

§ 25. Наблюдения областей звездообразования

Исследования областей звездообразования стали возможными благодаря успехам наблюдений в инфракрасной ($\lambda = 1-100$ мкм) и субмиллиметровой ($\lambda = 0,1-1$ мм) областях спектра. Согласно теоретическим представлениям [637], образование звезды является результатом развития неустойчивости (тепловой или гравитационной) в плотном межзвездном облаке, ведущей к гидродинамическому сжатию облака или его части и образованию сравнительно плотного, оптически непрозрачного ядра. Ядро, окруженное плотной газопылевой оболочкой, аккрецирующей или (и) истекающей наружу, должно иметь большой размер $R \geq 10^3 R_{\odot}$, низкую температуру фотосферы $T \leq 500$ К и доступно наблюдениям только в длинноволновой области спектра ($\lambda \geq 2$ мкм).

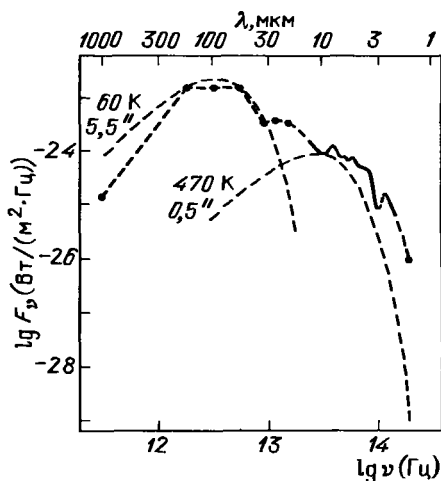
Наземные наблюдения в диапазоне 2,2–20 мкм областей ожидаемого звездообразования в созвездиях Ориона, Единорога и др. дали важные результаты. В этих областях расположены молодые звездные скопления (ассоциации), области НII, темные облака*, центральные конденсации молекулярных облаков, мазерные и инфракрасные источники. Наблюдения позволили получить данные о 30 объектах, свойства которых близки к свойствам протозвезд на стадии после образования непрозрачного ядра [641]. Светимость этих протозвезд в среднем равна $\sim 10^3 L_{\odot}$, но в отдельных случаях достигает $2 \cdot 10^5 L_{\odot}$ или $25 L_{\odot}$. Основной поток излучения идет в области длин волн $\lambda > 2$ мкм, а найденный от некоторых источников оптический поток много меньше инфракрасного. Спектр одного из источников (NGC 2264) проведен на рис. 25 из [641]. Все источники связаны с молекулярными облаками и в большинстве из них наблюдаются H_2O -мазеры. Некоторые источники находятся внутри компактных НII-зон, также расположенных в молекулярных облаках. Размеры источников лежат в пределах от 10^3 до $10^5 R_{\odot}$. В наблюдаемое от них излучение существенный вклад вносит пыль и различные молекулы (СО и др.).

Имеющиеся наблюдательные данные позволяют считать, что эти 30 объектов обладают характеристиками, являющимися следствием проявления текущей или недавней аккреции. В то же время имеющиеся данные не позволяют однозначно сделать вывод о том, что эти объекты находятся на стадии аккреции (см. § 26), а внутри их имеется гравитационный, а не термоядерный источник энергии.

Важным и до конца не объяснимым свойством этих объектов является наличие наблюдаемых скоростей истечения, достигающих $10-100$ км \cdot с $^{-1}$. Эти скорости много больше характерных скоростей свободного падения в облаках, составляющих ~ 1 км \cdot с $^{-1}$, но много меньше скоростей истечения, 100 км \cdot с $^{-1}$ наблюдаемых у горячих звезд [489]. Поток массы при этом значительно больше наблюдаемого потока из горячих звезд. Возможно, что данный тип истечения характерен для мас-

* В темных газопылевых облаках поглощение в оптическом диапазоне составляет $< 10^m$.

Рис. 25. Распределение энергии в инфракрасном источнике NGC 2264 в области $1,6 \div 1000$ мкм. Непрерывная линия — данные спектрофотометрии, штриховые отрезки — области интерполяции. Тонкие штриховые линии — теоретические планковские спектры круглого источника с указанной температурой и угловым диаметром



сивных звезд на стадиях перехода от протозвезды к главной последовательности. Он может быть объяснен истечением в условиях большой оптической толщи, когда на уровне критической точки имеет место $\tau_K \gg 1$. При этом радиус фотосферы превышает критический ($r_{\text{ф}} > r_K$), в отличие от горячих звезд [98], где ускорение вещества связывается с лучистым давлением в линиях, а средняя оптическая толщина потока мала ($\tau_K \ll 1$). Отсутствие удовлетворительной теории этого явления привело к появлению гипотезы о существенной роли каких-то неучтенных или неизвестных до сих пор процессов внутри звезд для истечения вещества и образования протозвезд [337], созвучной с идеями, высказанными В.А. Амбарцумяном [7]. Одной из вероятных причин отсутствия наблюдаемой аккреции в упомянутых 30-и источниках является то, что масса их может быть довольно большой $\geq 3-5 M_{\odot}$, так что стадия аккреции с преобладанием гравитационного источника энергии является слишком кратковременной, чтобы быть наблюдаемой. В то же время звезды меньшей массы $\sim 1 M_{\odot}$, у которых эта стадия достаточно продолжительная, могут быть более холодными и светить, в основном, в диапазоне $\lambda > 20$ мкм. Наблюдательные результаты, свидетельствующие в пользу этого предположения, получены при наземных и самолетных наблюдениях в дальней инфракрасной ($\lambda > 60$ мкм) и субмиллиметровой областях [440] и на инфракрасном спутнике ИРАС [505], позволяющем проводить наблюдения в области от 10 до 100 мкм.

