

Результаты П. т. используются при изучении электронных свойств *неупорядоченных систем*, фазовых переходов металл — диэлектрик, ферромагнетизма твердых растворов, кинетич. явлений в сильно неоднородных средах, физ.-хим. процессов в твердых телах и т. д.
 Лит.: Мотт Н., Дэвис Э., Электронные процессы в некристаллических веществах, пер. с англ., 2 изд., т. 1—2, М., 1982; Шкловский В. И., Эфрос А. Л., Электронные свойства легированных полупроводников, М., 1979; Заيمان Д. М., Модели беспорядка, пер. с англ., М., 1982; Эфрос А. Л., Физика и геометрия беспорядка, М., 1982; Соколов И. М., Размерности и другие геометрические критические показатели в теории протекания, «УФН», 1986, т. 150, с. 221.
 А. Л. Эфрос.

ПРОТИЙ (лат. Protium, от греч. *prōtos* — первый), ^1H , — стабильный и наиболее распространенный в природе (99,98%) изотоп водорода с массовым числом 1. Атомное ядро П. — протон.

ПРОТОЗВЕЗДЫ. Общепринятого и полного определения П. не существует, хотя это понятие широко используется в астрофизике. Наиб. часто под П. понимают объект, находящийся на стадии *эволюции звезды* от коллапсирующего родительского межзвездного облака до появления в центре облака полностью ионизованного гидростатически равновесного ядра, т. е. зародыша молодой звезды. Это ядро сжимается и взаимодействует с остатками облака довольно сложным образом, приобретая структуру и параметры «обычной» звезды. Понятие П. иногда распространяют и на эту стадию сжатия вплоть до того момента, когда начинают «работать» осн. ядерные источники энергии и звезда «садится» на главную последовательность *Герцшпрунга — Рассела диаграммы*.

Звезды образуются в результате сжатия межзвездных облаков (см. *Звездообразование*). Сжатие межзвездного газа обусловлено силами гравитации и внеш. давлением, к-рым противодействуют силы теплового давления, центробежные, магнитного поля, турбулентного давления и т. д. Наиб. важный вид неустойчивости, приводящий к сжатию облака и в конечном счете к образованию звезды, — *гравитационная неустойчивость*. Порог этой неустойчивости обычно характеризуется джинсовской массой $M_{\text{дж}}$. Это масса, содержащаяся в сфере диаметром, равным критич. длине волны гравитац. неустойчивости в бесконечной однородной среде, т. е. джинсовской длине $l_{\text{дж}} = \sqrt{\lambda_{\text{зв}}(G\rho)^{-1/2}}$, где $v_{\text{зв}}$ — скорость звука, ρ — плотность. При массе облака $M_0 > M_{\text{дж}}$ изотермич. газовая конфигурация начинает сжиматься практически в режиме свободного падения — коллапсировать. (Изотермичность обеспечивается эфф. потерями на излучение пыли, а также потерями на столкновит. возбуждение тонкой структуры атомов и ионов С, О, Si и т. д.) Др. критерий гравитац. неустойчивости изотермич. газового шара получается, если учесть внеш. давление $p_{\text{в}}$: коллапс развивается при $M_0 > M_{\text{в}} = 1,8a_{\text{зв}}^3 / (G^2 p_{\text{в}})^{1/2}$. В недрах плотных облаков или в одиночной глобуле, обжимаемой внеш. давлением (напр., в *zone III*), этот критерий может быть выполнен заведомо до того, как будет выполнен критерий $M_0 > M_{\text{дж}}$. В ряде случаев магн. поле играет, по-видимому, осн. роль в обеспечении механич. равновесия облаков. Квазиоднородное магн. поле, характеризующееся потоком F , может удерживать облако от коллапса, если масса облака не превышает критич. значения $M_{\text{F}} = 0,15F/G^{1/2}$. Напр., поле с индукцией 30 мкГс может удерживать в равновесии сгусток массой $10^3 M_{\odot}$ (M_{\odot} — масса Солнца) и радиусом ≈ 2 пк. Прямые свидетельства существования магн. поля такой величины в нек-рых молекулярных облаках получены по наблюдениям зеемановского расщепления линий. В каждом конкретном случае доминирует тот механизм, к-рому соответствует наименьшая критич. масса. Развитие коллапса может стимулироваться и хим. реакциями. Напр., в условиях первичного звездообразования в среде, не содержащей тяжелых элементов, важнейший фактор, обеспечивающий коллапс об-

