

Распределение элементов на Земле и в космосе

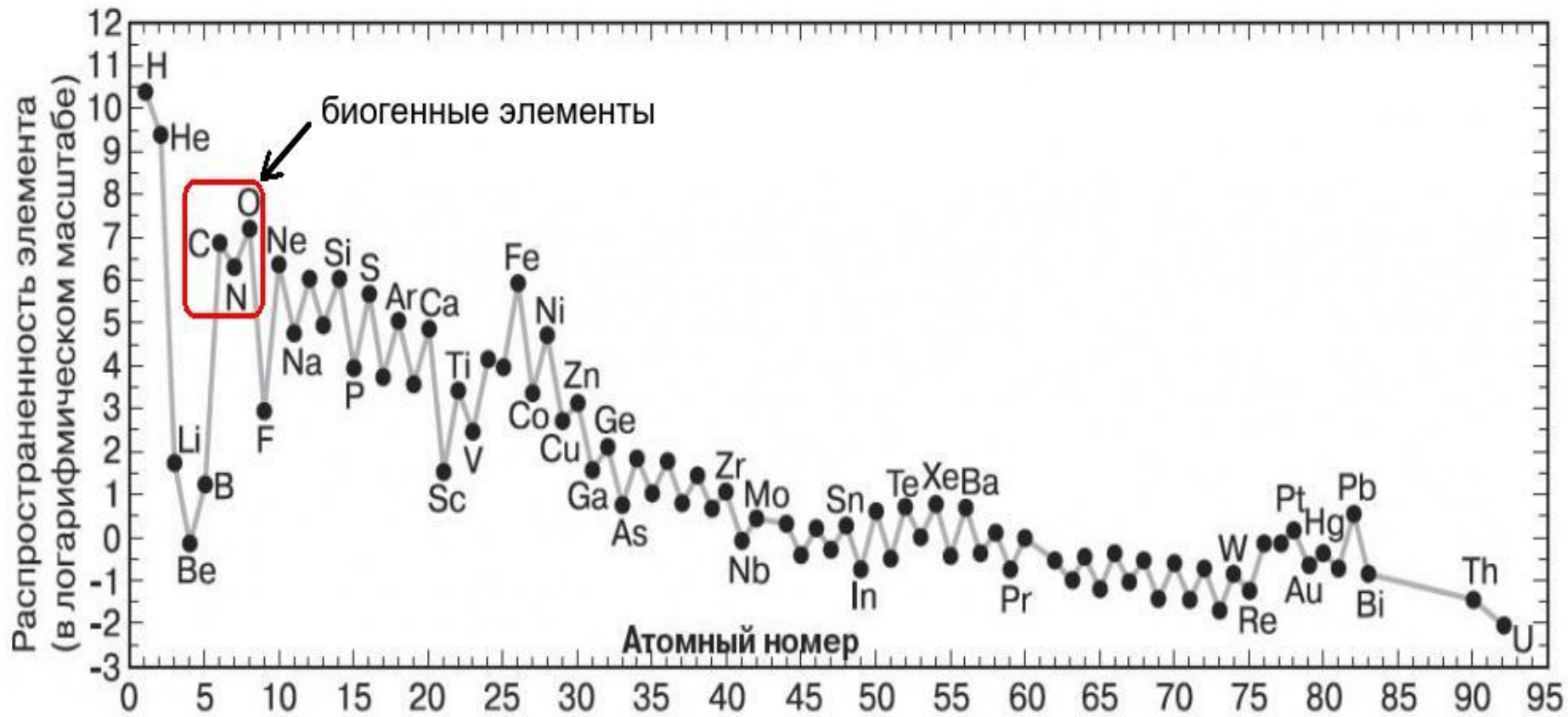


Диаграмма распространенности элементов во вселенной (массовая доля на миллион)



* Массовая доля на миллион.

Распространенность элементов во Вселенной



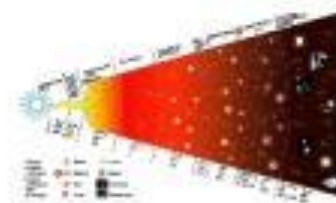
Горячая Вселенная

- В 1940-х годах *Г. Гамов* создал теорию *горячего Большого Взрыва*
- Он предсказал существование реликтового излучения с температурой около 5 К
- Разработал теорию космологического нуклеосинтеза

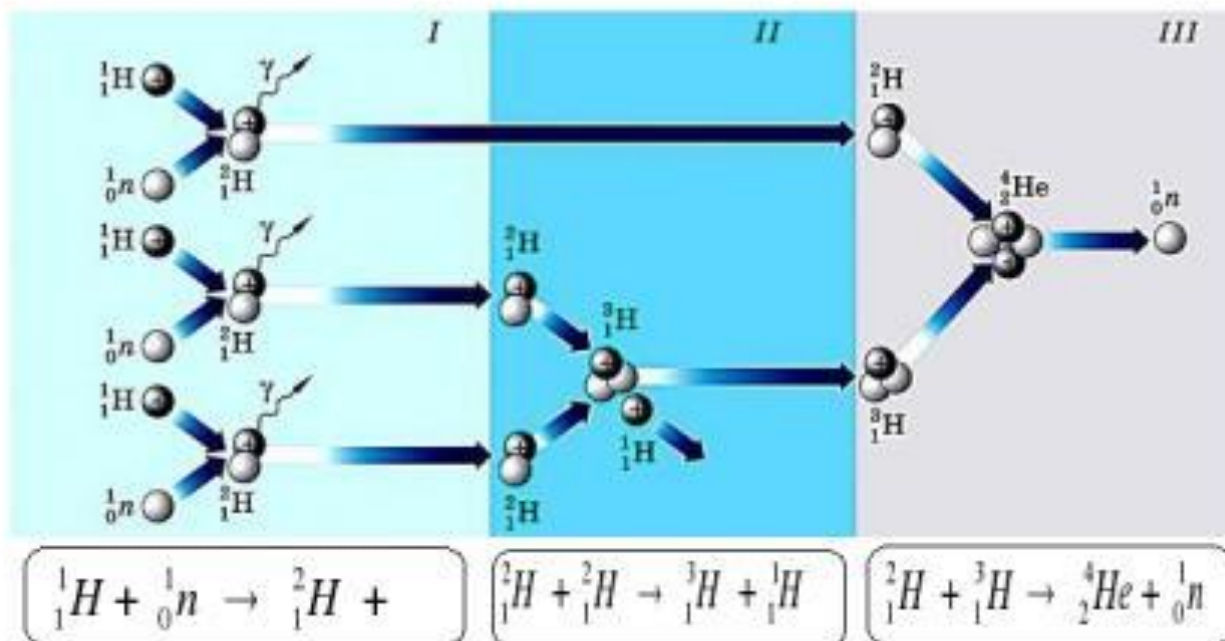


Георгий Гамов (1904-1968)

