

энергиях электронов. В термоядерных условиях можно считать, что один электрон излучает мощность kT/τ , где время излучения равно τ [с] = $250 \text{ В}^{-2}[\text{кГс}]$. Все электроны сгустка (N_2) излучали бы мощность $W = N_2 kT/\tau$, однако значительная её часть поглощается внутри самой П., в отличие от тормозного излучения, свободно выходящего наружу (см. также *Излучение плазмы*). Как показывают численные расчёты, из плазменного шнура радиуса a наружу выходит лишь небольшая доля K суммарной циклотронной мощности, прибл. равная $K = 60t\sqrt{t/p}$, где $t = kT/mc^2$, $p = \omega_p^2/c\omega_B$ — безразмерные параметры. Номер макс. циклотронной гармоники, излучаемой с поверхности П., можно оценить по ф-ле $n_{\text{макс}} = 7\sqrt{t}p^{1/4}$.

Важную роль в космич. плазме играет вынужденное излучение типа обратного Комптона эффекта. Им, а также магнитотормозным механизмом обусловлено излучение нек-рых космич. туманностей, напр. Крабовидной.

Корпускулярным излучением П. наз. быстрые частицы, вылетающие из неравновесной П. в результате развития разл. типов неустойчивостей. В первую очередь в П. возникают к.-л. характерные колебания, энергия к-рых затем передаётся небольшой группе резонансных частиц (см. выше). По-видимому, этим механизмом объясняется ускорение малоэнергичных космич. частиц в атмосфере Солнца и в туманностях.

Диагностика

Существует неск. методов диагностики П., т. е. определения её параметров. Помещая в плазму электрич. зонд (маленький электрод) и регистрируя зависимость тока от подаваемого напряжения, можно определить темп-ру и плотность П. С помощью миниатюрной индукц. катушки — магн. зонда — можно измерять изменение магн. поля во времени. Эти способы связаны, однако, с активным вмешательством в П. и могут внести нежелат. загрязнения. К более чистым методам относится просвечивание П. пучками нейтральных частиц и радиоволнами. Лазерное просвечивание П. в разл. вариантах, в т. ч. с использованием голографии, является наиб. тонким и к тому же локальным методом лаб. диагностики П.

Часто используют пассивные методы диагностики — наблюдение спектра излучения П. (единств. метод в астрономии), вывод быстрых нейтральных атомов, образовавшихся в результате *перезарядки ионов* в П., измерение уровня радишумов. Плотную П. изучают с помощью сверхскоростной киносъёмки (неск. млн. кадров в с) и *развёртки оптической*. В исследованиях по УТС регистрируются также рентг. спектр тормозного излучения и нейтронное излучение дейтериевой П. (см. также *Диагностика плазмы*).

Применения

Высокотемпературная П. ($T \sim 10^8 \text{ К}$) из дейтерия и трития, а также изотопа гелия ^3He — осн. объект исследования по УТС.

Низкотемпературная П. ($T \sim 10^3 \text{ К}$) находит применение в газоразрядных источниках света и в газовых лазерах, в *термозамиссионных преобразователях* тепловой энергии в электрич. и в *магнитогидродинамических генераторах*, где струя П. тормозится в канале с поперечным магн. полем B , что приводит к появлению между верх. и ниж. электродами (рис. 11) электрич. поля напряжённостью $E \sim v/c$ (v — скорость потока

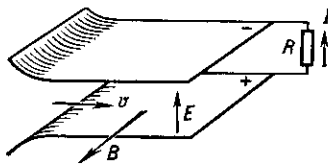


Рис. 11. Схема магнитогидродинамического генератора, преобразующего кинетическую энергию движущейся плазмы в электрическую энергию. R — внешняя нагрузка генератора, по которой протекает ток I .

П.); напряжение с электродов подается во внеш. цепь.

Если «обратить» МГД-генератор, пропуская через П. в магн. поле ток от внеш. источника, образуется плазменный двигатель, весьма перспективный для длительных космич. полётов.

