора неизбежен неравномерный нагрев камеры, и в наиболее холодных местах концентрирующиеся пары воды разрушают слой.

Слой, нанесенный аквадагом, обладает весьма существенной сорбционной способностью, трудно обезгаживается, что особенно неудобно в камерах с постоянной откачкой и требует длительной откачки. Аквадажный слой также выделяет значительное количество газов при бомбардировке его электронами. Применение покрытия аквадагом для отпаянных камер неудобно тем, что он непрозрачен и затрудняет наблюдение за правильностью приварки инжектора. Известны еще другие способы нанесения проводящего слоя, как распыление серебра, покрытие жидким палладием, окисью олова и др., но нами они не применялись [5, 6].

После нанесения слоя камера готова для установки в междуполосном пространстве бетатрона и присоединения к вакуумной системе.

Применяемая нами вакуумная система состоит из насоса предварительного разрежения типа РВН-20, насоса высокого вакуума типа ЦВЛ-100

и „ловушки“ в форме колена с помещенными на ней измерительными лампами ЛТ-2 и ЛМ-2.

„Ловушки“ изготавливаются либо стеклянные, соединенные с насосом высокого вакуума посредством шлифа, либо металлические, припаяваемые непосредственно к фланцу насоса. Если „ловушка“ стеклянная, то камера присоединяется при помощи плицеиновой замазки. В случае металлической ловушки камера и манометрические лампы присоединяются с помощью резинового уплотнения.

Применяемая нами вакуумная система обеспечивает в камере вакуум порядка  $2 - 5 - 10^{-6}$  мм рт. ст., что является вполне достаточным для устойчивой работы бетатрона. Применение ловушек, охлаждаемых жидким азотом, для откачки стеклянных либо фарфоровых камер бетатронов до 25 Мэв нецелесообразно, так как усложняет систему и работу в ней.

Управление вакуумной системой осуществляется непосредственно с пульта управления, за исключением перекрывания шланга, соединяющего насос высокого вакуума с насосом предварительного разряжения.

Одним из важных усовершенствований бетатронов является замена постоянно откачиваемых ускорительных камер камерами отпаянными, не требующими для своей работы громоздких вакуумных систем и насосов предварительного и высокого вакуума.

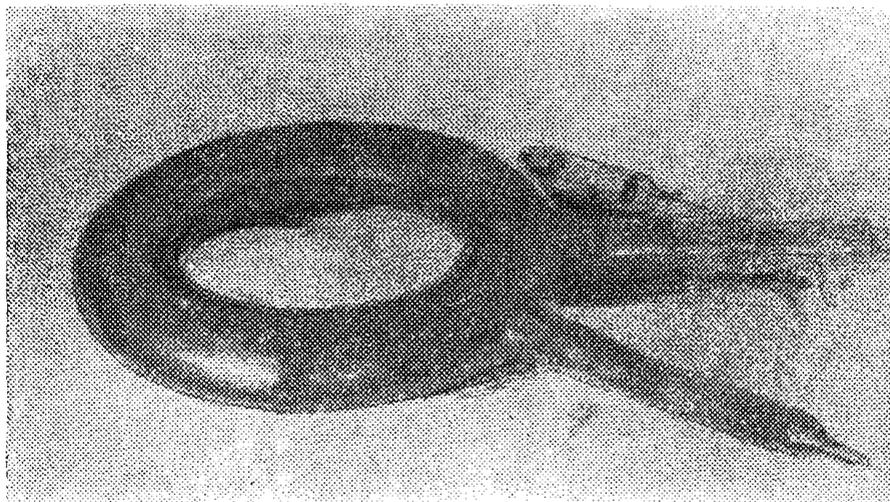


Рис. 3

При использовании отпаянных вакуумных камер бетатрон в течение нескольких минут может быть подготовлен к работе, тогда как при работе с постоянно откачиваемой камерой на подготовку бетатрона к работе затрачивается около 1—1,5 часов, необходимых для достижения нужной степени вакуума.

Другим достоинством применения отпаянной вакуумной камеры является возможность постройки передвижного бетатрона, что особенно важно для медицины при облучении больных.

Отпаянная вакуумная камера дает возможность наиболее рационального расположения инжектора по азимуту, что не всегда возможно в камерах с постоянной откачкой. Таким образом, применение отпаянной камеры имеет большое преимущество перед камерами с постоянной откачкой.

Несмотря на то, что в современной литературе имеются указания об эксплуатации таких камер, технология изготовления их нигде не опубликована.

Нами совместно с Гулько Б. Н. была изготовлена отпаянная камера для бетатрона на 15 Мэв (рис. 3).

При изготовлении на заводе камеры, предназначенной для отпайки, патрубков для инжектора приваривался несколько длинее, чем у обычных камер и с более тонкой стенкой. Это необходимо для того, чтобы при припайке инжектора нагрев спая патрубка с камерой был не слишком большим. При сильном нагреве этот спай может дать трещину.

Изготовление отпаянной камеры для бетатрона на 15 Мэв показало, что в результате небольшого усложнения технологии изготовления вакуумной камеры достигается значительное упрощение эксплуатации бетатрона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гринберг А. П. Методы ускорения заряженных частиц, Госиздат технико-теоретической литературы, 1950.
2. Воробьев А. А. Ускорители заряженных частиц, ГЭИ, 1950.
3. Резонансные циклические ускорители заряженных частиц (сборник статей), И. Л., 1950.
4. Kerst D. W., Rev. Sci. Instr., 1942, 13, 384—394.
5. Kerst D. W., Abams I. D. and Jr., Phys. Rev., 1950, 78, 297
6. Jregg E. C., Rev. Sci Instr., 1951, 22, 176—182.
7. Kerst D. W., Phys. Rev., 1941, 60, 47—52.
8. Jeward F. R. Lawson I. D. and Jr., Proc. I E E, 1950, 97, 1, 320—323.