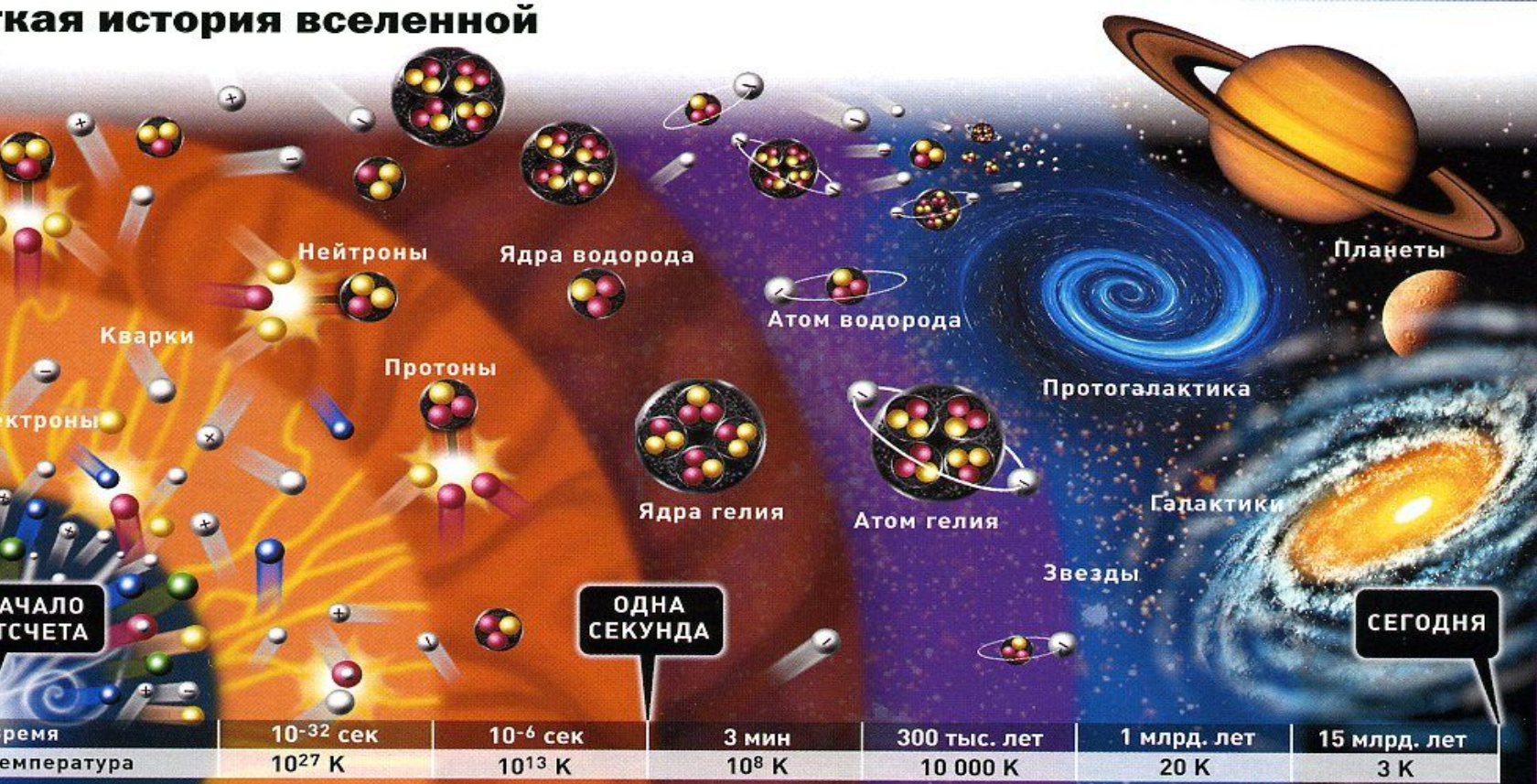
НУКЛЕОСИНТЕЗ В РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ (1-100) с



Спустя чуть более 1 с с момента Большого взрыва антивещество во Вселенной полностью аннигилировало. Таким образом, в составе Вселенной не осталось антивещества. Вещество было представлено протонами, нейтронами, электронами, а излучение - фотонами и нейтрино.



Краткая история вселенной



ВРЕМЯ	ТЕМПЕРАТУРА	СОСТОЯНИЕ
$10^{-45} - 10^{-37}$ сек	Более 10^{26} К	Инфляционное расширение
10^{-6} сек	Более 10^{13} К	Возникновение кварков и электронов
10^{-5} сек	10^{12} К	Образование протонов и нейтронов
10^{-4} сек – 3 мин	$10^{11} - 10^9$ К	Возникновение ядер дейтерия, гелия и лития
400 тыс. лет	4 000 К	Образование атомов
15 млн. лет	300 К	Продолжение расширения газового облака
1 млрд. лет	20 К	Зарождение первых звезд и галактик
3 млрд. лет	10 К	Образование тяжелых ядер при взрывах звезд;
10 - 15 млрд. лет	3 К	Появление планет и разумной жизни
10^{14} лет	10^{-2} К	Прекращение процесса рождения звезд
10^{37} лет	10^{-18} К	Истощение энергии всех звезд
10^{40} лет	10^{-20} К	Испарение черных дыр и рождение элементарных частиц
10^{100} лет	$10^{-60} - 10^{-40}$ К	Завершение испарения всех черных дыр

Эволюция вещества во Вселенной.

- Первичное вещество во Вселенной – водород.
- Под воздействием гравитационных сил образуются гравитационно-связанные скопления вещества.
- В ходе их образования t° повышается – начинают протекать ядерные реакции.
- В результате ядерных реакций высвобождается огромное количество энергии (энергия излучения).
- Образуются туманности – огромные скопления газов, из которых затем возникают звезды и планеты.

