

Имеются более мелкие молекулярные облака (тёмные и чёрные облака, гигантские глобулы и др. с  $n = 10^2 - 10^4 \text{ см}^{-3}$ ,  $T \approx 10 \div 20 \text{ K}$ ,  $d \lesssim 1 \text{ пк}$ ). В молекулярных облаках часто встречаются уплотнения с  $n > 10^5 \text{ см}^{-3}$ ,  $T$  — от 4–6 K и более, массой  $M \sim 1 - 100 M_{\odot}$ , а вблизи мощных источников энергии — мазерные конденсации с  $n \approx 10^{5-10} \text{ см}^{-3}$ ,  $M \sim 10^{-5} M_{\odot}$ . Вблизи горячих звёзд и их групп имеются *зоны III*.

Перечисленные выше области содержат более половины массы М. г., но занимают ок. 0,01% объёма. Около половины объёма М. г. занято областями атомарного водорода (HI), распадающимися на межзвёздные облака ( $T \approx 80 \text{ K}$ ,  $n = 1 - 100 \text{ см}^{-3}$ ,  $d \sim 10 \text{ пк}$ ,  $M = 10 - 1000 M_{\odot}$ ) и межоблачную среду, или т. н. тёплые области HI ( $T = 7000 - 10000 \text{ K}$ ,  $n \approx 0,1 \text{ см}^{-3}$ ). В областях HI водород и гелий слабо ионизованы. Основная часть объёма занята гл. обр. областями т. н. коронального газа, или горячей фазой М. г. ( $T = 3 \cdot 10^5 - 10^6 \text{ K}$ ,  $n = 0,003 - 0,01 \text{ см}^{-3}$ , иногда  $0,001 - 0,1 \text{ см}^{-3}$ ,  $d = 50 - 300 \text{ пк}$ ), в окрестностях к-рого имеются также зоны III низкой плотности ( $T \sim 10^4 \text{ K}$ ,  $n = 0,1 - 1 \text{ см}^{-3}$ ,  $d = 1 - 50 \text{ пк}$ ) и области HI с  $T = 300 - 5000 \text{ K}$  (неск. % по объёму). Кроме этого, в М. г. имеются *туманности*, образованные очень сильными (*Маха число* до  $10^4$ ) ударными волнами, созданными *звёздным ветром* и вспышками сверхновых и новых звёзд (см. *Остатки вспышек сверхновых*). М. г. в них нагрет до  $10^{6-7} \text{ K}$  и более.

Большинство структур М. г. находится в состоянии, далёком от газодинамического, а иногда и теплового равновесия. Характерные времена динамики процессов в М. г.  $t \approx d/v_{\text{зв}} \sim 10^{6-8}$  лет ( $v_{\text{зв}}$  — скорость звука). За такое время большинство структур М. г. разрушается. Особенно сложна и динамична структура М. г. в областях звездообразования. Их типичный размер 100–500 пк. В них собраны в единый комплекс гигантские молекулярные облака, протяжённые и компактные зоны III, ИК-туманности — протозвёзды, космич. мазеры на молекулах  $\text{H}_2\text{O}$ , OH,  $\text{CH}_3\text{OH}$  и т. д.

Наряду с крупномасштабной структурой (туманности, облака) М. г. имеет сложную мелкомасштабную структуру — волокна, конденсации и т. д. с масштабами до 0,1–0,001 пк и менее. Возникают они под действием разл. гидродинамич. и магнитогиродинамич. неустойчивостей. Вытянутая форма часто обусловлена межзвёздными магн. полями.

**Физические процессы в М. г.** Условия в М. г. далеки от термодинамич. равновесия. Поэтому анализ условий в М. г. проводится на основе ур-ний статистич. баланса, учитывающих элементарные процессы, определяющие населённость уровней энергии атомов, ионов, молекул, их ионизацию и рекомбинацию, а также образование и разрушение молекул, нагрев и охлаждение среды. Обычно в М. г. с хорошей точностью устанавливается *Максвелла распределение* по скоростям — в ударных волнах отдельно для электронов и ионов, в др. случаях — общее для всех частиц, что позволяет говорить о темп-ре М. г. Отклонения населённостей уровней от *Больцмана распределения* обычно очень велики. Особенно ярко они проявляются в космич. мазерах. Населённость уровней, определяющая интенсивность спектральных линий и непрерывного спектра, формируется под влиянием столкновительных и радиативных процессов и нередко рекомбинац. заселением уровней.