Наблюдения глобулы Бока В335 в диапазоне 0,06–1 мм привели к обнаружению в центре ее очень холодного компактного источника с полной светимостью $\geq 5,3 L_{\odot} (D/400 \text{ пк})^2$, что превышает 70% полной светимости глобулы [440]. Плотность молекул H_2 в центральной конденсации глобулы $\geq 10^6 \text{ см}^{-3} (D/400 \text{ пк})^2$, масса центрального ядра $\sim 6,5 M_{\odot} (D/400 \text{ пк})^2$, а источником энергии может быть звезда с массой $\leq 2 M_{\odot}$ на стадии гравитационного сжатия. Интересно, что центральный источник не обнаружен в радио и в ближней инфракрасной области $\lambda \leq 10$ мкм. Спектр этого источника приведен на рис. 26 из [440]. Отсутствие излучения в этих диапазонах свидетельствует о существовании очень мощной пылевой оболочки.

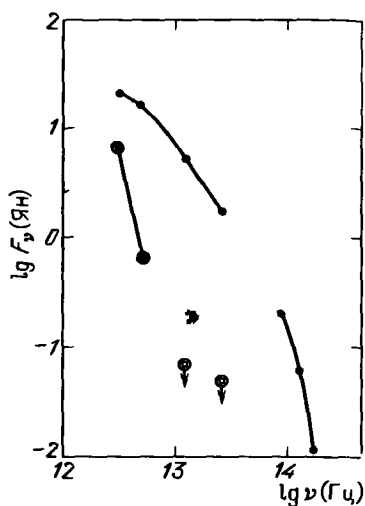
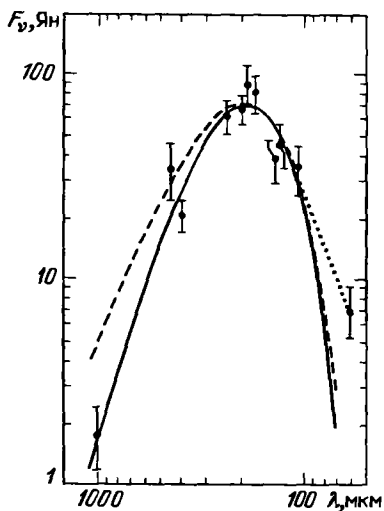


Рис. 26. Спектр источника в В 335. На экспериментальные точки наложены линии $\nu^3 B_\nu(15 K)$ — сплошная линия, $\nu B_\nu(18 K)$ — штриховая линия, $\nu^{-2.5}$ для $\lambda > 110$ мкм — пунктирная линия, $1 \text{ Ян} = 10^{-26} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$, $B_\nu(T)$ — планковское распределение (5.14)

Рис. 27. Распределение энергии для двух инфракрасных источников в темном облаке В 5, данные с ИРАС относятся к области частот $\nu < 3 \cdot 10^{13}$ Гц, \bullet — источник IRS 1, \circ — источник IRS 2

Данный источник является первым примером из возможно обширного класса протозвезд низкой светимости, видимых только в дальнем инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах.

Формирующиеся звезды с массой порядка солнечной были найдены в темном облаке Барнард 5 (B5) [272], темном облаке Хамельон 1 [264], а также в пылевом облаке L 1551 [347] при наблюдениях со спутника ИРАС. Всего в этих работах сообщается об обнаружении более десяти источников данного типа. Светимости источников, в основном, не превышают $10 L_\odot$, а у некоторых составляют $\sim 1 L_\odot$. Температура наблюдаемой пыли в некоторых источниках мала $T_{\text{п}} = 20\text{--}60 \text{ К}$, а размер излучаемой области достигает 10^{17} см. Наблюдаемые источники находятся, вероятно, на разных этапах стадии звездообразования, в том числе в самом начале гравитационного коллапса (IRS 2 из [272]). Спектры этих источников IRS 1 и IRS 2 из [272] приведены на рис. 27, см. также [273].

§ 26. Сферически-симметричный коллапс межзвездных облаков

Рассмотрим физические процессы, происходящие в облаке, которое сжимается и превращается в протозвезду. На начальной стадии облако является прозрачным для излучения.

а) Тепловой баланс оптически прозрачного облака. Основными механизмами охлаждения газа в облаке молекулярного водорода являются столкновительные возбуждения тонкой структуры иона C II и атома O I , передача энергии пыли при столкновении с ней атомов и молекул. Ионы