Плазмотроны, создающие струи плотной низкотемпературной П., широко применяются в разл. областях техники. В частности, с их помощью режут и сваривают металлы, наносят покрытия. В *плазмотронии* низкотемпературную П. используют для получения нек-рых хим. соединений, напр. галогенидов инертных газов, к-рые не удаётся получить др. путём. Кроме того, высокие темп-ры П. приводят к высокой скорости протекания хим. реакций — как прямых реакций синтеза, так и обратных реакций разложения. Если производить синтез «на пролёте» плазменной струи, расширяя и тем самым быстро охлаждающая её на след. участке (такая операция наз. *закалкой*), то можно затруднить обратные реакции разложения и существенно повысить выход требуемого продукта.

Лит.: Альвен Х., Фельтхаммар К.-Г., *Космическая электродинамика*, пер. с англ., 2 изд., М., 1967; Гинзбург В. Л., *Распространение электромагнитных волн в плазме*, 2 изд., М., 1967; Арцимович Л. А., *Элементарная физика плазмы*, 3 изд., М., 1969; *Вопросы теории плазмы*, в. 1—18, М., 1963—90; Спитцер Л., *Физика полностью ионизованного газа*, пер. с англ., М., 1965; Трубников Б. А., *Введение в теорию плазмы*, ч. 1—3, М., 1969—78; Лукьянов С. Ю., *Горячая плазма и управляемый ядерный синтез*, М., 1975; *Основы физики плазмы*, под ред. А. А. Галеева, Р. Судана, т. 1—2, М., 1983—84; Чен Ф., *Введение в физику плазмы*, пер. с англ., М., 1987; Яданов С. К., Трубников Б. А., *Квазиазовые неустойчивые среды*, М., 1991.

Б. А. Трубников.

ПЛАЗМА ТВЕРДЫХ ТЕЛ — совокупность подвижных участвующих в электропереносе носителей заряда, взаимодействующих посредством кулоновских сил. Эти силы, описываемые, как правило, с помощью самосогласованных эл.-магн. полей, приводят к коллективному характеру движения заряж. частиц — осн. признаку *плазмы*. В отличие от газовой плазмы, все компоненты к-рой (электроны, ионы, нейтральные атомы) подвижны, ионы и атомы, входящие в состав твёрдого тела, совершают лишь малые колебания относительно положений равновесия, а в качестве подвижных носителей заряда, образующих П. т. т., выступает лишь нек-рая часть электронов. Последние движутся в самосогласов. поле в условиях, во-первых, сильного взаимодействия с атомами (ионами) кристаллич. решётки, формирующего их энергетич. спектр (см. *Зонная теория*), и, во-вторых, столкновений с примесями и дефектами кристаллич. решётки и с её колебаниями. Эти столкновения служат интенсивным каналом релаксации возбуждений П. т. т., отсутствующим в газовой плазме. Др. отличие состоит в более высокой концентрации носителей заряда в П. т. т. (10^{15} — 10^{19} см^{-3} в полупроводниках и полуметаллах и 10^{22} — 10^{23} см^{-3} в металлах).

П. т. т., как и газовая плазма, в среднем электрически нейтральна из-за компенсации зарядов разных знаков; вследствие временных флуктуаций плотности электрич. заряда в ней возникают плазменные или ленгмюровские колебания электронов, частота к-рых (для предельно длинных волн) определяется ф-лой (см. *Волны в плазме*):

$$\omega_p^2 = 4\pi e^2 n / m \epsilon. \quad (1)$$

Здесь e — заряд электрона, n — концентрация носителей заряда, m — их масса, ϵ — диэлектрич. проницаемость среды.

Если электронейтральность П. т. т. нарушена введением неподвижных сторонних зарядов, то их электрич. поле смещает подвижные заряды, обеспечивая экранирование этого поля. Характерный пространств. масштаб экспоненциального затухания поля даётся т. н. длиной экранирования Λ , равной