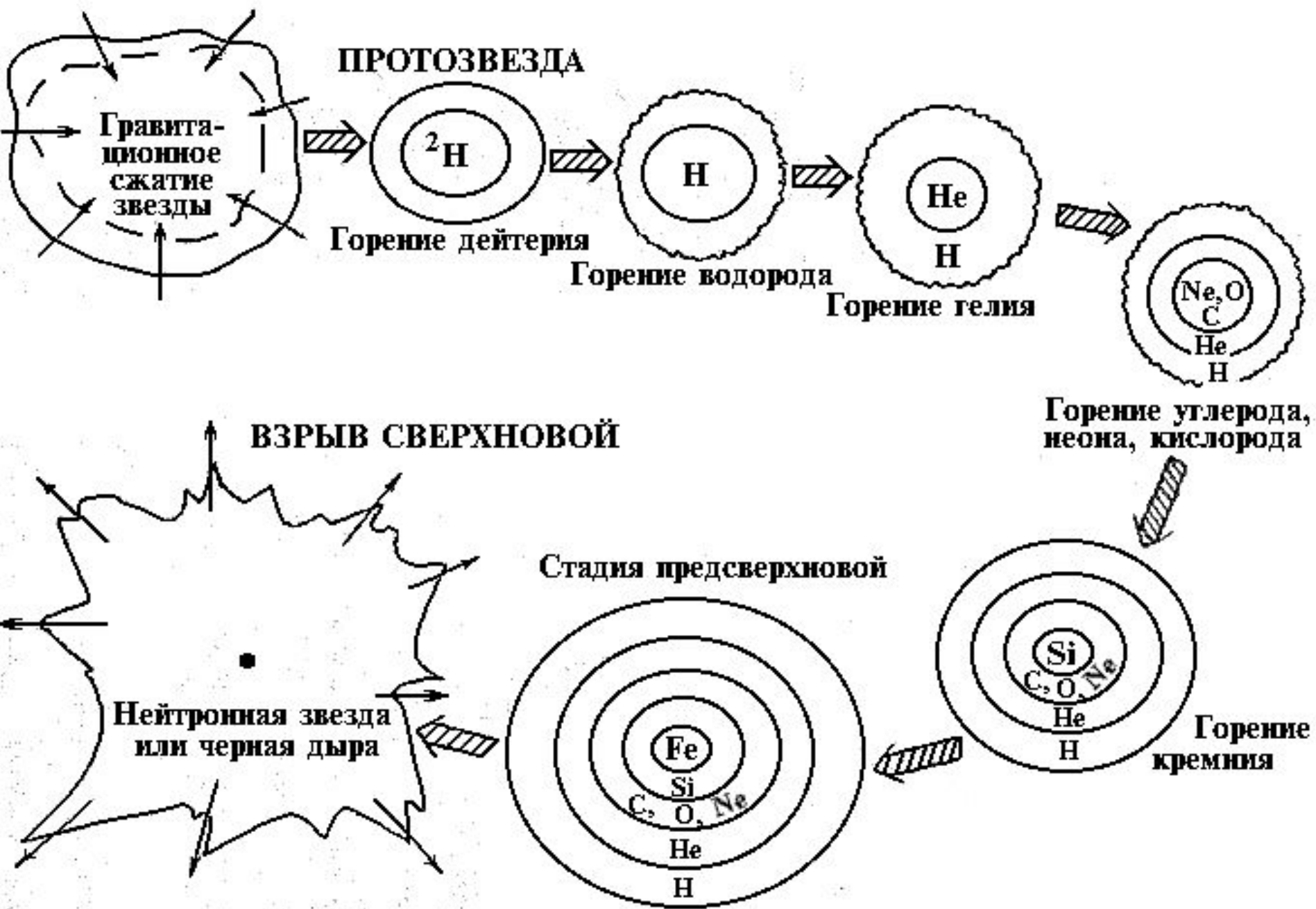
Звездный нуклеосинтез

- В процессе эволюции Вселенная постоянно обогащается все более тяжелыми химическими элементами.
- На стадии главной последовательности звезда излучает энергию, которая поставляется ядерными реакциями, превращающими водород в гелий, гелий в углерод и так далее.
- В звездах на этой стадии и происходят все типы ядерных реакций, приводящих к образованию всего спектра химических элементов, причем звезды, проходя по диаграмме путь слева – сверху, вправо – вниз, накапливают все больше тяжелых элементов

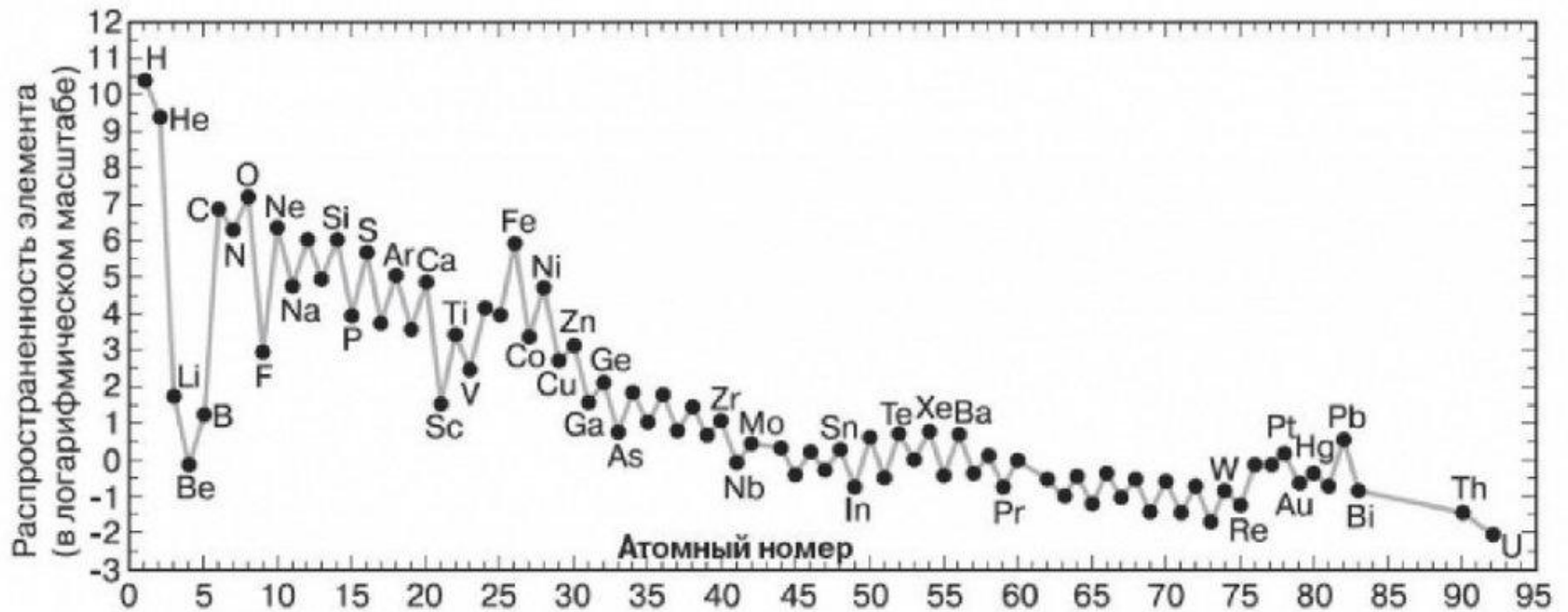
Процессы нуклеосинтеза

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 образования богатых протонами ядер.
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.

