

дую звезду, окружённую мощной газовой-пылевой оболочкой (такие оболочки иногда наз. протозвёздными). Дальнейшая эволюция аккрецирующей молодой звезды ($B - \Gamma$) сопровождается ростом массы с характерным временем аккреции $t_a \sim 10^7 (M/M_\odot) T^{-3/2}$ лет (T — темп-ра протозвёздного облака). Вследствие большой непрозрачности ионизов. вещества в звезде развивается конвекция

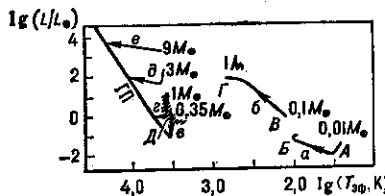


Рис. 2. Эволюционные треки гидростатически равновесных протозвёзд на диаграмме Герцшпрунга — Расселла. L — светимость, $T_{\text{эф}}$ — эффективная температура. Треки а, б, в относятся к протозвезде с массой $1 M_\odot$, г, д, е — к протозвёздам с массами $0,35 M_\odot$, $3 M_\odot$, $9 M_\odot$. Заштрихованная область — т. н. линия рождения звёзд. Разрывы в треках соответствуют отсутствию гидростатического равновесия и очень быстрой эволюции с характерным временем $t_{\text{сп}}$.

(см. Конвективная неустойчивость). Конвективный механизм теплоотвода настолько эффективен, что звезда сжимается при практически постоянной поверхностной (эффективной) темп-ре. После прекращения аккреции звезда становится наблюдаемой в оптич. диапазоне (линия рождения звёзд — заштрихованная область на рис. 2) и сжимается вдоль вертикального (конвективного) трека на диаграмме Герцшпрунга — Расселла ($\Gamma - D$). В результате перестройки структуры звезды её радиус R и светимость L уменьшаются. Когда L уменьшится до мин. значения для равновесных конвективных звёзд, условие конвективной неустойчивости нарушается и появляется радиативное ядро (ядро с лучистым переносом энергии, см. Лучистое равновесие). Звезда переходит на горизонтальный (на диаграмме Герцшпрунга — Расселла) или радиативный трек ($D - E$) и эволюционирует вдоль него с характерным временем тепловой релаксации (т. н. время Кельвина — Гельмгольца) $t_{\text{КГ}} \approx 3 \cdot 10^7 (M/M_\odot)^2 / (R/R_\odot)(L/L_\odot)$ (R_\odot и L_\odot — радиус и светимость Солнца). На рис. 1 для сравнения приведён трек аналитич. модели П. (см. 1 M_\odot), предложенной в работах группы Ч. Хаяси (Ch. Hayashi), оказавших в 60-е гг. большое влияние на развитие представлений о П.

Протозвёздные оболочки существуют в течение характерного времени t_a , т. е. при обычных условиях, $\sim 10^5 - 10^6$ лет. Они определяют наблюдаемые проявления П., поскольку непрозрачны в видимом диапазоне и перерабатывают б. ч. излучения молодых звёзд в ИК-излучение (рис. 3). Поэтому такие оболочки наз. также коконами. Непрозрачность обусловлена пылью, темп-ра к-рой для силикатных частиц не превышает 1000 K , а б. ч. пыли ещё холоднее ($\approx 100 \text{ K}$). Вследствие этого П. излучают осн. долю энергии в диапазоне, недоступном для наземных наблюдений, и изучаются методами внеатмосферной астрономии. Вокруг достаточно массивных звёзд по мере увеличения их эфф. темп-ры образуются зоны III. Кокон поглощает видимое излучение зон III, и эти зоны (т. н. компактные зоны III) обнаруживаются по радиоизлучению и пику излучения в ИК-области. Градиент давления излучения и ионизов. водорода препятствует коллапсу оболочки и в конечном итоге приводит к разлёту оболочки. Более раннюю стадию эволюции П. (коллапс) наблюдать трудно вследствие малой скорости выделения энергии на этой стадии.

