

там же, 1976, v. 19, p. 1426; 5) G r i b k o v V., Feasibility study for developing a hybrid reactor, based on the DPF — device, «Atomkernenergie. Kerntechnik», 1980, Bd 36, № 3, p. 167.

В. А. Гривков.

ПЛАЗМОН — квант плазменных колебаний. В *плазме твёрдых тел* термины «П.» и «плазменное колебание» часто используются как синонимы, в отличие от газовой плазмы (см. *Волны в плазме*). Флуктуации плотности заряда создают электрич. поле, к-рое вызывает ток, стремящийся восстановить электронеутральность; из-за инерции носители заряда «проскакивают» положение равновесия, что и приводит к коллективным колебаниям. Энергия П. ϵ связана с частотой ω плазменных колебаний соотношением $\epsilon = \hbar\omega$. Спектр колебаний зависит от зонной структуры твёрдого тела, наличия границ, магн. поля и др.

ПЛАЗМООПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ — корпускулярно-оптич. системы, в к-рых для фокусировки (целенаправленного изменения фазового объёма потока заряж. частиц) используются электрич. и (или) магн. поля, созданные с помощью квазиравномерной или заряж. плазмы. П. с. очень многообразны, поскольку практически все плазменные образования содержат электрич. или магн. поля, к-рые так или иначе могут быть использованы для фокусировки пучков. В отличие от *электронной и ионной оптики*, рассматривающей фокусировку пучков заряж. частиц внешними электрич. и магн. полями в вакууме, фокусировку пучка электрич. и магн. полями плазмы изучает *п л а з м о о п т и к а*. В наст. время (90-е гг.) плазмооптика находится в стадии формирования, но проблема динамики проходящих через плазменные конфигурации пучков заряж. частиц привлекает внимание как с точки зрения диагностики этих конфигураций, так и для собственно фокусировки пучков при спец. выборе конфигураций и связанных с ними полей. Использование электрич. и магн. полей плазмы приводит к двум особенностям, привлекающим для исследователей. 1) В классич. корпускулярной электронной и ионной оптике электрич. и магн. поля лапласовы, т. е. потенциалы $\Phi_{эл}$ и $\Phi_{м}$ удовлетворяют ур-нию Лапласа

$$\Delta\Phi = 0. \quad (1)$$

Следствием этого является, напр., неустранимость сферич. aberrаций и квадратичная зависимость фокусного расстояния F от напряжения для осесимметричных линз (см. *Электронные линзы*). В П. с. могут быть реализованы нелапласовы электрич. и магн. поля, для к-рых зависимость F от напряжения линейна и сферич. aberrации устраняемы. 2) В большинстве П. с. объёмный заряд фокусируемого пучка компенсирован электронами, поэтому он не ограничивает нормальную работу устройств в очень широких пределах.

Становление плазмооптики. Классич. корпускулярная оптика берёт своё начало от работ Х. Буша (H. Busch, 1926), к-рый описал и исследовал лапласовы электростатич. и магн. линзы для электронных пучков малой плотности.

Первыми корпускулярно-оптич. системами, к-рые уже отличались от исходных лапласовых систем, были источники сильноточных электронных пучков. В работах И. Ленгмура (I. Langmuir), К. Д. Чайлда (C. D. Child), Дж. Пирса (J. R. Pierce) были подробно разработаны основы оптики пучков частиц с объёмным зарядом и установлен закон «3/2» (Чайлда — Ленгмура), в к-ром в корпускулярную оптику был введён «плазменный» масштаб — дебаевский радиус (см. *Ленгмура формула*). Именно такого порядка оказалось расстояние между электродами в диоде Ленгмура. В 1947 О. Шерцер (O. Scherzer) впервые предпринял попытки использовать объёмный заряд пучка для ослабления сферич. aberrации.

В работах Г. В. Спивака с сотрудниками (1946—49) обнаруживается и систематически исследуется фокусировка магн. линзой направл. потока электронов, эмитированных катодом ртутной дуги. Эти работы

были первой успешной демонстрацией фокусировки погружённого в плазму пучка частиц и по сути были предшественниками целого ряда последующих разработок, в т. ч. по транспортировке релятивистских электронных пучков (РЭП) и мощных ионных пучков в остаточном газе.

В 40-х гг. был разработан промышленный эл.-магн. способ разделения изотопов урана (см. *Изотопное разделение*). Для этой цели нужно было иметь сильноточные ионные пучки с достаточно высокими оптич. характеристиками (малым фазовым объёмом). В качестве фокусирующей системы использовалось квазидвухродное поперечное магн. поле. В таком сепараторе объёмный заряд быстрых ионов практически компенсирован холодными электронами, возникающими при столкновении ионов с атомами остаточного газа. Образующиеся при этом медленные ионы выталкиваются небольшим положит. зарядом пучка на стенки камеры. Т. о., здесь реализуется также и газовая фокусировка, для к-рой требуется некое оптимальное давление в камере.

В 1945—47 Д. Габором [1] была сформулирована идея и сделана попытка реализации т. н. линзы с объёмным зарядом (рис. 1). В объём квазидвухродного магн. поля

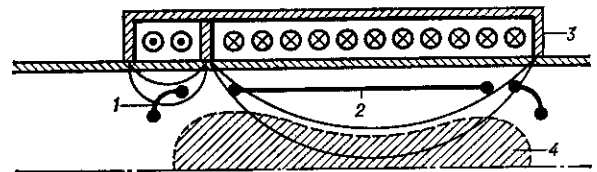


Рис. 1. Схема линзы с объёмным зарядом: 1 — горячий катод; 2 — анод; 3 — магнитопровод; 4 — электронное облако.

впрыскиваются электроны из катода. Для предотвращения ухода электронов из рабочей области магн. поле имеет пробки (см. *Открытые ловушки*). Поскольку напряжённость магн. поля относительно мала и выбирается только для удержания электронов, фокусировка ионов в линзе Габора осуществляется объёмным зарядом электронов, плотность к-рых предполагалась много больше плотности ионов ($n_e \gg n_i$). Если плотность электронов постоянная в объёме линзы, а этого специально добивались, то напряжённость электрич. поля $E_r \propto r$ и линза не должна создавать aberrаций (если можно пренебречь конечными эффектами). Электроны плазмы за счёт своей большой подвижности и подверженности неустойчивостям имеют тенденцию выравнивать потенциал вдоль магн. силовых линий произвольной конфигурации (свойство «эквипотенциализации» магн. силовых линий, см. [2]). Это свойство не зависит от того, является система квазиравномерной ($n_i \approx n_e$) или нет. Если электронная темп-ра $T_e \rightarrow 0$, условия эквипотенциализации можно записать в виде

$$\Phi(x) = \Phi(\gamma), \quad (2)$$

где γ — «номер» магн. силовой линии. Варьируя конфигурацию магн. силовых линий, можно создавать произвольный потенциальный рельеф в системе, т. к. каждая силовая линия магн. поля превращается в своеобразный «прозрачный электрод», на к-рый можно подать свой потенциал (подробнее см. ниже). Этим был указан путь к построению множества П. с., к-рые включают в себя как частный случай схему Габора и в то же время естественно примыкают к классич. корпускулярной оптике.

Системы, основанные не на ур-нии Лапласа (1), а на условии (2), наз. «собственно П. с.». Наряду с ними продолжается поиск новых типов П. с. Среди них следует отметить z -пинчи, в к-рых приосевая зона используется для фокусировки и транспортировки РЭП и сильноточных ионных пучков. Развиваются *п л а з м о д и н а м и ч е с к и е* системы, в к-рых осуществляется фоку-