- При температуре 10^5 °C протекает реакция слияния дейтерия ($D = {}^2\text{H}$):
- ${}^2\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + n + Q$
- Горение водорода:
- ${}^1\text{H} + {}^1\text{H} + {}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + Q$
- Распад бериллия:
- ${}^8\text{Be} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^4\text{He}$.
- Горение гелия и углерода :
- ${}^4\text{He} + {}^4\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C}$
- ${}^8\text{Be} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C}^* \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$.
- ${}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$.
- Основное горение углерода начинается, когда температура T достигает $> 2 \cdot 10^8$ К (температура Красных Гигантов):
- ${}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{24}\text{Mg} + \gamma$ или ${}^{23}\text{Na} + p \rightarrow {}^{23}\text{Mg} + n$
- Затем при еще более высокой температуре $T \sim 2 \cdot 10^8 \div 10^9$ К загорается кислород:
- ${}^{16}\text{O} + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^{32}\text{S} + \gamma$;



Распространенность химических элементов во Вселенной



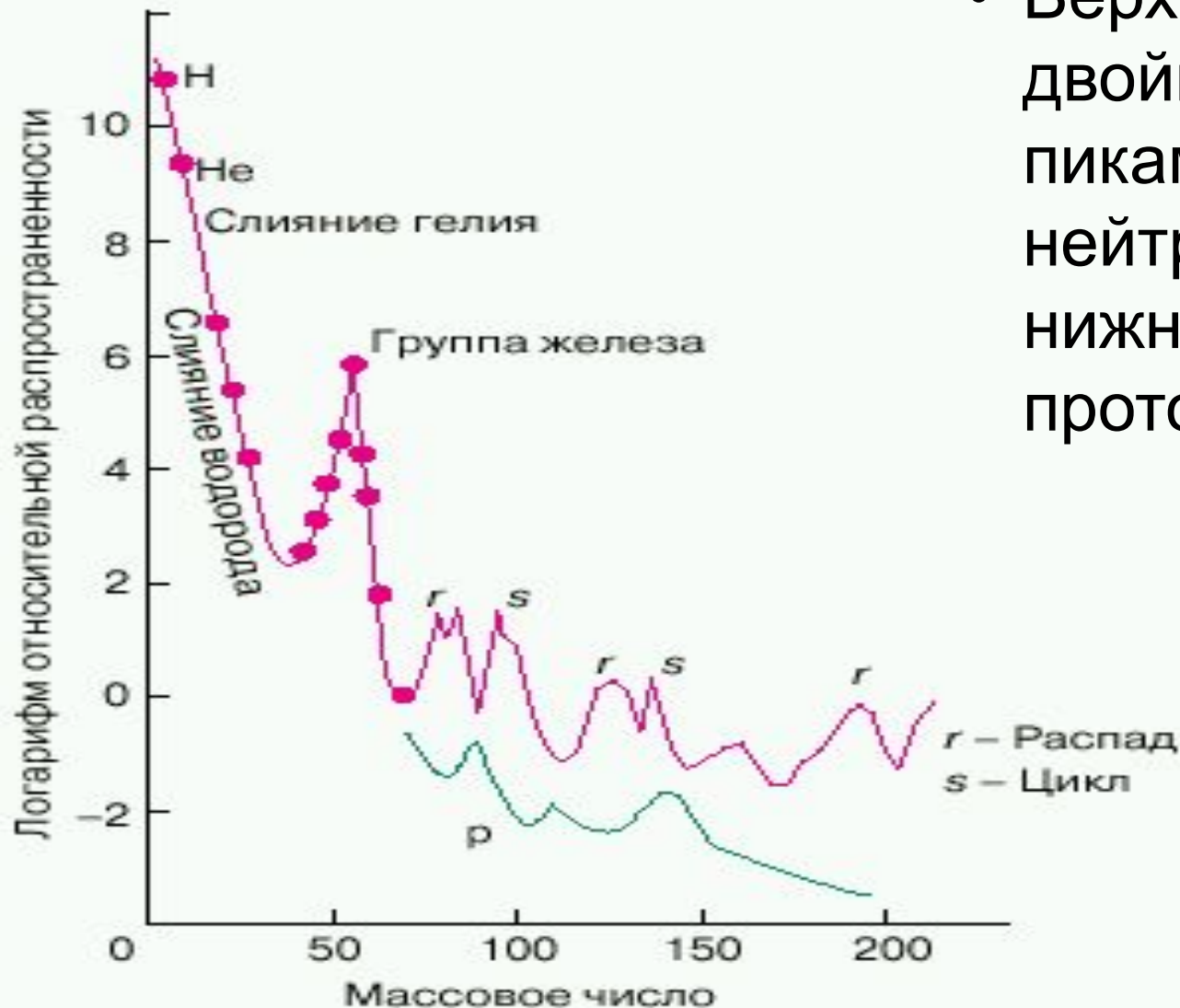
Распространенность нуклидов относительно Si в зависимости от массового числа. На рисунке показана относительная распространенность элементов на Земле, в метеоритах, на Солнце, и в звездах



- Кривая имеет максимумы для группы кремния и группы железа, после чего кривая распространенности распадается на две ветви: одна включает нейтронообогащенные изотопы и характеризуется тремя двойными пиками вблизи чисел $N = 50, 82$ и 126 , а вторая включает менее распространенные обогащенные протонами изотопы. Одной из ступеней нуклеосинтеза являлось образование ^{12}C . Как было показано, углерод может быть образован в результате реакции $^4\text{He} + ^8\text{Be} = ^{12}\text{C} + \gamma$.

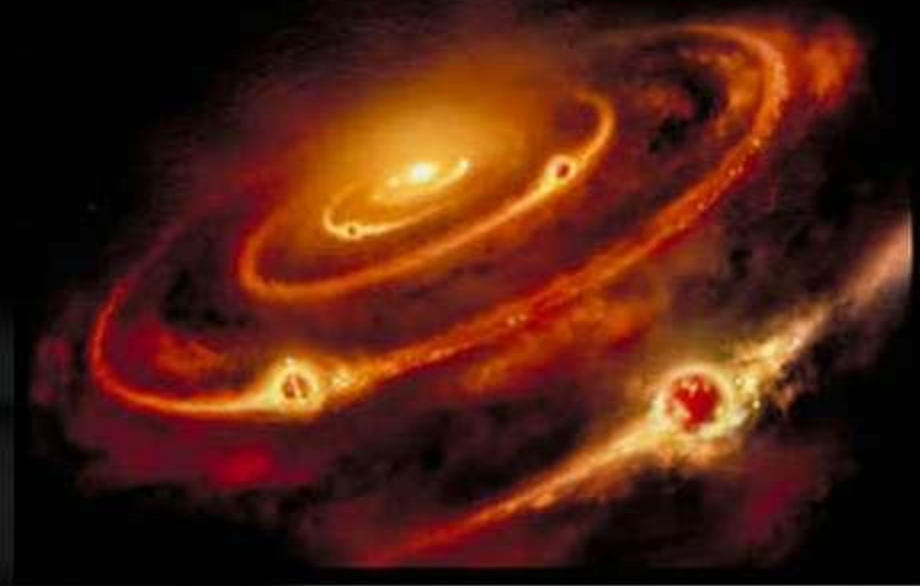
Кривая распространённости химических элементов.