Комплексные наблюдения П. обнаруживают сложный характер движений вещества в этих объектах и их ок-

рестностях. Характерны биполярные истечения больших масс (до $100 M_\odot$) со скоростями десятки км/с, узкие струи (джеты), скорости к-рых составляют сотни км/с, диски вокруг центрального источника, так что изображённые на рис. 3 «разрезы» протозвёздных оболочек следует считать «экваториальными». Вещество из окрестности очень молодых звёзд истекает вдоль оси сим-

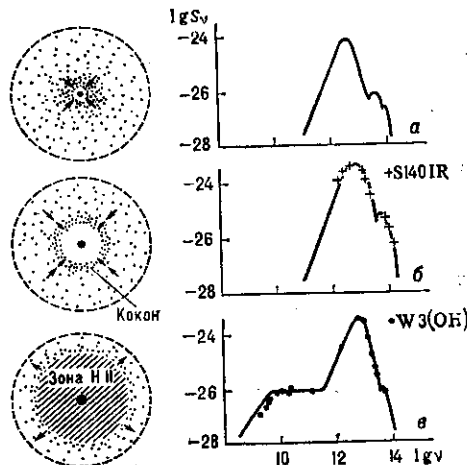


Рис. 3. Последовательные стадии эволюции структуры протозвезды с массой $50 M_\odot$ и теоретического спектра выходящего из неё излучения. Плотность потока S_λ дана в Вт/(м²·Гц), частота ν в Гц. Для сравнения показаны нормированные по расстоянию спектры источника протозвёздного типа S140IR и компактной зоны III W3 (OH). Стрелками показано движение вещества.

метрии, и, по-видимому, существует неск. мощных механизмов перекачки энергии коллапса вращающегося облака в энергию таких направленных движений. Моделировать динамику протозвёздных оболочек и компактных зон III довольно сложно, особенно с учётом влияния вращения и магн. поля, и пока что полной и общепринятой модели таких объектов не существует.

Лит.: Шу Ф. Н., Адамс Ф. С., Лизано С., Star formation in molecular clouds: observation and theory, «Ann. Rev. Astron. Astrophys.», 1987, в. 25, р. 23; Иустов Б. М., Молекулярные ядра и протозвёзды, в сб.: Современные проблемы физики и эволюции звёзд, М., 1989; Бисноватый-Коган Г. С., Физические вопросы теории звездной эволюции, М., 1989. Б. М. Иустов.

ПРОТОН (от греч. *prōtos* — первый) (символ p) — стабильная элементарная частица, ядро атома водорода. Масса $m_p = 1,672614(14) \cdot 10^{-24} \text{ г} \approx 1836 m_e$, где m_e — масса электрона; в энергетич. единицах $m_p \approx 939,3 \text{ МэВ}$. Электрич. заряд П. положительн: $e = 4,803242(14) \cdot 10^{-10} \text{ СГСЭ}$ единиц заряда. Спин П. равен $1/2$, поэтому П. подчиняется *Ферми — Дирака статистике*. Магн. момент П. $\mu_p = 2,792763(30) \mu_n$, где μ_n — ядерный магнетон. Вместе с нейтронами П. образуют атомные ядра всех хим. элементов, при этом число П. в ядре равно атомному номеру данного элемента и, следовательно, определяет место элемента в периодич. системе элементов Менделеева. Существует античастица по отношению к П. — *антипротон*.

К представлению о П. привели создание планетарной модели атома [Э. Резерфорд (E. Rutherford), 1911]; открытие изотопов [Ф. Содди (F. Soddy), Дж. Дж. Томсон (J. J. Thomson), Ф. Астон (F. Aston), 1906—19], атомные массы к-рых оказались кратными атомной массе водорода; эксперим. наблюдение ядер водорода, выбитых α -частицами из ядер др. элементов (Резерфорд, 1919—20). Термин «П.» ввёл Резерфорд в нач. 20-х гг.

П. является *адроном*. Кроме сильного взаимодействия он также участвует во всех др. фундам. взаимодействиях: электромагнитном, слабом и гравитационном. П. относится к классу *барионов*; его барионное число $B = 1$. Законом сохранения барионного числа