



КОСМОХРОНОЛОГИЯ

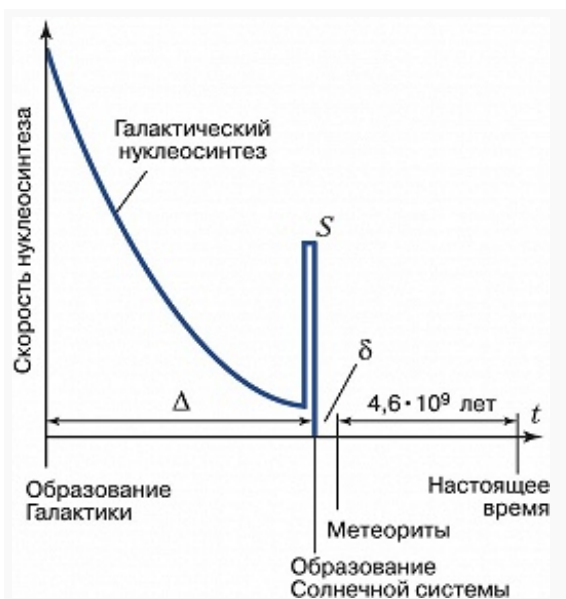
Авторы: Г. В. Домогацкий, И. В. Панов

КОСМОХРОНОЛОГИЯ, восстановление хронологич. картины процесса нуклеосинтеза в нашей Галактике по изучению относительного содержания долгоживущих радионуклидов и продуктов их распада в веществе Земли, Луны и метеоритов.

Одной их ключевых точек на шкале времени в К. служит момент кристаллизации пород (земных и лунных) и вещества метеоритов. Возраст Земли и Луны, определяемый как возраст самых старых из исследованных образцов земных и лунных пород, близок к возрасту метеоритов, который составляет $(4,6 \pm 0,1) \cdot 10^9$ лет и принимается в качестве возраста всех твёрдых тел Солнечной системы. Момент кристаллизации пород достаточно надёжно определяется при помощи уран-свинцового, рубидий-стронциевого и калий-аргонового методов ядерной (изотопной) геохронологии (см. [Геологический возраст](#)).

К. позволяет оценить темпы образования нуклидов в Галактике в период, предшествовавший образованию твёрдых тел Солнечной системы. Выделяют два типа процессов образования нуклидов тяжёлых химич. элементов под действием нейтронов: быстрый (r -процесс) и медленный (s -процесс). В первом процессе скорость захвата нейтрона ядром ($\lambda_{n\gamma}$) много больше скорости бета-распада ядер (λ_{β}), во втором процессе $\lambda_{n\gamma} \ll \lambda_{\beta}$. Первый процесс начался в период времени, отстоящий на величину $\Delta = 7\text{--}9$ млрд. лет от момента образования твёрдых тел Солнечной системы. Такой результат получен на основе анализа наблюдаемых значений распространённости долгоживущих нуклидов ^{235}U (период полураспада $T_{1/2} = 7,0 \cdot 10^8$ лет), ^{238}U ($T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ лет), ^{232}Th ($T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$ лет) и продуктов их распада. С 1980-х гг. рассматриваются также возможности использования в качестве т. н. космохронометров нуклидов ^{187}Re ($T_{1/2} = 4,35 \cdot 10^{10}$ лет) и ^{176}Lu ($T_{1/2} = 4 \cdot 10^{10}$ лет). В

этом случае степень точности датировки космологич. событий определяется корректностью оценок выхода ядер Re в r-процессе и распространённости ядер Os, образующихся в s-процессе, а также погрешностью (связанной с тепловыми эффектами) в значениях периода полураспада ядер на разных стадиях галактич. эволюции. Напр., период полураспада ядра Re сильно зависит от величины ионизации атома и для полностью ионизованного Re составляет $T_{1/2} = 3,29 \cdot 10^{10}$ лет. Тем не менее использование изотопов рения также приводит к довольно близкому значению Δ . Нуклид ^{176}Lu может быть использован для определения продолжительности нуклеосинтеза в s-процессе. В то же время степень заселённости его изомерных состояний зависит от темп-ры и др. условий в звёздах и галактич. среде, что затрудняет интерпретацию результатов использования лютеция в качестве космохронометра.



Хронологическая модель r-процесса нуклеосинтеза (по У. А. Фаулеру): S – всплеск интенсивности процесса обогащения вещества протосолнечного газового облака продуктами r-процесса нуклеосинтеза.

Темп обогащения вещества Галактики тяжёлыми элементами был наиболее высок в начальный период её возникновения. Однако данные, полученные с помощью относительно короткоживущих космохронометров ^{129}I и ^{244}Pu ($T_{1/2} = 1,7 \cdot 10^7$ лет и $T_{1/2} = 8,2 \cdot 10^7$ лет соответственно), показывают, что этот процесс продолжался и во время, непосредственно предшествовавшее образованию Солнечной системы. Прекращение процесса обогащения тяжёлыми элементами вещества протосолнечного газового облака и его обособление от галактич. газа произошли за 150 млн. лет (δ на рис.) до образования первых родительских тел метеоритов. Ряд аргументов свидетельствует в пользу того, что моменту обособления протосолнечного газового облака непосредственно предшествовал всплеск

интенсивности нуклеосинтеза, носивший, скорее всего, локальный характер (напр., взрывы близких сверхновых звёзд) и приведший к образованию ок. 1% от общего количества тяжёлых элементов в веществе Солнечной системы. Возможно, что вспышка близкой сверхновой звезды послужила также толчком для формирования Солнечной системы (см. [Космогония](#)).

По данным метода уран-ториевых соотношений возраст Галактики составляет 13–15 млрд. лет, что находится в хорошем соответствии с расчётами, полученными на основе астрономич. методов. Уменьшение погрешности в определении возраста Галактики может быть достигнуто за счёт повышения точности данных, необходимых для теоретич. исследования процесса нуклеосинтеза, и более глубокого понимания процесса химич. эволюции галактич. вещества.

Эксперим. данные о распространённости долгоживущих нуклидов тяжёлых элементов и продуктов их распада согласуются с предположением об экспоненциальном падении темпа галактич. нуклеосинтеза с характерным временем затухания $(3 \pm 2) \cdot 10^9$ лет. Существенно, что выбор конкретной модели галактич. нуклеосинтеза мало сказывается на определении времени начала процесса образования изотопов тяжёлых элементов в r-процессе.

Перечисленные выводы служат эксперим. основой построения эволюц. картины нуклеосинтеза в Галактике и убедительно свидетельствуют о том, что массивные звёзды первых поколений, завершившие свою эволюцию выбросом в межзвёздное пространство переработанного в их недрах вещества, явились главным источником формирования наблюдаемого изотопного состава Галактики.

Литература

Лит.: Тейлер Р. Дж. Происхождение химических элементов. М., 1975; Чечев В. П., Крамаровский Я. М. Радиоактивность и эволюция Вселенной. М., 1978; Войткевич Г. В. Химическая эволюция Солнечной системы. М., 1979; Ядерная астрофизика. М., 1986.