

Первостепенное значение среди элементарных процессов в Н. п. имеют процессы и о н и з а ц и и, ибо они поддерживают плазму. Чаще ионизация происходит в результате столкновения с электронами. Процесс 1 наз. прямой ионизацией, процесс 2 — ступенчатой ионизацией, представляющей собой последовательность процессов возбуждения метастабильного состояния (13) и ионизации возбуждённой молекулы. Ступенчатая ионизация эффективно происходит в относительно плотной плазме. Заряж. частицы в Н. п. могут образовываться с участием возбуждённых частиц — ассоциативная ионизация (3) или *Пеннинга эффект*. Заряж. частицы возникают также в результате фотоионизации. Процесс 4 — осн. процесс образования ионосферной плазмы под действием КВ-излучения Солнца.

Р е к о м б и н а ц и я — заряж. частиц в плазме может идти по разным каналам. Процессы 5, 6 — диссоциативная рекомбинация электрона и молекулярного иона, процесс 7 — взаимная нейтрализация положит. и отрицат. ионов, процесс 8 — трёхчастичная рекомбинация электрона и иона, процесс 9 — фоторекомбинация. Каждый из этих процессов при соответствующих условиях может быть доминирующим.

Элементарные процессы в низкотемпературной плазме

Тип процесса	№ процесса	Схема типичного процесса
Ионизация	1	$e + N_2(X^1\Sigma_g^+) \rightarrow 2e + N_2^+$
	2	$e + N_2(A^3\Sigma_u^+) \rightarrow 2e + N_2^+$
	3	$2N_2(A^3\Sigma_u^+) \rightarrow N_4^+ + e$
	4	$O + \lambda\omega \rightarrow O^+ + e$
Рекомбинация	5	$e + N_2^+ \rightarrow N + N$
	6	$e + N_4^+ \rightarrow N_2 + N_2$
	7	$N_2^+ + O_2^- \rightarrow N_2 + O_2$
	8	$e + O^+ + N_2 \rightarrow O + N_2$
Прилипание	9	$e + O^+ \rightarrow O + \lambda\omega$
	10	$e + O_2 + N_2(O_2) \rightarrow O_2^- + N_2(O_2)$
	11	$e + O_2 \rightarrow O^- + O$
Возбуждение	12	$e + O \rightarrow O^- + \lambda\omega$
	13	$e + N_2(X^1\Sigma_g^+) \rightarrow e + N_2(A^3\Sigma_u^+)$
	14	$e + N_2(X^1\Sigma_g^+) \rightarrow e + N_2(C^3\Pi_u)$
Перезарядка	15	$e + N_2(v=0) \rightarrow e + N_2(v \neq 0)$
	16	$N_2 + O_2^+ \rightarrow N_2^+ + O_2$
	17	$N_2^+ + N_2 \rightarrow N_2 + N_2^+$

Важную роль, особенно в плазме электроотрицательных газов, играют процессы прилипания электрона к атому или молекуле, в результате чего образуется отрицат. ион. Хотя процессы прилипания электрона не изменяют число заряж. частиц в плазме, но при таком переходе резко падает проводимость плазмы, существенно изменяются её др. свойства. Процесс 10 — трёхчастичное прилипание электрона к атому, процесс 11 — диссоциативное прилипание электрона к молекуле, процесс 12 — фотоприлипание. В частности, в атм. воздухе в результате процесса 10 за 10^{-7} с первоначально образованные медленные электроны превращаются в отрицат. ионы, а процесс 12 ответственный за ночное свечение неба.

Процессы возбуждения атомов и молекул существенны и для поддержания Н. п. и при преобразовании энергии внеш. источника в энергию излучения в газоразрядных лампах и газовых лазерах. Процесс 13 — образование метастабильной молекулы — является первой стадией ступенчатой ионизации молекул.

Процесс 14 — возбуждение резонансных состояний молекулы; в азотном лазере, напр., этот процесс создаёт инверсную заселённость уровней. Процесс 15 — возбуждение колебат. уровней молекулы, этот процесс преобладает в тлеющем разряде в азоте и в лазере на углекислом газе, что обеспечивает большой кпд и высокую мощность лазера.

Процессы перезарядки и 16, 17 приводят к переходу заряда от одной частицы к другой. Особенно существенна резонансная перезарядка (17), к-рая эффективнее упругого рассеяния, т. к. резонансная перезарядка происходит при прямолинейных траекториях движения иона и молекулы. Резонансная перезарядка определяет параметры транспорта ионов — подвижность и коэф. диффузии (продольной и поперечной по полю) в соств. газе.

Рассмотренные процессы типичны для разл. видов плазмы, но для каждой конкретной системы могут оказаться важными, определяющими свойства и параметры плазмы, и др. типы процессов. Напр., это могут быть процессы колебательной релаксации возбуждённых молекул, процессы тушения возбуждённых молекул и атомов при столкновении с электронами и нейтральными частицами, процессы разрушения отрицат. ионов и т. д.

4. Неустойчивости и структуры Н. п.

Коллективные явления не играют в Н. п. первостепенной роли, как в горячей плазме, но их влияние на свойства плазмы может быть заметным. Присутствие большого числа нейтральных частиц в слабоионизов. плазме приводит к затуханию мн. типов колебаний, характерных для горячей плазмы, и к устойчивости Н. п. относительно этих колебаний. Если степень ионизации плазмы не очень мала, то осн. типы колебаний плазмы возникают в ней, хотя и не так чётко выражены. В частности, в положит. столбе дугового разряда низкого давления, где степень ионизации плазмы доходит до процентов, присутствуют как плазменные колебания, так и ионный звук. Возникновение плазменных неустойчивостей приводит, в свою очередь, к осцилляции разрядного тока.

Неустойчивости Н. п., приводящие к нарушению пространственного распределения плазмы или к её разрушению, существенно отличаются от неустойчивостей горячей плазмы. Осн. типы неустойчивостей Н. п.: ионизационная, прилипательная и тепловые неустойчивости.

Ионизационная неустойчивость обусловлена связью скорости ионизации с пространств. распределением заряж. частиц, со ср. энергией электронов или с др. параметрами плазмы. В случае ионизац. неустойчивости снижение скорости ионизации уменьшает соответствующий параметр плазмы, а это приводит к последующему понижению скорости ионизации. Механизмов развития ионизац. неустойчивости может быть много в зависимости от конкретных условий.

Прилипательная неустойчивость связана с процессом перехода отрицат. заряда от электронов к отрицат. ионам. В этом случае образование отрицат. иона изменяет параметры плазмы так, что делает благоприятным дальнейшее прилипание электронов к атомам. В результате либо нарушается однородное распределение плазмы, либо нарушаются условия существования плазмы и она разрушается (подробнее см. *Плазма электроотрицательных газов*).

Тепловые неустойчивости проявляются во влиянии теплового режима и процессов переноса на параметры плазмы. Ярким примером является тепловой взрыв в лазере на угарном газе. Как во всяком молекулярном газе, колебат. темп-ра в плазме этого лазера превышает поступат. темп-ру газа. В процессе колебат. релаксации, связанной с тушением колебат. возбуждённых молекул, часть колебат. энергии переходит в поступательную, что приводит к повышению