

где H — напряжённость магн. поля, а m и v_{\perp} — масса и перпендикулярная магн. полю составляющая скорости частицы. Из адиабатич. инвариантности μ и закона сохранения энергии частицы $\mathcal{E} = m(v_{\parallel}^2 + v_{\perp}^2)/2$ следует, что при условии $\mu H_{\max} > \mathcal{E}$ (где H_{\max} — макс. значение магн. поля в пробках) частица отражается от пробки и совершает финитное движение внутри ловушки.

Если обозначить индексом «0» значения всех величин в минимуме магн. поля, то условие $\mu H_{\max} > \mathcal{E}$ можно записать в виде

$$R = \frac{H_{\max}}{H_0} > \frac{v_{\parallel 0}^2 + v_{\perp 0}^2}{v_{\perp 0}^2} \quad (1)$$

Величину R наз. «пробочным отношением». Из условия (1) следует, что при данном соотношении полей H_{\max} и H_0 в ловушке удерживаются только те частицы, вектор скорости к-рых лежит в пространстве скоростей вне «конуса потерь» [конуса с осью, параллельной магн. полю, и с углом при вершине $\alpha = \arcsin(1/\sqrt{R})$].

В осесимметричном пробкотроне плазма, как правило, подвержена желобковой неустойчивости, приводящей к просачиванию плазмы поперёк магн. поля в виде узких языков. Неустойчивость возникает потому, что в таком пробкотроне модуль магн. поля спадает в радиальном направлении, а плазме энергетически выгодно перемещаться в область слабого поля. Для стабилизации желобковой неустойчивости применяются неосесимметричные магн. поля, имеющие абс. минимум H в области удержания.

Пробкотроны заполняют горячей плазмой, инжектируя быстрые атомы водорода. Проникая поперёк магн. поля в плазму, они захватываются там вследствие ионизации и перезарядки и обеспечивают поддержание материального и энергетич. баланса плазмы. Таким методом в пробкотроне 2ХПВ в Ливерморской лаборатории (США) в 1976 получена квазистационарная плазма с плотностью $\sim 10^{14}$ см $^{-3}$ и темп-рой ионов $T_i \approx 10^8$ К.

Упругие столкновения ионов плазмы друг с другом приводят к их рассеянию, попаданию в конус потерь и выходу из пробкотрона. Расчёты показывают, что определяемое этим процессом время τ жизни плазмы в пробкотроне может быть оценено по ф-ле

$$\tau \sim \tau_i \lg R, \quad (2)$$

где τ_i — время рассеяния иона на угол порядка единицы. Эта оценка справедлива в условиях, когда длина пробкотрона мала по сравнению с длиной свободного пробега ионов λ_i .

Время рассеяния электронов τ_e очень мало по сравнению с τ_i , и поэтому ф-ция распределения электронов близка к максвелловской. В частности, она изотропна, т. е. значит. часть электронов находится в конусе потерь и могла бы вылететь из ловушки через пробки. В таких условиях квазинейтральность плазмы обеспечивается возникающим в ней амбиполярным электрич. полем, препятствующим потерям электронов. Распределение амбиполярного потенциала вдоль нек-рой силовой линии магн. поля даётся ф-лой

$$\varphi = \text{const} + \frac{T_e}{e} \ln n, \quad (3)$$

где T_e — темп-ра электронов, n — локальная плотность плазмы. Амбиполярное электрич. поле приводит к нек-рому ухудшению удержания ионов.

К большому дополнит. уменьшению времени жизни ионов приводит их рассеяние на надтепловых флуктуациях электрич. поля, к-рые могут возникать вследствие анизотропии ионной ф-ции распределения (анизотропия связана с отсутствием ионов в конусе потерь). Относительно малое время жизни в пробкотроне делает перспективы применения таких систем

в качестве термоядерных реакторов не слишком благоприятными. В связи с этим в разное время было предложено неск. усовершенствованных типов О. л., основанных на идее пробкотрона.

Амбиполярная ловушка. Одна из возможностей повышения времени удержания ионов связана с использованием амбиполярного электрич. поля. К длинному пробкотрону O (рис. 1, б) с плазмой умеренной плотности с каждой стороны присоединяется по короткому пробкотрону I , в к-рых с помощью интенсивной инъекции высокоэнергетич. нейтральных атомов поддерживается высокая плотность плазмы. Тогда в соответствии с (3) между центральным и крайними пробкотронами возникает разность потенциалов, равная $(T_e/e) \ln(n_1/n_0)$, и для ионов центр. пробкотрона появляется эл.-статич.

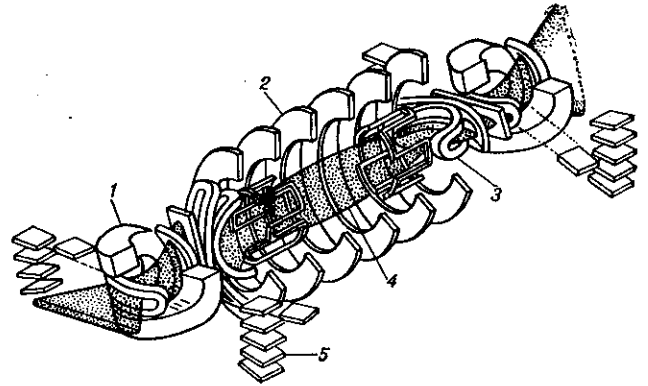


Рис. 2. Схема амбиполярной ловушки ТМХ: 1 — аксиально-несимметричная обмотка концевых пробкотронов, обеспечивающая минимум магнитного поля H на оси; 2 — обмотки центрального соленоида; 3 — переходные обмотки; 4 — плазма; 5 — инжекторы нейтральных атомов. Характерная «веревная» форма плазмы вблизи концов установки обусловлена свойствами магнитного поля установки. В центральном соленоиде сечение плазмы круглое.

потенц. яма. При достаточно большом перепаде плотности глубина ямы будет столь велика, что потери ионов из центр. пробкотрона станут пренебрежимо малыми. Разумеется, поддержание высокой плотности плазмы в концевых пробкотронах требует определ. энергетич. затрат, но эти затраты не зависят от длины центр. пробкотрона. А т. к. мощность термоядерного энерговыделения в нём пропорц. его длине, то, делая центр. пробкотрон достаточно длинным, можно обеспечить положит. энергетич. баланс системы в целом.

В экспериментах на ряде амбиполярных ловушек в кон. 70-х — нач. 80-х гг. было показано, что амбиполярное удержание ионов центр. пробкотрона действительно существует. При создании нужного распределения плотности время жизни ионов центр. пробкотрона возрастало в ~ 10 раз по сравнению с оценкой (2). Параметры плазмы центр. пробкотрона были при этом довольно умеренными (в установке ТМХ, схема к-рой приведена на рис. 2, $T_i \approx 100$ эВ, $n_i \sim 10^{13}$ см $^{-3}$).

Трудности повышения параметров плазмы в амбиполярных ловушках связаны гл. обр. с возможностью усиленного рассеяния ионов концевых пробкотронов на надтепловых флуктуациях.

Неосесимметричные магн. поля, используемые для стабилизации желобковой неустойчивости, могут быть источником усиленного поперечного переноса плазмы, напоминающего неоклассич. перенос в замкнутых ловушках. Поэтому необходимо отыскать топологически несложные осесимметричные магн. конфигурации, в к-рых плазма была бы устойчива по отношению к желобковым возмущениям.

Т. и. антипробкотрон, возникающий при «встречном» включении двух соосных магн. катушек (рис. 1, в), — одна из обладающих таким свойством конфигураций.