характерна не только для фокусирующих и дефокусирующих систем, но и для энерго-массанализаторов разл. мощностей, систем транспортировки ионов и др. На рис. 2 (*г*) изображена схема магнитоэлектрич. ловушки, в к-рой электроны удерживаются магнитным, а ионы — преимущественно электрич. полем. Все указанные схемы в тех или иных модификациях изучаются экспериментально.

Плазменные линзы. Среди собственно П. с. получили распространение (не считая плазменных ускорителей) осесимметричные «плазменные линзы» (рис. 2, *в*). Наиб. высокие оптич. характеристики этих линз (минимум аберраций) были получены в двух режимах: в «квазидебаевском» («габоровском») и в «режиме с внешним разрядом».

В квазидебаевском режиме диаметр отверстия линзы d выбирается меньше *дебаевского радиуса экранирования* для ионов $r_{Di} = \sqrt{\mathscr{E}_i/4\pi n_e e^2}$, но много больше дебаевского радиуса экранирования для электронов $r_{De} = \sqrt{\mathscr{E}_e/4\pi n_e e^2}$,

$$r_{De} \ll d \lesssim r_{Di}. \qquad (6)$$

Осн. достоинством квазидебаевского режима является его устойчивость, что позволяет работать с неэмитирующими электродами. Этот режим устойчив при плотностях тока ионов до неск. десятков мА/см². При плотностях, существенно выше определяемых условием (6), в таких линзах обычно развиваются конвективные неустойчивости.

Режим с внешним разрядом также может быть реализован в геометрии, близкой к схеме Габора (рис. 1), но по концам цилиндрич. промежутка располагаются два электрода, между к-рыми в продольном магн. поле зажигается *Пеннинга разряд*, к-рый тщательным подбором параметров делают малошумящим. Если в квазидебаевском режиме в плазменном объёме находятся (в идеале) только фокусируемые ионы, то во втором случае фокусируемые ионы находятся в разрядной плазме и составляют малую часть общего числа ионов.

Экспериментально плазменная линза в квазидебаевском режиме с электронами, образующимися за счёт вторичной ионно-электронной эмиссии, впервые была подробно изучена в работе [3] на установке (рис. 3),

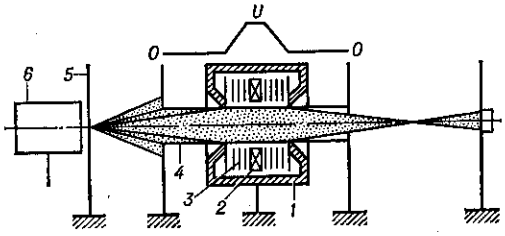

Рис. 3. Схема экспериментальной плазменной линзы для фокусирования ионного пучка: *1* — магнитопровод; *2* — катушка магнитного поля; *3* — электроды-фиксаторы; *4* — цилиндр — источник вторичных электронов; *5* — диафрагма; *6* — ионный источник.

на к-рой исследовалась фокусировка ионов с энергией до 10 кэВ и током до 10 мА. Напряжённость магн. поля была ~100÷200 Э. На рис. 4 даны схемы распределения магн. силовых линий (штрих) и эквипотенциалов. Было показано, что в отличие от лапласовой электростатич. линзы, у к-рой фокусные расстояния $F_л \sim (\mathscr{E}_i/eU_{фок})^2$, в плазменной линзе в соответствии с теорией $F_{пл} \sim \mathscr{E}/eU_{фок}$. Плазменной линзой удалось сфокусировать квазинейтральный пучок ионов; причём линзу можно было делать как собирающей, так и рассеивающей, а фокусное расстояние $F_{пл}$ при $\mathscr{E}/U_0 \gg 1$ было существенно меньше $F_л$. Более того, подавая на электроды соответствующее распределение потенциалов, можно