- Верхняя кривая с двойными (r- и s-) пиками соответствует нейтроноизбыточным, нижняя (p-) – протонообогащенным



Образование Земли

Вселенная возникла в результате Большого взрыва. В образовавшемся космосе помимо звездных систем возникли газопылевые облака и неподалеку от одного из них, располагавшегося на окраине галактики Млечного Пути, произошла вспышка сверхновой звезды - Солнца



Ударная волна была сильна настолько, что газопылевое облако начало вращаться и постепенно разделилось на десять или одиннадцать скоплений вещества, названных протопланетами. Вращавшиеся вокруг Солнца протопланеты сильно разогрелись, а затем, остывая, превратились в восемь планет, которые известны нам сейчас.

Форма и размеры Земли

Земная ось - воображаемая линия, вокруг которой происходит суточное вращение земли, наклонена к плоскости под углом $66,5^\circ$.

Из-за вращения Земли вокруг своей оси она сплюснута у полюсов и имеет форму эллипса (геоида)

Северный и Южный полюсы – точки пересечения оси вращения с земной поверхностью.

Самая длинная окружность Земли – **экватор** (40 076 км)

Вертикальный (полярный) радиус Земли 6357 км

Горизонтальный (экваториальный) радиус Земли 6378 км

Радиус по диагонали 6375 км



Параметры земного сфероида

Модель сфероида	a, м	b, м	e
Сфероид Бесселя	6 377 397	6 356 079	1:299,15
Сфероид Хейфорда	6 378 388,6	6 356 909	1:297
Сфероид Красовского	6 378 245	6 356 863	1:298,3

a - радиус экватора, *b* – полярный радиус, $e = (a-b)/a$

В 1946 г. Совет Министров СССР принял решение о переводе всех геодезических и картографических работ на новый сфероид Красовского.

Дополнительные данные для сфероида Красовского

- Средний радиус 6371,22 км
- Длина окружности экватора 40 075,696 км
- Поверхность Земли 510 000 000 км²
- Поверхность суши 149 000 000 км² (29% всей поверхности Земли)
- Водная поверхность 361 000 000 км² (71% всей поверхности Земли)
- Объем Земли 1,083320-1,01г/км³
- Критическая скорость освобождения тел 11,2 км/с
- Линейная скорость точки на экваторе 465 м/с
- Средняя скорость движения Земли по орбите 29,76 км/с (100 000 км/ч)

Основные свойства оболочек Земли
(Г. В. Войткевич, В. В. Закруткин, 1976)

Оболочка	Индекс слоя	Интервал глубин, км	Интервал плотности, г/см ³	Доля от объема Земли, %	Масса, 10 ²⁵ г	Масса, %
Литосфера (кора)	<i>A</i>	0-30 (70)	2,7-3,0	1,55	5	0,8
Верхняя мантия	<i>B</i>	30 (70)-400	3,32-3,65	16,67	62	10,4
Переходная зона мантии	<i>C</i>	400-1000	3,65-4,68	21,31	98	16,4
Нижняя мантия	<i>D</i>	1000-2900	4,68-5,69	14,28	245	41,0
Верхнее жидкое ядро	<i>E</i>	2900-5000	9,40-11,50	15,16		
Переходная зона ядра	<i>F</i>	5000-5100	11,5-12,0	0,18	188*	31,5*
Центральное твердое	<i>G</i>	5100-6371	12,0-12,5	0,76		

