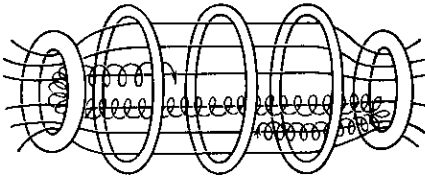


ростом B за счёт убыли продольной. В точке отражения при $B=B_{\max}$ имеем: $v_{\parallel}=0$, $v_{\perp}^2=v_{\perp 0}^2 B_{\max}/B_{\min} = v_{\perp 0}^2 + v_{\parallel 0}^2$. Из этого соотношения следует, что магн. пробка отражает не все частицы, а только такие, ско-

Рис. 1. Траектория заряженной частицы в ловушке с магн. пробками. Помимо отражения частица испытывает градиентный дрейф, направленный по азимуту.



рост k -рых меньше определяемой соотношением: $v_{\parallel 0}/v_{\perp 0} < V(B_{\max}-B_{\min})/B_{\min}$. Для таких частиц в центральной части ловушки $\sin \theta_0 > (B_{\min}/B_{\max})^{1/2}$; все остальные частицы с углом $\theta = \arcsin(v_{\perp}/v)$ меньше $[\arcsin(B_{\min}/B_{\max})]^{1/2}$ попадают в «запретный конус», конус потерь, и вылетают из М. л. (т. н. пролетные частицы). Т. о., в открытых М. л. распределение удерживаемых частиц по скоростям анизотропное, термодинамически неравновесное. Непрерывный переход запертых между магн. пробками частиц в конус потерь под влиянием соударений или вследствие развития микронеустойчивостей плазмы делает эффективность

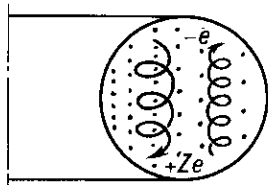


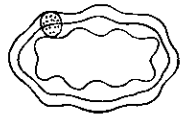
Рис. 2. Дрейф частиц в тороидальном магнитном поле.

простой открытой М. л. низкой для УТС. Для улучшения удержания плазмы в открытых М. л. предложено неск. их модификаций — амбиполярные М. л., ловушки с гофрированным полем, газодинамич. М. л., стабилизированные осесимметричные амбиполярные ловушки (см. *Открытые ловушки*).

Другой способ избежать продольных потерь — замкнуть М. л. в тор. Однако простейшая система такого типа с чисто тороидальным магн. полем, создаваемым напр., в осесимметричном тороидальном соленоиде, не может выполнять ф-цию М. л. Тороидальное магн.

поле, согласно интегральному условию $\oint \text{Bal} = \mu_0 F_e$ (F_e — суммарный полоидальный ток в соленоиде, μ_0 — магн. постоянная), неоднородно: $B_{\phi} = \mu_0 F_e / 2\pi r$. Его градиент направлен по радиусу к главной оси тора (ось z цилиндрич. системы координат r, ϕ, z). Согласно приведённым выше формулам для $v_{\text{тр}}$ и $v_{\text{ц}}$, заряж.

Рис. 3. Тороидальная ловушка — замкнутый гофрированный тор.

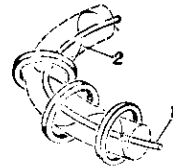


частицы дрейфуют вдоль оси z со скоростью $v_{\text{ц}} = m(v_{\parallel}^2 + v_{\perp}^2/2)/erB$ (тороидальный дрейф) и уходят на стенки камеры (рис. 2). Один из путей преодоления тороидального дрейфа — сделать тороидальное магн. поле гофрированным (рис. 3). Получающаяся конфигурация выглядит как последоват. соединение неск. ловушек с пробками. При достаточно сильной неоднородности магн. поля дрейф происходит вокруг оси ловушек и траектории пролётных ларморовских кружков, приобретая винтообразную форму, могут стать ограниченными. Гофрированные М. л. имеют, однако, ряд недостатков: сильную чувствительность к возмущениям магн. поля, сложность стабилизации плазмы, повышенную диффузию; поэтому они не получили большого распространения.