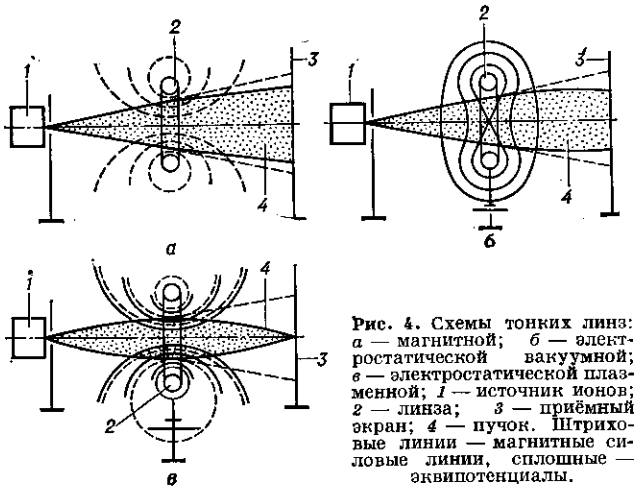

Рис. 4. Схемы тонких линз: *а* — магнитной; *б* — электростатической вакуумной; *в* — электростатической плазменной; *1* — источник ионов; *2* — линза; *3* — приёмный экран; *4* — пучок. Штриховые линии — магнитные силовые линии, сплошные — эквипотенциалы.

было так подобрать $\Phi_т(\gamma)$, чтобы устранить сферич. аберрацию.

Интенсивные исследования и разработки плазменных (габоровских) линз начались за рубежом в сер. 70-х гг. Особенно эффективными такие линзы оказались для фокусировки тяжёлых ионов с энергией ~1 МэВ, для к-рых ранее использовались громоздкие квадрупольные линзы. Были созданы плазменные линзы уникальных параметров [5], к-рые могли фокусировать пучок ионов с энергией 4 МэВ в фокальное пятно размером ~10 мкм.

Лит.: 1) Gabor D., A space-charge lens for the focusing of ion beams, «Nature», 1947, v. 60, p. 89; 2) Морозов А. И., Фокусировка холодных квазинейтральных пучков в электромагнитных полях, «ДАН СССР», 1965, т. 163, № 6, с. 1363; 3) Жуков В. В., Морозов А. И., Щепкин Г. Я., Экспериментальное исследование плазменной фокусировки ионных пучков, в кн.: Физика и применение плазменных ускорителей, Минск, 1974; 4) Морозов А. И., Лебедев С. В., Плазмооптика, в сб.: Вопросы теории плазмы, в. 8, М., 1974; 5) Lefevre H. W. и др., Can an electron plasma lens produce submicrometer size focal spots of Me Vions, «Nucl. Instr. and Meth. Phys. Research», 1985, v. B 10/11, pt 2, p. 707. *А. И. Морозов.*

ПЛАЗМОТРО́Н — устройство для создания плотной (с давлением порядка атмосферного) *низкотемпературной плазмы* (с T до 10^4 К) с помощью *электрических разрядов в газах* и дающее плазменный поток, используемый для исследовательских и научных целей. Плазму газовых разрядов получают давно, уже более 100 лет, однако разработки спец. устройств начались в 10-х гг. 20 в., а сам термин «П.» возник примерно в 50-х гг., тогда же началось широкое практич. использование П.

Принцип работы П. заключается в следующем. Холодный газ непрерывным потоком продувают через область, где горит стационарный разряд; газ нагревается, ионизуется, превращается в плазму, к-рая вытекает из области разряда в виде плазменной струи чаще всего прямо в атмосферу (тогда и давление в плазме атмосферное). На практике обычно применяются П., работающие на *дуговом разряде*, *Пеннинга разряде*, ВЧ- и СВЧ-разрядах. Импульсные источники плазмы, работающие, напр., на искровом разряде, к П. не относятся. Кроме ионизации газа в электрич. разряде значительно реже используется ионизация газа электронным пучком. Принципиально можно нагревать и ионизировать газ мощным лазерным излучением для создания оптич. П.

Для науч. исследований и технол. целей используют П., работающие на разл. газах (воздух, аргон, азот, водород и др.), а также на газах с присадками паров или капель твёрдых веществ (напр., для плазменного нанесения покрытий). Мощность П. различна: от десятков Вт до десятков МВт, давление газа — от долей мм рт. ст. до десятков и сотен атмосфер.

Дуговой П. может работать на постоянном или переменном токе. Широко используемый дуговой П. пост.