

тистич. сумму Q , а затем вычислить термодинамич. ф-ции газа. В частности, теплоёмкость C_p одного моля газа при пост. давлении определяется по ф-ле

$$C_p = R + R \frac{d}{dT} \left[T^2 \frac{d(\ln Q)}{dT} \right].$$

Лит.: Герцберг Г., Спектры и строение двухатомных молекул, пер. с англ., М., 1949; е го же, Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул, пер. с англ., М., 1949; е го же, Электронные спектры и строение многоатомных молекул, пер. с англ., М., 1969; е го же, Спектры и строение простых свободных радикалов, пер. с англ., М., 1974; Таунс Ч., Шавлов А., Радиоспектроскопия, пер. с англ., М., 1959; Вильсон Е., Дешюс Дж., Кросс П., Теория колебательных спектров молекул, пер. с англ., М., 1960; Ельшиевич М. А., Атомная и молекулярная спектроскопия, М., 1962; Gordy W., Cook R. L., Microwave molecular spectra, 3 ed., N. Y., 1984; Wollrab J. E., Rotational spectra and molecular structure, N. Y. — L., 1967; Molecular spectroscopy: modern research, v. 1—3, N. Y. — L., 1972—85; Пароусек Д., Алиев М. Р., Molecular vibrational/rotational spectra, Prague, 1982; Нигота Е., High-resolution spectroscopy of transient molecules, В.—[а. о.], 1985. М. Р. Алиев.

МОЛЕКУЛЫ в атмосферах и оболочках звёзд. В атмосферах горячих звёзд спектральных классов О, В, А и F М. отсутствуют, имеются лишь атомы и ионы. В спектрах менее горячих звёзд спектральных классов G и K с темп-рой поверхности $T \lesssim 6000$ К обнаруживаются следы М. В спектрах холодных красных звёзд с $T \lesssim 3500$ К самой характерной особенностью является наличие сильных молекулярных полос поглощения. В соответствии с этим холодные звёзды подразделяют на 4 спектральных класса М, R, N, S. В видимом диапазоне в спектрах М-звёзд доминируют полосы TiO, у R-звёзд — CN, у N-звёзд — C₂ и у S-звёзд — ZrO. В атмосферах М- и S-звёзд наряду с TiO и ZrO найдены оксиды CO, SiO, VO, ScO, YO, CeO, LaO, а также гидриды магния, кальция, железа, кобальта, никеля и др. Существенно иной молекулярный состав атмосфер R- и N-звёзд, у к-рых кроме CN и C₂ обнаружены CO, CS, SiC, а также М. ацетилена C₂H₂, карбида кремния SiC₂, синильной к-ты HCN и др.

Атмосферы звёзд имеют равновесный молекулярный состав, не зависящий от конкретных хим. реакций, а определяемый только темп-рой, энергиями диссоциации М. ($\epsilon_{\text{дис}}$) и содержанием хим. элементов. Молекулярный водород H₂, хотя непосредственно и не наблюдается, является, обычно, доминирующим компонентом атмосферы. По числу атомов при нормальном космич. содержании элементов: [H] ~ 93% и [He] ~ 7% (см. Распространённость элементов). Остальные элементы составляют лишь небольшую примесь, наиб. содержание из них имеют O и/или C, к-рые идут прежде всего на образование CO, поскольку эта М. самая устойчивая ($\epsilon_{\text{дис}} = 11,1$ эВ). Отношение [O]/[C] играет ключевую роль в формировании молекулярного состава атмосферы.

Звёзды спектральных классов М и S богаты кислородом. У них [O] > [C], и весь углерод связывается в CO, др. молекулы, содержащие C, не образуются. Оставшийся кислород идёт на образование менее устойчивых оксидов, прежде всего SiO ($\epsilon_{\text{дис}} = 8,2$ эВ), ZrO ($\epsilon_{\text{дис}} = 7,8$ эВ), если хватает кислорода, то TiO ($\epsilon_{\text{дис}} = 7,0$ эВ) и т. д. вплоть до радикала OH ($\epsilon_{\text{дис}} = 4,4$ эВ), к-рый преобразуется в H₂O и забирает несъём остаток кислорода. Поэтому оксиды с $\epsilon_{\text{дис}} < 4,4$ эВ не образуются, а соответствующие элементы дают в осн. гидриды. Различие М- и S-звёзд обусловлено различиями в кол-ве остаточного кислорода ([O] — [C]) и, возможно, повышенным содержанием тяжёлых элементов в S-звёздах.

