

пучков заряженных частиц, пер. с англ., М., 1984; В. М. Диденко, А. Н. Лебедев, М., 1984.

**СИЛЬНОТОЧНЫЕ УСКОРИТЕЛИ** — установки для получения сильноточных пучков заряд. частиц (электронов и ионов), создающих ток  $I > 10^4$  А при энергии частиц  $> 10^5$  эВ. С. у. содержит источник импульсов высокого напряжения и вакуумный диод, на к-рый это напряжение подаётся и в межэлектродном промежутке к-рого происходит ускорение (рис. 1). Большинство С. у. являются ускорителями прямого действия,

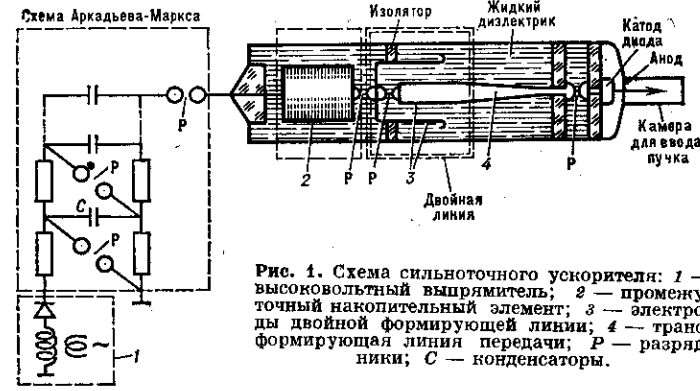


Рис. 1. Схема сильноточного ускорителя: 1 — высоковольтный выпрямитель; 2 — промежуточный накопительный элемент; 3 — электроды двойной формирующей линии; 4 — трансформирующая линия передачи; Р — разрядники; С — конденсаторы.

в к-рых частицы получают весь прирост энергии за один проход через ускоряющий промежуток (вакуумный диод), на электроде к-рого они и образуются.

**Принцип действия.** На диод подаётся напряжение от генератора мощных высоковольтных импульсов. Источником электронов или отрицат. ионов служит плазма, образующаяся за неск. нс на катоде в результате взрывной электронной эмиссии, когда при достижении ср. напряжённости поля на катоде  $\sim 10^5$  В/см происходит тепловой взрыв его микронеоднородностей. В ионных диодах плазма создаётся на аноде и из неё вытягиваются положит. ионы. Для эфф. работы ионного диода сопутствующий электронный ток на анод искусственно подавляют.

Образовавшиеся на катоде и аноде слои плазмы расширяются со скоростью  $v = (2-3) \cdot 10^6$  см/с, межэлектродный промежуток (размером  $d$  от неск. мм до неск. см) сокращается в течение импульса. При относительно небольших напряжениях  $V$  [МВ] в диоде с электродами в виде двух плоских дисков радиуса  $R$  (рис. 2, а) течёт равномерно распределённый электронный ток  $I = 7,3 V^{3/2} R^2 / d^2$  [кА]. Через время  $t_k = d/2v$  оба слоя плазмы соединяются и диод закорачивается. Время устойчивой работы диода, пока его сопротивление не сильно отличается от внутр. сопротивления генератора импульсов, должно быть в неск. раз меньше  $t_k$  и обычно не превосходит 100 нс. Это и определяет верх. границу длительности пучка С. у., если не приняты спец. меры для уменьшения  $v$ . Для эфф. работы С. у. за это же время в пучок должна быть передана существенная доля первоначально запасённой энергии.

В случае больших напряжений и отношения  $R/d$ , т. е. при больших токах, когда ларморовский радиус электронов в собств. магн. поле пучка становится мал по сравнению с зазором (рис. 2, б), диод переходит в режим сильного пинча. При этом эффективно эмиттируют только участки поверхности, расположенные на периферии катода, а ток на аноде сфокусирован в центральное пятно малого размера и определяется соотношением:

$$I = 8,5\gamma(R/d) \operatorname{arch} \gamma \text{ [кА]},$$

где  $\gamma \approx 2V + 1$  — полная энергия электронов в единицах энергии покоя  $m_0c^2$ . Для формирования выведенного пучка С. у. часто используют цилиндр.

диоды, помещённые в аксиальное магн. поле (рис. 2, в). При большом электронном токе

$$I > 17\sqrt{V(2V+1)} / \ln(r_a/r_k) \text{ [кА]},$$

где  $r_a$  и  $r_k$  — радиусы анода и катода, такой диод может работать и без внеш. магн. поля. Чтобы ларморовский радиус электронов стал меньше межэлектродного расстояния и электроны не достигали анода, уже достаточно магн. поля тока, текущего по катодному стержню (явление магн. самоизоляции). В этом случае анодная плазма образуется позднее, а скорость разлёта катодной плазмы несколько ограничивается магн. полем и работоспособное состояние диода может поддерживаться  $> 10$  мкс.

Для генерации ионных пучков анод диода делают из диэлектрика соответствующего хим. состава. В результате пробоя на поверхности анода образуется плазма, из к-рой под действием внеш. поля и поля пространственного заряда электронов эмиттируются ионы. Для увеличения энергии в ионном пучке ток электронов, пересекающих диод, должен быть уменьшен, но сохранён большой отрицат. пространственный заряд. Для этого используется либо поперечное магн. поле, параллельное поверхности катода (т. н. ионные диоды с магн. и о л я ц и е й, рис. 3, а), либо полупрозрачные для ускоренных электронов аноды, покрытые диэлектриком (т. н. рефлексные диоды и триоды, рис. 3, б). Во втором случае электроны многократно проходят сквозь анод, создавая увеличенный отрицат. пространственный заряд, облегчающий вытягивание ионов из плазмы. При прочих равных условиях значение плотности тока ионов оказывается в  $\sqrt{M_i/m_e}$  раз меньше плотности электронного тока. Эффективность ионных источников достигает 50—60% при импульсном токе ионов  $I_0 \sim 1$  МА и напряжении  $\sim 1$  МВ.

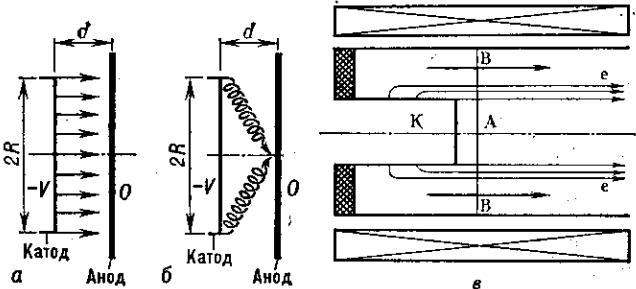


Рис. 2. Траектории электронов в диоде с малым (а) и большим (б) токами; в — в диоде с магнитной изоляцией.

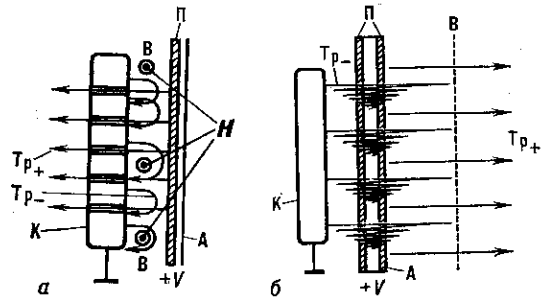


Рис. 3. Схемы ионных диодов с магнитной изоляцией (а) и рефлексных диодов (б): К — катод; А — анод; П — поверхностная плазма; Н — поперечное магнитное поле; Тр<sub>+</sub> — траектории электронов; Тр<sub>-</sub> — траектории ионов; В — виртуальный катод (плоскость остановки электронов).