Осн. механизмами ионизации М. г. являются фотоионизация, а также, по-видимому, ионизация низкоэнергичной частью *космических лучей* (субкосмич. лучами) и тепловыми электронами. В активных галактик. ядрах преобладает фотоионизация рентг. излучением. Важна роль *оже-эффекта* и реакций *перезарядки ионов* с атомами H и He, радиативной и *дизлектронной рекомбинации*.

*Кинетика химическая*. М. г. определяется как газо-фазными реакциями, так и реакциями на поверхности

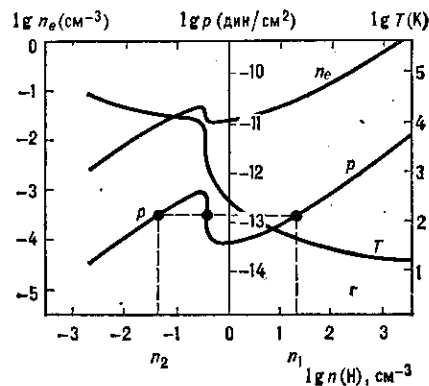
пылинок. Среди газофазных реакций важны лишь бинарные процессы. Определяющую роль в поддержании разнообразия молекул играют ионно-молекулярные реакции, не имеющие активац. барьеров. Они важны, несмотря на очень низкую ( $\sim 10^{-8}$ ) степень ионизации М. г. в молекулярных облаках. В совр. М. г. (в отличие от условий в ранней Вселенной, см. *Космология*) молекулы  $\text{H}_2$  образуются на поверхности пылинок. Молекулы разрушаются УФ-излучением звёзд. Поэтому М. г. молекуляризован только в плотных облаках, центр. части к-рых экранированы от УФ-излучения межзвёздной пылью.

М. г. нагревается УФ-, мягкими рентг. и субкосмич. лучами, а также ударными волнами. Объёмное охлаждение происходит в осн. при излучении в спектральных линиях тепловой энергии, затраченной на возбуждение уровней, а также за счёт тормозного и рекомбинац. излучений в непрерывном спектре. В зависимости от темп-ры М. г. преобладает излучение в непрерывном спектре ( $T \gtrsim 10^7 \text{ K}$ ) либо в спектральных линиях — рентгеновских ( $T = 10^{6-7} \text{ K}$ ), УФ- ( $T = 10^{4-6} \text{ K}$ ), оптических ( $T = 5000 - 10000 \text{ K}$ ), ИК- ( $T = 30 - 5000 \text{ K}$ ), субмиллиметровых ( $T \lesssim 30 \text{ K}$ ).

Гамма-излучение М. г. обусловлено взаимодействием М. г. и пыли с космич. лучами. Наблюдаются гамма-линии позитрония (0,511 МэВ) и линии возбуждения атомных ядер (1–6 МэВ), а также излучение в непрерывном спектре с энергиями фотонов до  $10^{10}$  эВ. Непрерывный спектр формируется тормозным излучением электронного компонента космич. лучей и фотораспадом  $\pi^0$ -мезонов, образованных в ядерных реакциях.

В большей части объёма М. г. успевают установиться состояние, близкое к гидростатич. равновесию, — давление  $p$  в разных участках М. г. примерно одинаково.

В результате упомянутых выше процессов нагрева и охлаждения ур-ние состояния  $p(T)$  или  $p(n)$  непотонно в области темп-р  $50 - 10^4 \text{ K}$  (рис.). Это означает,



Зависимость давления ( $p$ ), температуры ( $T$ ) и концентрации электронов ( $n_e$ ) от концентрации водорода  $n(\text{H})$  в разреженном межзвёздном газе, нагретом космическими лучами низких энергий.

что М. г. подвержен тепловой неустойчивости, разбивающей среду на облака HI ( $T \approx 80 \text{ K}$ ) и тёплые области HI ( $T \approx 8000 \text{ K}$ ), отличающиеся по плотности в  $\sim 100$  раз.

Важнейшую роль в формировании крупномасштабной структуры М. г. играют взрывы *сверхновых звёзд*. Сильная ударная волна выметает осн. часть М. г. из области размером во мн. десятки пк, создавая долгоживущие ( $\sim 10^7$  лет) полости, содержащие горячий (корональный,  $T \sim 10^6 \text{ K}$ ) газ очень низкой плотности  $\sim 10^{-3} \text{ см}^{-3}$ . Холодному газу сообщаются пекулярные скорости  $\approx 6 - 15 \text{ км/с}$ . Часть М. г. поднимается взрывом на сотни парсек над галактич. плоскостью (т. н. галактич. фонтаны). При последующем охлаждении такой М. г. может падать назад в виде высококипящих облаков. При достаточной частоте вспышек сверхновых часть М. г. может оттекать от галактик в *межгалактический газ* (галактич. ветер). В поддержании пеку-