

### 1.3 Ионные ускорители

Ускорители заряженных частиц - установки, служащие для ускорения заряженных частиц до высоких энергий (более 1 МэВ).

Во всех действующих ускорителях увеличение энергии заряженных частиц происходит под действием внешних продольных (направленных вдоль скорости ускоряемых частиц) электрических полей. Ускорители включают в себя следующие элементы: источник ускоряемых частиц (электронов, протонов, античастиц); генераторы электрических или электромагнитных ускоряющих полей; вакуумную камеру, в которой движутся частицы в процессе ускорения (в плотной газовой среде ускорение заряженных частиц невозможно из-за их взаимодействия с молекулами газов, заполняющих камеру); устройства, служащие для впуска (инъекции) и выпуска (эжекции) пучка из ускорителя; фокусирующие устройства, обеспечивающие длительное движение частиц без ударов о стенки вакуумной камеры; магниты, искривляющие траектории ускоряемых частиц; устройства для исследования и коррекции положения и конфигурации ускоряемых пучков. В зависимости от особенностей ускорителя один или несколько из перечисленных элементов в них могут отсутствовать.

По принципу устройства различают ускорители прямого действия, или высоковольтные ускорители (ускорение в постоянном электрическом поле), индукционные ускорители (ускорение в вихревых электрических полях, возникающих при изменении магнитной индукции) и резонансные ускорители, в которых при ускорении используются ВЧ электромагнитные поля. Все действующие ускорители на предельно высокие энергии принадлежат к последнему типу.

Современные ускорители делятся на два больших класса: линейные ускорители и циклические ускорители. В линейных ускорителях траектории ускоряемых частиц близки к прямым линиям. По всей длине таких ускорителей располагаются ускоряющие станции. В циклических ускорителях «ведущее» магнитное поле изгибает траектории ускоряемых частиц, свёртывая их в окружности (кольцевые ускорители или синхротроны) или спирали (циклотроны, фазотроны, бетатроны и микротроны). Такие ускорители содержат одно или несколько ускоряющих устройств, к которым частицы многократно возвращаются в течение ускорительного цикла.

В ускорителях тяжёлых частиц потери энергии на синхротронное излучение практически отсутствуют, и поддерживать высокий темп ускорения невыгодно (т. к. мощность, затрачиваемая на питание ускоряющих станций, пропорциональна квадрату напряжённости электрического поля и быстро растёт с увеличением темпа ускорения). Отсутствие заметного синхротронного излучения приводит к тому, что амплитуда поперечных колебаний частиц в процессе ускорительного цикла затухает сравнительно медленно (как квадратный корень из импульса частиц), и устойчивость движения в отсутствие специальных мер нарушается под действием даже сравнительно слабых возмущений. Все ускорители тяжёлых частиц на высокие энергии принадлежат к типу циклических.

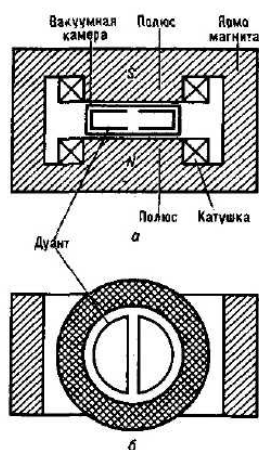


Рис.5. Схема устройства циклотрона.

**Циклотроны** - простейшие и исторически первые ускорители циклического типа (Рис.5). В современном понимании циклотронами называются резонансные циклические ускорители, работающие при не меняющемся во времени ведущем магнитном поле и при постоянной частоте ускоряющего ВЧ-поля. Магнитное поле обладает азимутальной симметрией и почти не зависит от радиуса; траектории ускоряемых частиц имеют вид раскручивающихся спиралей. Обычные циклотроны применяют для ускорения тяжёлых нерелятивистских частиц — протонов и ионов. Вакуумная камера циклотронов ограничена внешней стенкой цилиндрической формы и двумя плоскими горизонтально расположенными крышками.

Полюсы электромагнита обычных циклотронов создают в камере почти однородное (слегка спадающее к периферии) магнитное поле. Ускоряющий зазор образуется срезами двух расположенных в камере и обращенных друг к другу электродов, имеющих форму полых полуцилиндров, - дуантов. Дуанты присоединяются к полюсам высоковольтного генератора через четвертьволновые линии.

Обычные циклотроны широко применяются для получения изотопов и во всех других случаях, когда нужны протоны (или ионы) с энергией до 20 МэВ. Если же нужны протоны с более высокой энергией (до нескольких сотен МэВ), то применяются циклотроны с азимутальной вариацией магнитного поля. Процесс ускорения в циклотронах происходит непрерывно: в одно и то же время одни частицы только покидают ионный источник, другие находятся на середине пути, а третьи заканчивают процесс ускорения. Типичный ток внутри пучка в циклотронах составляет 1 мА, ток выведенного пучка зависит от эффективности эжекции и от тепловой устойчивости выводных фольг; обычно он составляет несколько десятков мкА.