лаков с массами порядка звездных, — охлаждение вследствие возбуждения вращат. уровней молекул H_2 и последующего излучения. (Такие молекулы образуются в реакциях $\text{H} + e^- \rightarrow \text{H}^- + h\nu$, $\text{H}^- + \text{H} \rightarrow \text{H}_2 + e^-$, а также $3\text{H} \rightarrow \text{H}_2 + \text{H}$.) Критич. массы для наиб. распространенного компонента межзвездной среды — диффузных облаков ($\rho \approx 10^{-22}$ г·см $^{-3}$, темп-ра $T = 50$ —2000 К) — слишком велики, и в этих объектах звезды образовываться не могут. В случае плотных и холодных молекулярных облаков ($\rho > 10^{-21}$ г·см $^{-3}$, $T \lesssim 50$ К), т. е. облаков, наблюдаемых в линиях СО и др. молекул, значения критич. масс близки к звездным и именно в молекулярных облаках наблюдается активное звездообразование. Наиб. вероятные места рождения звезд — ядра молекулярных облаков, представляющие собой плотные и холодные газовые сгустки ($\rho \approx 10^{-20}$ — 10^{-18} г·см $^{-3}$, $T \approx 10$ —100 К).

В теоретич. исследованиях П. наиб. внимание уделяется численным методам моделирования, поскольку они позволяют получать количеств. оценки при решении нелинейных систем ур-ний газодинамики (радиац. газодинамики), описывающих эволюцию П. Согласно результатам аналитич. и численных методов, коллапс гравитационного неустойчивого фрагмента газово-пылевого облака протекает негомологично (неоднородно). Негомологичность может быть обусловлена изначально неоднородным распределением плотности (напр., в ядрах молекулярных облаков отмечается концентрация веще-

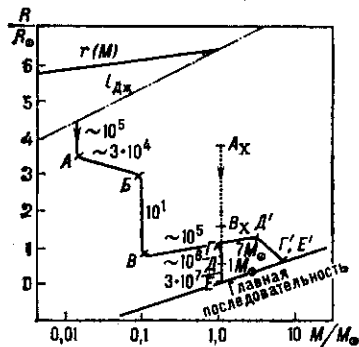


Рис. 1. Изменение радиусов R и масс M ядер протозвезд с массами $1M_{\odot}$ и $7M_{\odot}$, аккрецирующих вещество холодного (10 К) родительского облака. В случае массивной протозвезды аккреция прекращается (точка Γ') только на главной последовательности, до этого момента звезда остается ненаблюдаемой в видимом диапазоне. $l_{\text{дж}}$ — джинсовская длина волны, числа означают длительность стадий в годах для протозвезды с массой $1M_{\odot}$, пунктир соответствует модели Хаяси для $1M_{\odot}$, $r(M)$ — зависимость радиуса от массы (содержащейся в сфере радиуса r) для однородного сферического облака с полной массой $1M_{\odot}$, находящегося на границе гравитационной неустойчивости.

ства к центру). Даже в однородном облаке коллапс со временем становится негомологичным, поскольку возникающий на границе облака градиент давления не компенсируется к.-л. реальными граничными условиями, и во всех случаях появляется продвигающаяся к центру волна разрежения. Затем в центре облака за характерное время свободного падения $t_{\text{сп}} = (3\pi/32G\rho)^{1/2}$ образуется небольшое гидростатически равновесное квазиадиабатически сжимающееся ядро с массой $M \approx 0,01 M_{\odot}$ (точка А на рис. 1 и 2). Причина образования ядра — возрастная *непрозрачность* к собственному ИК-излучению, и, как следствие, рост темп-ры и градиента давления, останавливающего коллапс. Ядро аккрецирует вещество оболочкой, к-рая продолжает падать свободно. Рост массы ядра сопровождается его дальнейшим сжатием и нагревом (А — В). По мере роста темп-ры происходит испарение пыли, диссоциация, а затем и ионизация водорода, ядро испытывает фазу второго коллапса (В — В'), превращаясь в моло-