

ский радиус экранирования. Идеальную плазму можно определить также как плазму, в к-рой число зарядк. частиц в сфере с дебаевским радиусом велико. Оба определения приводят к одинаковому соотношению для параметров идеальной плазмы:

$$N e^2 / T^3 \ll C.$$

Числовой коэф. C в этом соотношении равен $9/32\pi$, если пользоваться первым условием, и $1/96$ л для второго условия. Такое различие делает границу между идеальной и неидеальной плазмой весьма размытой, а это означает, что в промежуточной области параметров неидеальность плазмы может существенно влиять на одни её свойства и не сказываться на других.

Неидеальная плазма с чисто кулоновским взаимодействием между частицами (полностью ионизованная) реально не существует. В такой плазме с большой скоростью происходит рекомбинация ионов и электронов с характерными временами значительно меньше атомных. За такие времена плотность зарядк. частиц существенно падает, а их темп-ра повышается и плазма перестаёт быть неидеальной. Неидеальная плазма существует в многокомпонентной системе, где возникают доплнит. условия стабилизации плазмы. Типичным примером неидеальной плазмы является плазма металла, к-рая сохраняется неидеальной за счёт сил взаимодействия с участием ионов решётки металла. Т. о., неидеальная плазма существует при плотности частиц, сравнимой с плотностью конденсированного состояния вещества. Слабоионизованный газ всегда является идеальной плазмой.

Н. п. можно также разделять на типы по способам её получения или использования: газоразрядная, пучковая, фоторезонансная, лазерная, ионосферная, солнечная, космич. плазма.

2. Способы создания Н. п.

В Н. п. потери зарядк. частиц связаны с рекомбинацией электронов и ионов и с уходом зарядк. частиц на стенки сосуда или за пределы занимаемого объёма. Для поддержания существования плазмы необходимы процессы ионизации, к-рые создают новые зарядк. частицы.

Наиб. старый и простой способ создания Н. п. — газоразрядный. Плазма создаётся в результате протекания в газе электрич. тока между электродами, к к-рым приложена постоянно поддерживаемая разность потенциалов. Газовый разряд содержит ряд областей, различающихся по своим свойствам, и поэтому имеется неск. типов газовых разрядов (см. *Электрические разряды в газах*). Для газоразрядной плазмы характерна квазистационарность, т. е. время её существования значительно превышает характерное время жизни отдельно выделенной зарядк. частицы.

Газоразрядному способу создания Н. п. подобно создание плазмы при электрич. пробое газа, к-рый осуществляется под действием разности потенциалов, приложенной к электродам. В этом случае получают импульсную плазму, к-рая распадается, как только электроды разрядятся. Пробой газа имеет неск. стадий, в итоге к-рых образуется проводящий канал — искровой разряд. Подобное явление имеет место в приземной атмосфере: молния — пробой газа между облаками или между облаком и землёй во время гроз.

Пробой газа может произойти за счёт высокой напряжённости эл.-магн. волн при прохождении сфокусиров. лазерного излучения через газ — лазерный пробой (см. *Оптические разряды*). Н. п., образовавшаяся при газовом пробое, распадается в результате рекомбинации и диффузии зарядк. частиц. Такую плазму наз. *р. а с п а д а ю щ е й с я п л а з м о й* или плазмой в послесвечении и используют для измерения скоростей рекомбинации и коэф. диффузии зарядк. частиц.

Под действием резонансного излучения образуется т. н. *фоторезонансная плазма*. Энергия фотонов резонансного излучения совпадает с энергией возбуждения

атомов или молекул газа. Образующиеся при поглощении резонансных фотонов возбуждённые атомы или молекулы при дальнейших столкновениях ионизируются. В качестве источника резонансного излучения используется разрядная лампа, содержащая данный газ, или перестраиваемый лазер. Этот способ генерации плазмы позволяет легко регулировать её параметры, поэтому фоторезонансная плазма применяется при создании пламенных нелинейных оптич. элементов для преобразования и стабилизации частоты лазерного излучения, для создания источников ионов разного сорта, акустич. источников и т. д. Фоторезонансная плазма отличается от газоразрядной плазмы по своим параметрам. В газоразрядную плазму энергия вводится через электроны, а от них она передаётся плазме, в фоторезонансной плазме энергия первоначально вкладывается в возбуждение атомов. Поэтому средняя энергия электронов в фоторезонансной плазме существенно ниже, чем в газоразрядной.

При прохождении электронного пучка через газ возникает пучковая плазма. Обычно для её создания используются пучки электронов с энергией в неск. сотен кэВ. Такие электроны свободно проходят через тонкие фольги и поэтому могут транспортироваться из электронной пушки в лаб. установку, содержащую газ при более высоких давлениях. Осн. процесс взаимодействия быстрых электронов с атомами или молекулами газа — ионизация атомов или ионов. Образующиеся при этом вторичные электроны имеют энергию, в неск. раз превышающую потенциал ионизации атомов или молекул. Т. о., при прохождении пучка электронов через газ энергия быстрых электронов преобразуется в энергию вторичных электронов (к-рая далее и используется) с высоким коэф. преобразования. Поэтому кпд устройств, возбуждаемых электронным пучком, достаточно велик. Напр., кпд молекулярных, хим. и эксимерных лазеров, возбуждаемых электронным пучком, $> 10\%$. Однако осн. достоинство возбуждения плазмы электронным пучком — возможность быстрого подвода энергии. Характерные времена возбуждения плазмы электронным пучком $\sim 10^{-9}$ с. Благодаря этому электронный пучок используется не только для создания импульсной Н. п., но и для предионизации. В мощных лаб. устройствах электронный пучок создаёт однородную первичную плазму, к-рая далее развивается под действием электрич. импульсного разряда.

В 1980-е гг. широкое развитие приобретает *лазерная плазма*. Лазер используется для разл. технол. операций — обработки поверхностей, сварки, резки металлов и т. д. При взаимодействии лазерного излучения с поверхностью образуется лазерная плазма, к-рая, взаимодействуя с лазерным излучением, может поглощать его, препятствуя проникновению лазерного излучения к обрабатываемой поверхности. Лазерная плазма — специфич. физ. объект, требующий исследования в плане конкретных технол. процессов.

Имеется много др. способов генерации Н. п. Плазма может быть получена под действием жёсткого излучения, ионизирующего газ (ионосфера Земли и др. планет), в результате прохождения пучка ионов или нейтронов через газ. В качестве генератора Н. п. могут быть использованы радиоакт. источники.

Ещё один способ создания Н. п. — химический: в плазмах зарядк. частицы образуются в результате процессов хемионизации.

3. Процессы в Н. п.

Осн. процессами в Н. п. являются элементарные процессы возбуждения и ионизации газа, рекомбинации зарядк. частиц и др., процессы переноса зарядк. и возбуждённых частиц, а также процессы переноса энергии за счёт теплопроводности, конвекции. Число типов элементарных процессов в Н. п. достигает неск. десятков. На примере плазмы воздуха (табл.) рассмотрим характер элементарных процессов в Н. п.