

галактиках; этот хим. состав характерен для межзвёздного вещества, имеющего возраст $\sim 10^9$ лет, т. е. соответствует стадии, когда формировалась Галактика в её настоящем виде; хим. состав атмосферы Солнца вследствие интенсивного конвективного перемешивания вещества, вероятно, характеризует и хим. состав глубоких слоёв Солнца.

Любые заметные отклонения хим. состава звёзд от стандартного воспринимаются как аномалии. Могут быть три основные причины наблюдаемых хим. аномалий на звёздах.

Первая — звёзды могли сформироваться из межзвёздного вещества, имевшего нестандартный хим. состав. В осн. это звёзды старого населения, сформировавшиеся, когда вещество Вселенной содержало очень мало хим. элементов тяжелее гелия. В Галактике такие звёзды принадлежат к населению гало. Обилие (логарифм отношения концентрации элемента к концентрации водорода) железа и др. тяжёлых элементов в таких звёздах может отличаться от стандартного на величину ≈ -3 , т. е. концентрация железа в 1000 раз меньше стандартной. Согласно оценкам, возраст этих звёзд более 10^9 лет, что соответствует стадии, когда ещё не сформировались плоская составляющая и спиральные рукава Галактики. По мере обогащения межзвёздного вещества продуктами эволюции массивных звёзд (в осн. в результате взрывных термоядерных реакций и выбросов вещества сверхновыми звёздами) содержание тяжёлых элементов во вновь образующихся звёздах увеличивалось, о чём свидетельствует наблюдаемый постепенный переход от звёзд с большими дефицитами тяжёлых элементов к звёздам стандартного хим. состава. За время, прошедшее после образования плоской подсистемы Галактики, заметного изменения хим. состава межзвёздного вещества не произошло, и сравнительно молодые звёзды в основном имеют близкий к стандартному хим. состав.

Второй причиной аномалий могут быть термоядерные реакции, происходящие внутри звезды в ходе её эволюции (или её компаньона в двойной системе), и, при нек-рых обстоятельствах, вынос продуктов этих реакций на поверхность (напр., в бариевых и углеродных звёздах) и перетекание вещества на непроэволюционировавший компаньон. Как правило, такие аномалии наблюдаются у маломассивных холодных звёзд и включают только единичные хим. элементы.

Третьей причиной, приводящей к сильным наблюдаемым аномалиям хим. состава звёзд, может быть сепарация хим. элементов в их атмосферах при сохранении стандартного хим. состава вещества звезды в среднем. По-видимому, эта причина привела к образованию X. п. з. верхней части ГП, т. е. CP-звёзд.

Эта группа звёзд расположена на ГП в интервале спектральных классов от F5 до B0 (эффективные температуры, $T_e = 7500 - 25000$ К) и составляет не менее 10% всех звёзд этого интервала. Общим свойством CP-звёзд является то, что в их спектрах аномально усилены линии многих хим. элементов. У большинства CP-звёзд линии He значительно ослаблены, и только в спектрах самых горячих звёзд этой группы линии He значительно усилены по сравнению со спектрами нормальных звёзд. Темп-ры и плотности в атмосферах CP-звёзд приблизительно соответствуют нормальным звёздам таких же спектральных классов, т. е. аномалии спектров не вызываются аномалиями возбуждения атомов и ионов. Наблюдается огромное разнообразие аномалий, так что трудно найти две одинаковые CP-звёзды. Тем не менее имеются признаки, по к-рым всё это разнообразие можно грубо разделить на 4 осн. группы. CP1-звёзды с усиленными линиями металлов (т. н. металлические, или Am-звёзды). Это наиб. холодные CP-звёзды ($7500 \leq T_e \leq 10000$ К). CP2-звёзды, или ртутно-марганцевые звёзды, — звёзды, характеризующиеся большими избытками Mn, P, Ga и Hg при слабых аномалиях др. элементов ($11000 \leq T_e \leq 13000$ К). CP3-звёзды — с сильными избытками неск. из следующих элементов: Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Sr, Eu (а также др. редкоземельных элементов). Температурный интервал: $8000 \leq T_e \leq 15000$ К. Про-

