

вых работах этого цикла [В. И. Векслер и амер. физик Э. Макмиллан (E. McMillan)] рассматривалась устойчивость продольного (фазового) движения, сформулирован принцип *автофазировки*. Затем появились работы по созданию теории поперечного движения частиц — бета-тронных колебаний, приведшие к открытию сильной (знакопеременной) фокусировки [Н. Кристофилос (N. Christophilos), 1950; Э. Курант (E. Curant), М. Ливингстон (M. Livingston), Х. Снайдер (H. Snyder), 1952], лежащей в основе всех совр. крупных У.

Быстрое развитие техники мощных ВЧ радиотехн. устройств, произошедшее во время 2-й мировой войны 1939—45, позволило приступить к созданию линейных У. на большие энергии. В электронных линейных У. используется электрич. поле бегущих волн дециметрового диапазона в дифрагмир. волноводах, в протонных — разработанные Л. Альвересом (L. Alvarez) резонаторы метрового диапазона, нагруженные пролётными трубками. В нач. части таких У. всё чаще применяются У. с *квадрупольной высокочастотной фокусировкой* (англ. обозначение RFQ), в создании к-рых осн. роль сыграли В. В. Владимирский, И. М. Капчинский и В. А. Тепляков.

При сооружении циклич. У. находят всё большее применение сверхпроводящие магн. системы. Сверхпроводящие магниты используются в циклотронах для создания пост. магн. полей и в *синхротронах протонных* — для генерации медленно (в течение многих секунд) меняющихся магн. полей. Так работает самый большой из действующих протонных синхротронов — теватрон (США).

До 80-х гг. осн. открытия в физике элементарных частиц делались на протонных синхротронах. Сейчас многие интересные результаты получают на электрон-позитронных и протон-антипротонных кольцевых ускорителях со встречными пучками (коллайдерах). Преимущества таких У. перед обычными: 1) существ. увеличение энергии взаимодействия (в системе центра масс); в ультрарелятивистском случае, к-рый всегда имеет место на встречных пучках, эта энергия возрастает от $\sqrt{2mc^2\epsilon}$ при соударении быстрых частиц с ядрами неподвижной мишени до 2ϵ на коллайдерах (m — масса соударяющихся атомов и атомов мишени, $\epsilon = \epsilon + m_0c^2$ — полная энергия ускоренных частиц); 2) резкое уменьшение фона от побочных реакций. Осн. недостаток коллайдеров — существенное (на неск. порядков) уменьшение числа взаимодействий (за то же время). Техника кольцевых У. со встречными электрон-позитронными пучками освоена в 1961 (ускоритель на энергию 2×250 МэВ во Фраскати, Италия), а установки со встречными протонными и антипротонными пучками появились лишь после того, как были предложены методы электронного (А. М. Будкер, 1967) и стохастического [С. Ван-дер-Меер (S. Van der Meer), 1972] охлаждения тяжёлых частиц (см. *Охлаждение пучков заряженных частиц*). Всё большее внимание уделяется разработке нетрадиц. способов ускорения: коллективных методов, ускорения на биениях лазерных полей, ускорения в кильватерных полях и т. д. Начало этим работам положили В. И. Векслер, А. М. Будкер и Я. Б. Файнберг. Однако основанные на этих идеях У. пока не созданы.

Ускорители прямого действия. В таких У. заряд. частицы увеличивают энергию в постоянных или квазипостоянных (не меняющихся за время, в течение к-рого частицы набирают полную энергию) электрич. полях. Энергия, приобретаемая частицами, равна в этом случае их заряду, умноженному на пройденную разность потенциалов. Максимально достижимая энергия частиц в У. прямого действия определяется наибольшей разностью потенциалов (15—18 МВ), к-рую можно создать без пробоя в физ. установках. Во всех практически используемых У. прямого действия последний электрод ускоряющей системы находится при потенциале земли, поскольку только в этом случае выведенные из У. частицы не теряют приобретённой энергии при дальнейшем движении.

К числу У. прямого действия относятся электростатич. генераторы, каскадные генераторы и *перезарядные ускорители* (или тандемные У.). Ускоряемые частицы в таких У.

движутся внутри и вдоль трубы, изготовленной из изоляц. материала (обычно фарфора), внутри к-рой создаётся вакуум, необходимый для беспрепятственного движения ускоряемых частиц, а снаружи (под высоким давлением) нагревается тщательно высушенная, освобождённая от кислорода газовая смесь (чаще всего азот с примесью шестифтористой серы), препятствующая развитию электрич. пробоев. Между электродами, расположенными у торцов трубки, создаётся ускоряющая разность потенциалов (рис. 1). Электрич. поле, направленное вдоль оси трубки, выравнивается металлич. разделит. кольцами, соединёнными с омич. делителем напряжения.

В электростатических У. высокое напряжение создаётся с помощью быстро движущейся ленты, изготовленной из изолирующего материала, напр. резины. В низковольтной части установки на ленту наносится электрич. заряд. Этот заряд стекает на

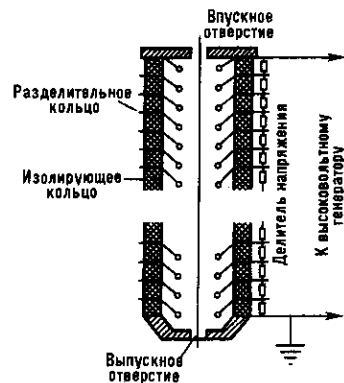


Рис. 1. Схема устройства ускорительной трубки.

ленту с металлич. игл, заряжаемых от спец. генератора до неск. десятков кВ. Движущаяся лента переносит заряд в высоковольтную часть У., расположенную внутри полого металлич. колпака. Там заряд снимается с ленты с помощью таких же игл и перетекает с них к наружной поверхности колпака. Потенциал колпака (и всего оборудования, заключённого внутри него, в т. ч. ионного источника и высоковольтного электрода трубки) по мере поступления зарядов непрерывно увеличивается и ограничивается только пробоем.

В каскадных генераторах для создания больших разностей потенциалов используют схемы умножения напряжения.

В *перезарядных У.* сначала ускоряются отрицат. ионы (атомы, содержащие лишний электрон), а затем, после удаления двух (или нескольких) электронов, — образовавшиеся при обдирке положит. ионы. Как источник, так и выходные устройства таких У. находятся при потенциале земли, а высоковольтный, снабжённый обдирочным приспособлением электрод располагается в ср. части У. Перезарядные У. позволяют без пробоя получать удвоенные (а при более глубокой обдирке и более высокие) значения энергии.

Индукционные ускорители. К индукц. У. принадлежат бетатроны и линейные индукц. У.

Схема устройства бетатрона приведена на рис. 2. Ускоряемые частицы (электроны) движутся в кольцевой ваку-

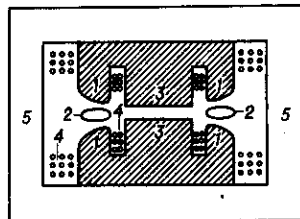


Рис. 2. Схематический разрез бетатрона: 1 — полюсы магнита; 2 — сечение кольцевой вакуумной камеры; 3 — сердечник; 4 — обмотки электромагнита; 5 — ярмо магнита.

умной камере 2, расположенной в зазоре электромагнита (1 — полюсы магнита). Их ускоряет вихревое электрич. поле, к-рое возбуждается при изменении магн. потока, пронизывающего орбиту ускоряемых частиц. Осн. часть этого потока проходит через сердечник 3, расположенный в центр. части бетатрона. Обмотки 4 питаются перем.