Звёзды спектр. классов R и N являются углеродными звёздами (иногда их объединяют в один спектр. класс С). У них [C] > [O] и весь кислород захватывается в CO, др. оксиды не образуются. Оставшийся углерод идёт на образование наиб. устойчивых радикалов — CN ($\epsilon_{\text{дис}} = 7,8$ эВ), CS ($\epsilon_{\text{дис}} = 7,4$ эВ), C₂ ($\epsilon_{\text{дис}} = 6,2$ эВ), к-рые затем формируют более сложные органич. М. —

C₂H, C₂H₂, HCN, HC₃N и др. Различие R- и N-звёзд обусловлено в основном разницей в содержании азота. Мн. звёзды спектр. классов M, R, N, S окружены протяжёнными, весьма разреженными и холодными газопылевыми оболочками, образовавшимися в результате истечения вещества из атмосфер звёзд. Молекулярный состав оболочки формируется в верх. слоях атмосферы, а затем «замораживается», т. к. скорости хим. реакций с уменьшением темп-ры и плотности резко падают. Состав оболочки соответствует равновесию при $T \approx 1000$ —500 К. При таких темп-рах ряд веществ конденсируется, образуя твёрдые пылинки. ИК-излучение оболочки обусловлено в осн. тепловым излучением пыли, нагреваемой светом центр. звезды. Отд. детали в этом спектре указывают на то, что пылинки в оболочках М- и S-звёзд состоят из силикатов, а в оболочках R- и N-звёзд — из графита, ароматич. углеводородов и, возможно, карбидов.

Радиоастр. наблюдения показали, что атмосферы и оболочки многих М-звёзд являются мощными источниками мазерного излучения в радиодиапазах SiO, H₂O и OH (см. Мазерный эффект в космосе). В отличие от них R- и N-звёзды не дают такого мазерного излучения, но спектр их радиоизлучения содержит множество эмиссионных линий разнообразных М., не только простых — CO, CN, CS, SiS, но и сложных — SiC₂, C₂H₂, NH₃, HCN, включая органические, напр. ряд цианополимеров HC₃N, HC₅N, HC₇N, HC₉N, HC₁₁N и их фрагментов, возникающих в результате фотодиссоциации исходных молекул C₂H₂, C₃N₂, C₄H.

М. являются крайне чувствительными индикаторами физ. условий. Поэтому анализ интенсивностей молекулярных линий и полос в спектрах звёзд и оболочек позволяет получить детальную информацию о хим. и изотопич. составе вещества (рис. 1), о строении звёзд-

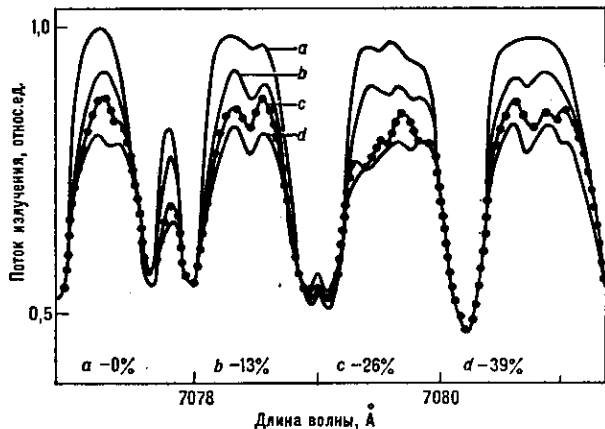


Рис. 1. Полоса поглощения TiO в спектре М-звезды. Относительное содержание редких изотопов титана определяют из сравнения рассчитанных профилей (отмечены буквами) с измеренными (точки).

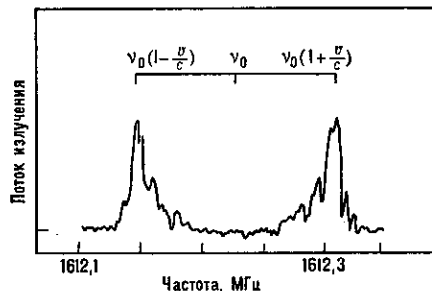


Рис. 2. Профиль линии мазерного излучения OH 1612 МГц, формирующийся в расширяющейся оболочке М-звезды. Скорость расширения оболочки v определяют по величине расщепления линии $\Delta\nu = 2\nu_0 v/c$.