должение этой группы в сторону более высоких темп-р образует группу CP4-звёзд (т. н. звёзды с усиленными линиями гелия). Осн. признаки этих звёзд — значит. избыток He в их атмосферах. Особенностью CP3- и CP4-звёзд является присутствие в их атмосферах сильных крупномасштабных магн. полей преим. дипольного характера (обнаруживаемых по зеemanовскому расщеплению спектральных линий), а также неравномерное распределение хим. элементов по их поверхности (хим. «пятнистость»), что при вращении звезды вызывает наблюдаемую периодич. спектральную и магн. переменность. Все CP-звёзды в ср. вращаются медленнее, чем нормальные тех же масс. Подавляющее большинство CP1-звёзд двойные. Среди CP2-звёзд кол-во двойных приблизительно такое же, как среди нормальных, а у CP3-звёзд имеет место дефицит тесных двойных систем при нормальной доле широких пар (см. Двойные звёзды). Между свойствами всех четырёх групп не существует резких границ (за исключением того, что крупномасштабные магн. поля и спектральная переменность встречаются только у звёзд CP3 и CP4).

Положение CP-звёзд на диаграмме Гершпрунга — Расселла (темп-ры, массы, ускорения силы тяжести) определяет важную особенность их строения — слабость или отсутствие конвективных зон, а следовательно, эфф. перемешивания вещества во внеш. частях звезды. Темп-ры этих звёзд также недостаточно высоки для мощных газодинамич. процессов во внеш. слоях (связанных с сильным звёздным ветром у более горячих звёзд).

Поскольку хим. аномалии, свойственные CP-звёздам, не встречаются у звёзд, представляющих собой дальнейшую стадию эволюции F-, A-, B-звёзд (т. е. у красных гигантов), да и теория нуклеосинтеза внутри таких звёзд не предсказывает появления наблюдаемых аномалий, наиб. приемлемой и распространённой точкой зрения является предположение о сепарации хим. элементов в атмосферах CP-звёзд при сохранении в ср. по звезде нормального хим. состава. В отсутствие перемешивания сепарация элементов может происходить под действием силы тяжести, т. е. в соответствии с *барометрической формулой* устанавливается разная шкала высот для элементов с разл. атомной массой. При этом тяжёлые элементы должны оказаться внизу. Однако в CP-звёздах избыток тяжёлых элементов, как правило, наблюдается в самых верх. слоях атмосферы, где образуются наблюдаемые спектральные линии, причём для образования этого избытка требуется подъём тяжёлых элементов из достаточно глубоких слоёв атмосферы. В связи с этим для объяснения сепарации хим. элементов в атмосферах CP-звёзд привлекают др. механизмы. Наиб. подробно обсуждался механизм диффузии под действием селективного *давления света*. При поглощении квантов в частотах спектральных линий (где велик коэф. поглощения) происходит передача импульса потока излучения звёзды поглощающим атомам. Для тяжёлых атомов со сложной структурой термов и большим кол-вом уровней этот эффект, вызывающий движение поглощающих атомов вверх, будет суммироваться по всем оптич. переходам и может (при определ. условиях) значительно превзойти силу тяжести. Такой процесс, бесспорно, должен иметь место в атмосферах звёзд, однако его количеств. оценка весьма сложна. Величина эффекта на каждом уровне атмосферы зависит от локальной темп-ры, определяющей населённости уровней, и от величины потока излучения, к-рый зависит как от темп-ры, так и от концентрации атомов. Зависимость силы, изменяющей концентрацию, от самой концентрации делает задачу нелинейной, а формирующиеся аномалии — зависящими от времени. Характерное время накопления аномалий путём селективной диффузии $10^3 - 10^5$ лет. Попытки исследования этого механизма показали, что он может объяснить нек-рые аномалии, но во мн. случаях количеств. согласие с наблюдениями получить нельзя. Др. механизм, в принципе способный приводить к сепарации элементов, связан с различием кинетич. сечений возбуждённых и невозбуждённых атомов и с асимметрией (по частоте) возбуждающего излучения (т. н. *светонин-*