

ГЕОХИМИЯ

Проф. Н.К. Чертко

Состав Вселенной

Возраст Вселенной оценивается в **13,7 млрд лет**.
Пространство Вселенной считается геометрически плоским, масса на **4 %** состоит из обычного вещества (атомы собранные в звезды, планеты, метеориты, кометы или облака межзвездного вещества), на **27** – из темного вещества, на **70 %** – из темной энергии.

В основе мироздания - набор фундаментальных частиц, их взаимодействие создает сначала адроны и атомные ядра, затем - атомы и молекулы, которые формируют многообразие минералов и органических структур. Атом = электроны + ядро (протоны и нейтроны).

Протон = 2 *u*-кварка + 1 *d*-кварк,

нейтрон = 1 *u*-кварк + 2 *d*-кварка.

Радиоактивность химических элементов

- В природе известно 272 стабильных атомных ядра химических элементов. Другие ядра радиоактивные и называются *радиоизотопами* или *радионуклидами*. Основными видами радиоактивности являются – α -распад, электронный β -распад, позитронный β^+ -распад и γ -излучение ядер.
- **Образование химических элементов**
- Вселенная состоит из единого материала: 76 (70) % H, 23 (28) He и 1 (2) % приходится на долю более тяжелых элементов. *Относительная распространенность тяжелых элементов качественно совпадает для всех космических объектов, звезд, метеоритов, межзвездного пространства.*
- Во Вселенной преобладают *легкие элементы*. Из *средних по массе элементов* выделяется железо. Чаще других встречаются O, K, Pb. Содержание элементов в природе и их происхождение связано с *законами, управляющими ядерным синтезом.*
- *Эволюция элементов* – результат определенной последовательности реакций ядерного термосинтеза, протекающих во Вселенной, где есть подходящие условия.

Образование химических элементов

- В синтезе химических элементов участвуют следующие космические процессы, которые обозначаются буквами латинского алфавита:
- 1. N – горение водорода при высоких температурах.
- 2. H – сгорание водорода с образованием He.
- 3. He – горение He с образованием ^{12}C , ^{16}O , ^{20}Ne . Процессы с α -частицами, при которых образуются ^{24}Mg , ^{28}Si , ^{32}S , ^{36}Ar , ^{40}Ca , в результате последовательного захвата α -частиц ядрами ^{16}O и ^{20}Ne .
- 4. C – взрывное горение углерода.
- 5. O – взрывное горение кислорода.
- 6. Si – взрывное горение кремния.
- 7. n – обогащение нейтронами продуктов горения кремния.
- 8. e-процесс равновесный – статическое равновесие между ядрами, протонами и нейтронами при высокой температуре, объясняющее пик распространенности для Fe.
- 9. s-процесс медленного захвата нейтронов с образованием элементов до ^{209}Bi включительно.
- 10. r-процесс быстрого захвата нейтронов с образованием элементов до ^{254}Cf .
- 11. p-процесс, при котором образуются богатые протонами ядра.
- 12. x-процесс с образованием Li, Be и B путем взаимодействия космических лучей с атомными ядрами межзвездной среды.
- 13. U-процесс космологического нуклеосинтеза до образования звезд.
-

<i>H, He</i>	–	U
<i>Li</i>	–	x, H, U
<i>Be, B</i>	–	x
<i>C</i>	–	He, H
<i>N</i>	–	H
<i>O</i>	–	He, H
<i>F</i>	–	N
<i>Ne</i>	–	O, He, N
<i>Na, Mg, Al</i>	–	C
<i>Si</i>	–	O, Si
<i>P</i>	–	O
<i>S, Cl, Ar, K</i>	–	O, Si
<i>Ca</i>	–	O, Si, s, N
<i>Sr</i>	–	Si, c
<i>Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn</i>	–	c
<i>Ga, Ge</i>	–	e, s
<i>As, Br, Rb, Y, Nb, Zr, Rh</i>	–	s, r
<i>Th, U</i>	–	r
<i>Se, Kr, Sr, Mo, Ru, Pd, Cd, Zn, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La и лантаноиды, Hf, Ta, W, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb и Bi</i>	–	p, s, r

Процессы, участвующие в образовании элементов

Изотопы

- Ядра с одним значением *зарядового числа, или протонов (Z)* и разным значением *массового числа, или нуклонов (A)* называют изотопами. Зарядовое число равно количеству протонов в ядре и совпадает с порядковым номером химического элемента. Число нейтронов в ядре определяется $N = A - Z$.
- **Изотопы цезия:** $^{137}_{55}\text{Cs}$, $^{134}_{55}\text{Cs}$, $^{133}_{55}\text{Cs}$.
- Ядра с одинаковыми массовыми числами A и разными Z называют *изобарами*. Например, **изобарами являются:**
- $^{90}_{39}\text{Sr}$, $^{90}_{40}\text{Zr}$.
- Некоторые из них имеют массовое число кратное четырем (^{16}O , ^{24}Mg , ^{28}Si , ^{40}Ca , ^{56}Fe) и входят в состав главных химических элементов литосферы.
- *Изотопы одного элемента имеют различные энергии химической связи и активации в химических реакциях, поэтому по-раному мигрируют.*
- *Разделение изотопов одного элемента – это фракционирование.*

Классификация химических элементов

- **Цель классификации** объектов – суммирование знаний на определенном этапе развития науки, выявление взаимосвязей между объектами, отражение эволюции и на основе этого объединение изучаемых объектов по определенным критериям в таксоны.
- Классификации **А. Е. Ферсмана** и **А. Н. Заварицкого** основаны на поведении элементов в гипогенных условиях (магматических, метаморфических); **В. М. Гольдшмидта** и **В. И. Вернадского** – отражают поведение элементов в гипо- и гипергенных условиях.
- По способности создавать определенные химические соединения в природе и концентрироваться в среде **В. М. Гольдшмидт (1924)** разделил элементы на пять групп: литофилы (оксифилы), халькофилы, сидерофилы, атмофилы, биофилы

Классификация элементов - продолжение

- В основу геохимической классификации **В. И. Вернадский** положил историю поведения химического элемента в земной коре. В соответствии с этим все элементы разделены им на шесть групп: 1) благородные газы He, Ne, Ar, Kr, Xe; 2) благородные металлы Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt; 3) циклические элементы H, Be, B, C, N, O, F, Na, Mg и др. (всего 44); 4) рассеянные Li, Sc, Ga, Br, Rb, Y, In, I, Cs; 5) сильно радиоактивные Po, Nt, Ra, Ac, Th, Pa, U; 6) редкие земли La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.
- Классификация химических элементов, составленная **А. И. Перельманом**, соответствует их поведению в условиях зоны гипергенеза. В основу классификации положены интенсивность, контрастность, виды миграции элементов в различных геохимических обстановках, а также их свойства и кларки.