Широко используются тороидальные М. л., в к-рых магн. силовые линии сами навиваются на замкнутые

магн. поверхности, образующие систему вложенных друг в друга торов. Такая система образуется, напр., вокруг кольцевого проводника с током, расположенного вдоль магн. силовых линий тороидального соленоида. Соответствующая М. л., левитрон (рис. 4), в к-рой

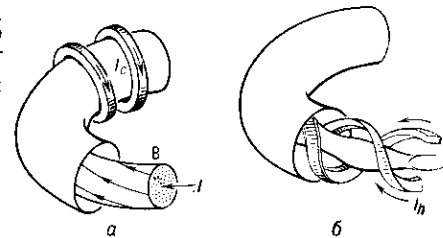
Рис. 4. Схема левитрона: 1 — кольцо с током внутри тороидального соленоида; 2 — магнитная силовая линия; при многократном обходе тора она заполняет тороидальную магнитную поверхность.



кольцо из сверхпроводника с током само подвешено на магн. подушке, была осуществлена в нек-рых лабораториях в 60-е гг. Более удобными оказались М. л., в к-рых кольцевой ток, создающий вращательное преобразование магн. силовых линий, возбуждается в самой плазме. К ним относится токамак (рис. 5, а) — наиб. разработанная система для магн. удержания плазмы, а также пинч с обращённым магн. полем и его предельная модификация — сферомак.

Вращат. преобразование магн. силовых линий может быть осуществлено и без возбуждения в плазме тороидального тока в М. л., наз. *стеллараторами*. Возможны два способа создания вращат. преобразова-

Рис. 5. Тороидальная магнитная ловушка: а) токамак; б) стелларатор-торсатрон. Короткие стрелки показывают направление токов: I_c — в витках тороидального поля; I_h — в винтовых витках; I — в плазме токамака.



ния без продольного тока в плазме — вывод оси соленоида из плоскости (стелларатор с пространств. осью) и наложение на соленоид винтовых проводников с током [обычный стелларатор и его модификация — торсатрон (рис. 5, б), гелиотрон и др.]. Главное преимущество стеллараторов перед токамаками — возможность стационарной работы без затраты энергии на генерацию тока в плазме, их недостаток — громоздкость конструкции.

К М. л. относят также компактный тор — сжатый к главной оси тора тороидальный пинч. Обычно он создаётся с помощью θ -линия наращиванием продольного магн. поля, противоположного по направлению первоначальному, сохраняющемуся в плазме. В плазме возникает цилиндрич. токовый слой, к-рый, сжимаясь как к оси, так и в продольном направлении, образует компактный плазменный тор. Компактный тор с тороидальным магн. полем внутри плазмы представляет собой упомянутый выше сферомак.

Удержание плазмы. От особенностей движения заряж. частиц в М. л., имеющего весьма сложный характер, зависит ряд внутр. свойств плазмы, таких, как возникновение кинетич. неустойчивостей, величины коэф. переноса и др. Но они не существенно влияют на макроскопич. характеристики плазмы — её форму и распределение в пространстве. При макроскопич. описании удержания плазмы в М. л. вводят газокинетич. давление плазмы — продольное $p_{\parallel} = \sum mN \langle v_{\parallel}^2 \rangle$ и поперечное $p_{\perp} = 1/2 \sum mN \langle v_{\perp}^2 \rangle$, а также намагниченность $M = N \langle M_1 \rangle$. Здесь суммирование производится по сортам зарядов (частиц), N — плотность частиц данного сорта, угловые скобки означают усреднение по скоростям. Средняя плотность тока, текущего в плазме, $j = j_{\text{д}} + j_{\text{м}}$, где $j_{\text{д}} = \sum eN \langle v_{\text{др}} + v_{\parallel} \rangle$ — ток, вы-