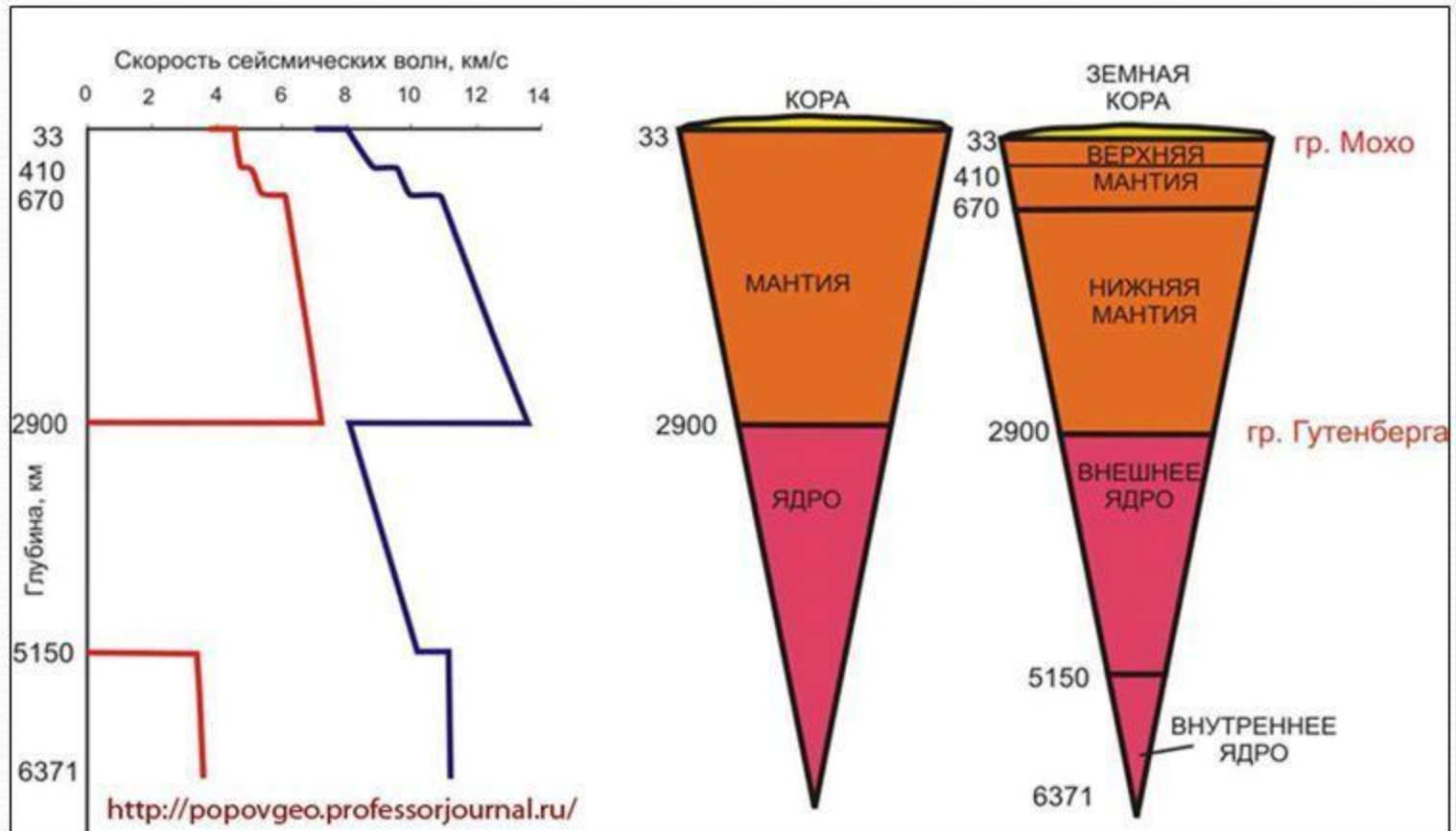
Общий химический состав Земли, мас. %

Элемент	По		Элемент	По	
	Г. Вашингтону	А. Ферсману		Г. Вашингтону	А. Ферсману
Fe	39,76	39,90	Na	0,39	0,52
O	27,71	28,55	Cr	0,20	0,26
Si	14,53	14,47	Co	0,23	0,06
Mg	8,69	11,03	P	0,11	0,12
Ni	3,16	2,96	K	0,14	0,15
S	0,64	1,44	Ti	0,02	–
Ca	2,52	1,38	Mn	0,07	0,18
Al	1,79	1,22			

Относительная последовательность понижения распространенности элементов, вес. % (Б. Мейсон)

Солнце	Метеориты	Земля в целом	Литосфера
H	O	Fe	O
He	Fe	O	Si
O	Si	Si	Al
C	Mg	Mg	Fe
N	S	Ni	Ca
Si	Ni	S	Na
Mg	Ca	Ca	K
S	Al	Al	Mg
Fe	Na	Na	Ti
Ca	Cr	Cr	H
Ni	Mn	Mn	P
Na	P	Co	Mn
Al	Co	P	F
Cu	K	K	Ba

Сейсмическая модель Земли

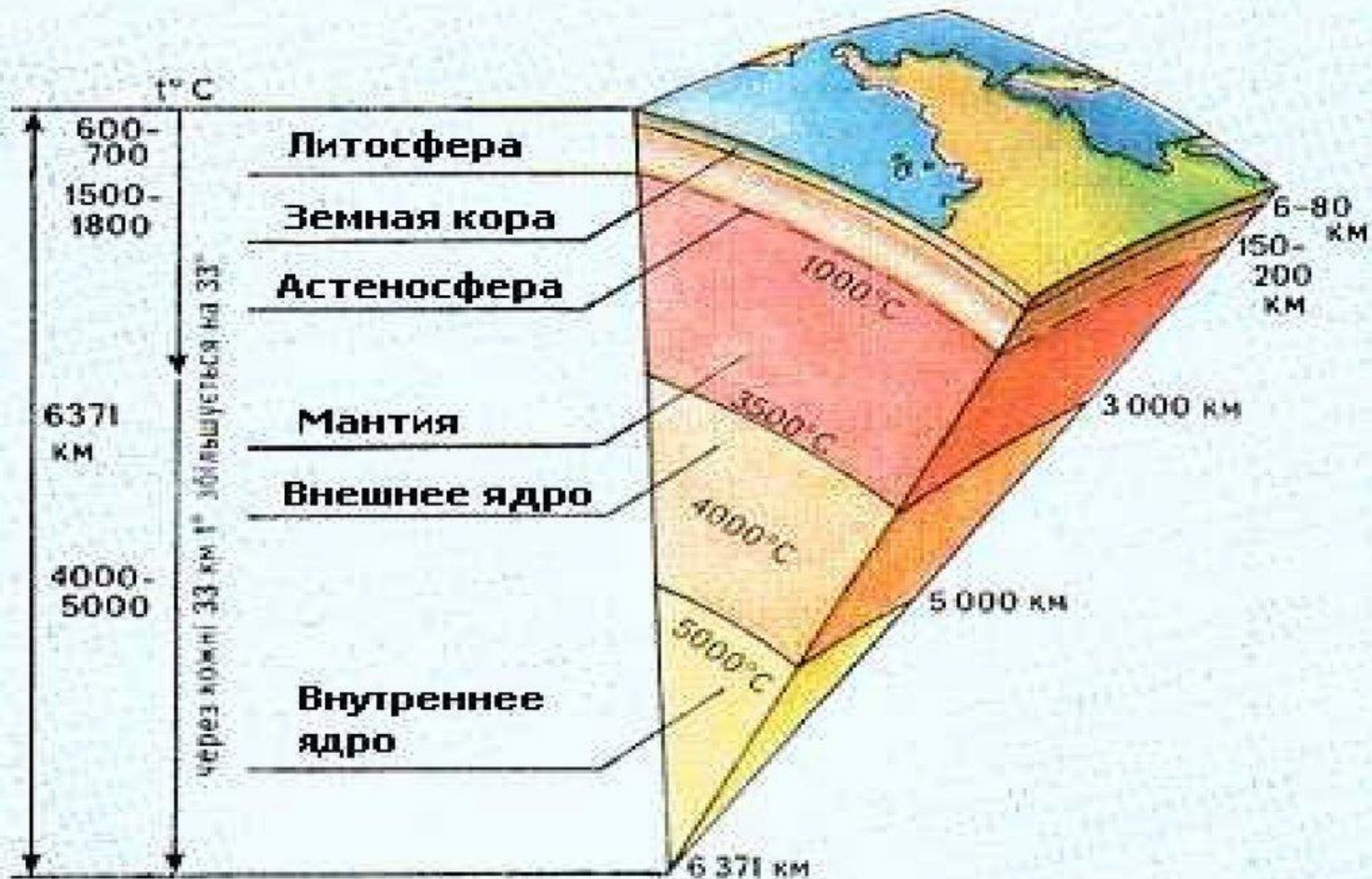


Сейсмические волны:

