

где  $Ag^*$  — возбуждённый атом. В плазме молекулярных газов происходит диссоциация молекул при электронном ударе, при столкновениях с более тяжёлыми частицами, в т. ч. находящимися в метастабильном состоянии; при этом могут диссоциировать молекулы, находящиеся не только в основном, но и в возбуждённом состоянии. В плазме молекул с большим *сродством к электрону* может происходить диссоциативное прилипание электрона с образованием отрицат. иона, напр.  $HCl + e \rightarrow Cl^- + H$ . Возможны также рекомбинация тяжёлых частиц в молекулы, диссоциативная рекомбинация молекулярных ионов с электронами и т. д. В плазме смеси газов осн. вклад в диссоциацию вносят передача энергии электронного возбуждения и перезарядка. Так, в плазме тлеющего разряда в смеси  $O_2$  и  $CO$  происходит реакция:  $O_2 + CO^* \rightarrow CO + 2O$ . В существенно неравновесной плазме (напр., при пониженном давлении) осн. роль играют реакции однократного электронного удара и реакции возбуждённых молекул и атомов, находящихся в метастабильных состояниях. В плазмах осн. процессы, происходящих в ограниченном пространстве (реакторах), существенную роль играют процессы взаимодействия частиц плазмы с частицами поверхности стенок (гетерофазные реакции, адсорбция, диффузия, тепло- и массоперенос). Осуществлены реакции соединения в плазме  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $Cl_2$ ,  $F_2$ ,  $CH_4$ ,  $CF_4$  и т. д. с углеводородами, полупроводниками, диэлектриками с образованием оксидов, нитридов, карбидов, боридов и т. д.

**Плазмохимическая технология.** В промышленных масштабах квазиравновесные и неравновесные плазмохим. процессы реализуют в тех случаях, когда в результате получают чистые и высокочистые материалы, когда соединения обладают необычной структурой или уникальными свойствами, когда достигается высокий выход продуктов реакции. В плазмохим. процессах можно использовать широкодоступное и малоценное сырьё (напр., воздух), а также трудно перерабатываемое обычным способом сырьё или отходы разл. производств.

Технол. схема плазмохим. процесса кроме операций, присущих любому хим. процессу (подготовки сырья, сохранения, выделения и очистки целевого продукта), содержит стадии генерации плазмы, плазмохим. превращений и закалки. В генераторе плазмы происходит преобразование теплоносителя или реагента в плазменное состояние. Обычно в качестве генератора плазмы используется *плазмотрон*, применяются также ударные трубы и мощные лазеры. В смесителе плазмохим. реактора образуется смесь плазмообразующего газа с остальными реагентами, обладающими задаваемыми параметрами, определяемыми термодинамикой и кинетикой процесса. При этом начинается хим. реакция, зависящая от организации смещения компонентов и продолжающаяся непосредственно в реакторе. Если необходимо, реакцию прекращают не непосредственно в реакторе. Прекращают реакцию на требуемой стадии резким снижением темп-ры в закалочном устройстве. Плазмохим. технологию применяют для органич. и неорганич. синтеза, для получения ультрадисперсных порошков, плёнок органич. и неорганич. материалов, для получения мембран разл. типов, травления, модификации поверхности разных материалов и изделий, обработки полимеров, получения световодов и т. д. П. используется в физ. и хим. анализе.

*Лит.:* Теоретическая и прикладная плазмохимия, М., 1975; Плазмохимические реакции и процессы, под ред. Л. С. Полака, М., 1977; Цветков Ю. В., Панфилов С. А., Низотемпературная плазма в процессе восстановления, М., 1980; Словерский Д. И., Механизм химических реакций в неравновесной плазме, М., 1980; Полак Л. С., Михайлов А. С., Самоорганизация в неравновесных физико-химических системах, М., 1983; Русанов В. Д., Фридман А. А., Физика химической активной плазмы, М., 1984; Полак Л. С., Гольденберг М. Я., Левицкий А. А., Вычислительные методы в химической кинетике, М., 1984; Бугаенко Л. Т., Кульмин М. Г., Полак Л. С., Химия высоких энергий, М., 1988.

**ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ** — класс *туманностей*, ионизованных излучением. П. т. представляет собой разреженное, но довольно компактное светящееся газовое облако, окружающее горячую звезду, расположенную обычно в центре облака и наз. ядром туманности (рис.). П. т. являются расширяющимися оболочками, сброшенными ядрами. П. т. — одни из осн. поставщиков вещества в *межзвёздную среду*,



Кольцеобразная планетарная туманность в созвездии Лиры (NGC 6720); размеры  $1' \times 1,5'$ , звезда в центре — ядро туманности.

обогащающих её тяжёлыми элементами. Значит. часть П. т. при наблюдении в телескоп имеет вид резко очерченных образований округлой формы (наименее ярких диски планет — отсюда название) зеленоватого цвета с весьма неоднородным распределением яркости. Ок. 20% всех П. т. составляют кольцеобразные туманности, наиб. многочисленны ( $\geq 50\%$  общего числа) т. н. звездообразные П. т., по внеш. виду не отличимые от звёзд и отождествляемые лишь по спектру. Известно ок. 2000 П. т., принадлежащих Галактике. Неск. сотен П. т. открыто в др. галактиках. Подавляющее большинство П. т. имеет угл. размеры менее  $10''$ . Ср. радиус П. т.  $10^{17}$  см. Яркие П. т. часто имеют более слабую протяжённую оболочку, в нек-рых П. т. обнаружены гигантские гало с угл. размером, превышающим  $10'$ .

Спектр П. т. состоит из множества эмиссионных линий, наложенных на слабый непрерывный спектр (континуум). Наиб. интенсивными спектральными линиями являются т. н. линии «небулия» — *запрещённые линии* иона OIII. Их высокая интенсивность объясняется высокой темп-рой возбуждающей центральной звезды ( $\sim 10^5$  К), малой плотностью газа ( $10^3$ — $10^4$  атомов/см<sup>3</sup>) и излучения. Наблюдаются также запрещённые линии ионов OII, NII, NeIII—V, SII, SIII и др. Свечение П. т. происходит за счёт *флуоресценции* — УФ-излучение горячей центральной звезды трансформируется в более ДВ-излучение туманности. Свечение в разрешённых спектральных линиях происходит в основном вследствие ионизации и последующей рекомбинации атомов HII, HeI и иона HeII. Запрещённые же линии возбуждаются в результате столкновений атомов и ионов со свободными электронами. Анализ эмиссионного спектра даёт осн. информацию о физ. условиях в П. т.: ср. электронной концентрации ( $10^3$ — $10^4$  см<sup>-3</sup>), электронной темп-ре ( $1$ — $1,5 \cdot 10^4$  К), хим. составе, к-рый в среднем близок к солнечному, однако наблюдаются отличия, зависящие от принадлежности данной П. т. к подсистеме населения Галактики, а также от нач. массы родительской звезды. Непрерывный спектр П. т. обусловлен в основном рекомбинац. свечением HII, HeI и HeII, излучением при свободно-свободных переходах (особенно в области  $\lambda > 12000 \text{ \AA}$ ), а также *двухфотонным излучением* водорода, особенно интенсивным в УФ-области спектра. П. т. являются также источниками непрерывного теплового радиоизлучения и радиоизлучения в линиях (*рекомбинационные радиолнии*  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$ , ...,  $He_{\alpha}$ ,  $He_{\beta}$  и др., полосы молекул CO и  $H_2$ ). Обнаружено также непрерывное ИК-излучение, представля-