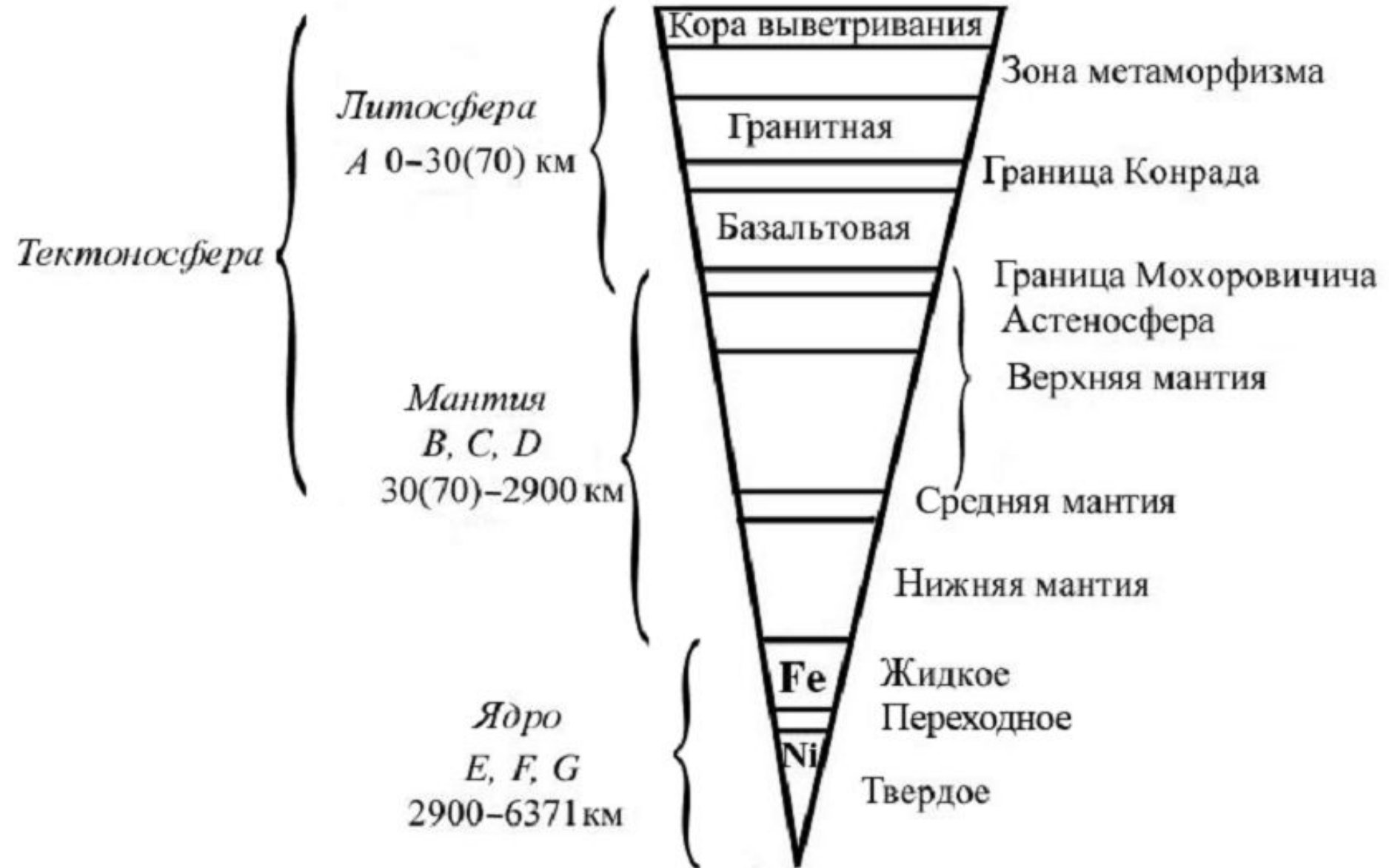
- **продольные**
- **поперечные**



СТРУКТУРА ЛИТОСФЕРЫ



Геосферы



Химический состав

Земли.

Элемент.	Процентное содержание
Железо.	37,6%
Кислород.	29,0%
Кремний.	14,5%
Магний.	9,2%
Никель.	3,0%
Кальций.	2,0%
Сера.	1,5%
Алюминий.	1,5 %

Химический состав Земли

- 1 - внутреннее ядро
- 2 - переходная зона
- 3 - внешнее ядро
- 4 - нижняя мантия
- 5 - верхняя мантия
- 6 - кора

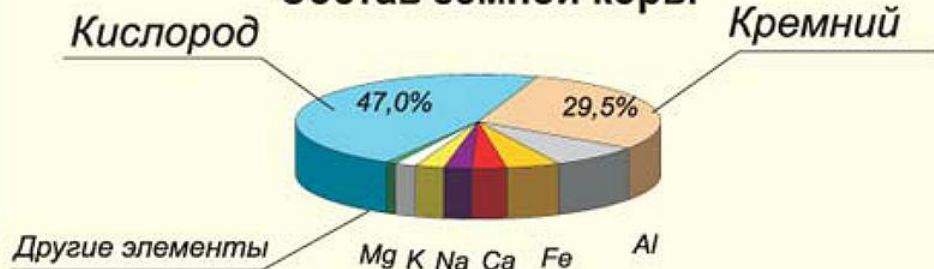
В составе Земли наиболее распространены четыре элемента: O, Fe, Si, и Mg, — на их долю приходится более 91% состава Земли

железо (37,0%) и кислород (28,5%), затем следует кремний (14,5%), магний (11,0%), никель (3,0%), кальций (1,4%), алюминий (1,2%), сера (1,4%) и прочие 2,0%.



РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

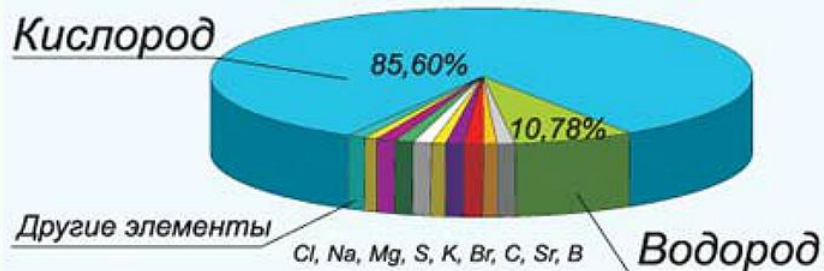
Состав земной коры



Наиболее распространенные элементы планеты



Состав гидросферы



Химический состав земной коры

- В США Кларк установил 10 элементов, образующих породы - породообразующие
- минералы: O – 46, Si - 27,7, Al - 8,1, Fe - 5,7, Ca – 4,3, K – 1,8, Na – 2,3, Mg 2,4, Ti - 0,6, H, P и Mn по 0,1, остальные элементы – 0,8.
- Вывод: породообразующие элементы имеют малые порядковые номера, преобладают легкие элементы, располагаются в верхней части таблицы элементов, их кларки составляют проценты и 0,1%.
- Ак. В.И. Вернадский показал, что породообразующие элементы, соединяясь между собой, образуют породообразующие минералы класса силикатов и оксидов.

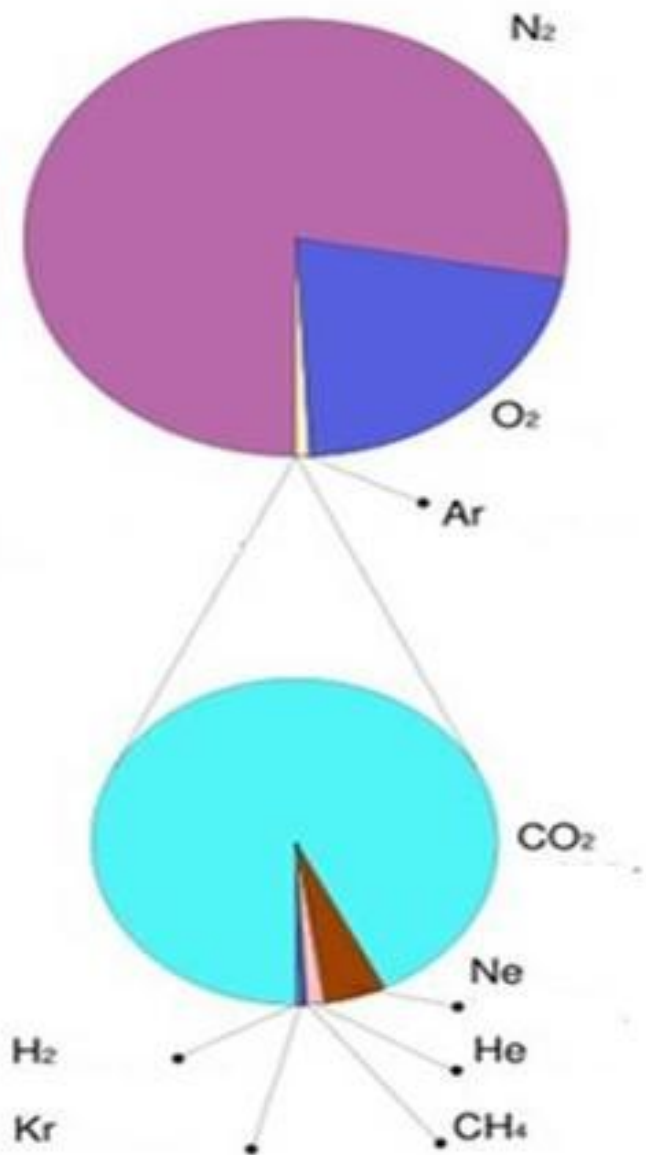
Распространенность главных элементов земной коры по В. Гольдшмидту

Элемент	Распространенность, %			Радиус иона, 10^{-8} см
	по весу	по объему	атомная	
O	46,60	91,97	62,55	1,32
Si	27,72	0,80	21,22	0,39
Al	8,13	0,77	6,47	0,57
Fe	5,00	0,68	1,92	0,82
Mg	2,09	0,56	1,84	0,78
Ca	3,63	1,48	1,94	1,06
Na	2,83	1,60	2,64	0,98
K	2,59	2,14	1,42	1,33

Распространенность главных элементов мантии Земли

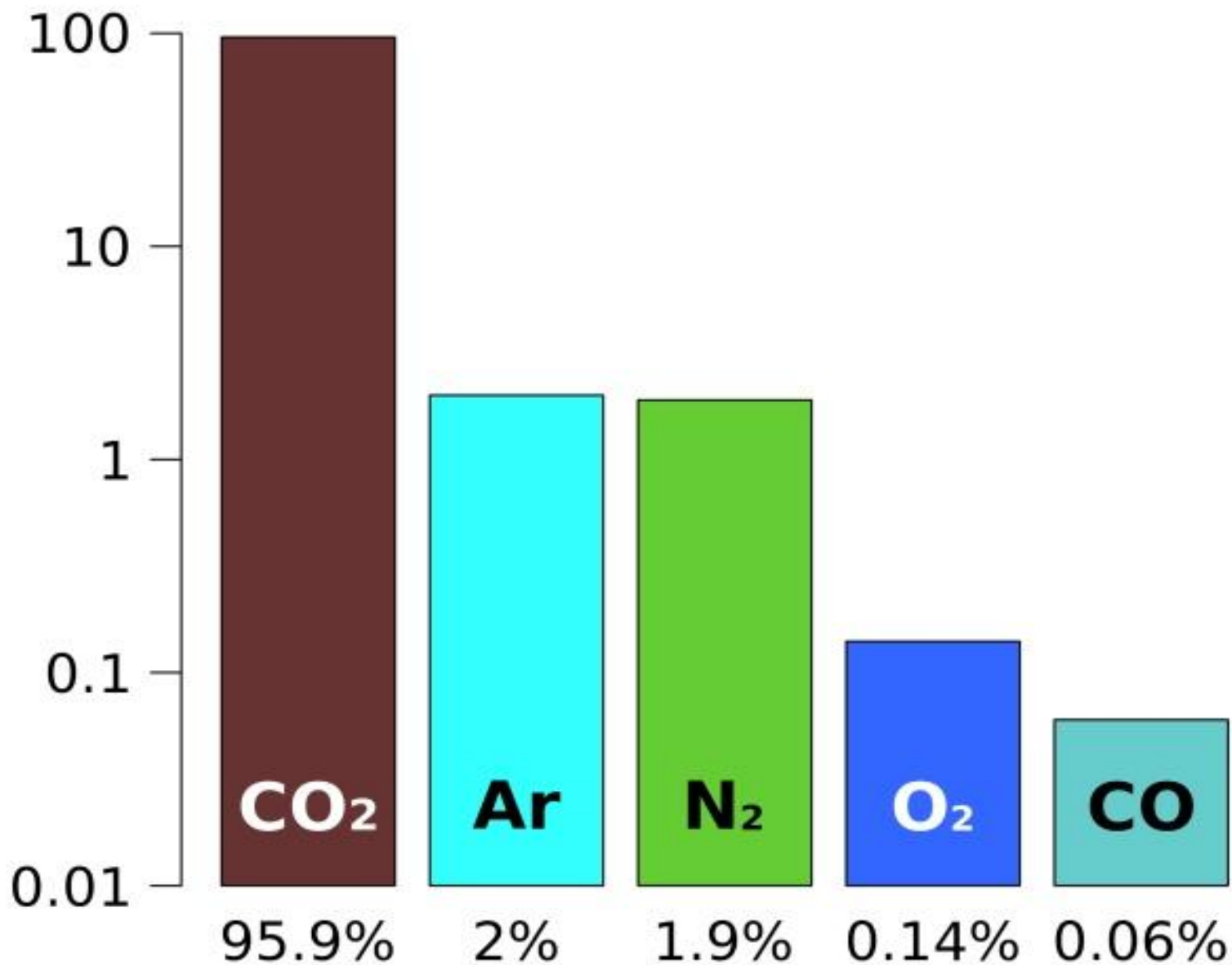
Элемент	Концентрация		Оксид	Концентрация
<u>O</u>	44,8			
<u>Si</u>	21,5		<u>SiO₂</u>	46
<u>Mg</u>	22,8		<u>MgO</u>	37,8
<u>Fe</u>	5,8		<u>FeO</u>	7,5
<u>Al</u>	2,2		<u>Al₂O₃</u>	4,2
<u>Ca</u>	2,3		<u>CaO</u>	3,2
<u>Na</u>	0,3		<u>Na₂O</u>	0,4
<u>K</u>	0,03		<u>K₂O</u>	0,04
Сумма	99,7		Сумма	99,1

Состав атмосферы Земли



- 78% азота
- 21% кислорода
- 1% углекислого газа
- 1% паров воды
- 1% прочие газы
(неон, водород, гелий, метан, криптон)

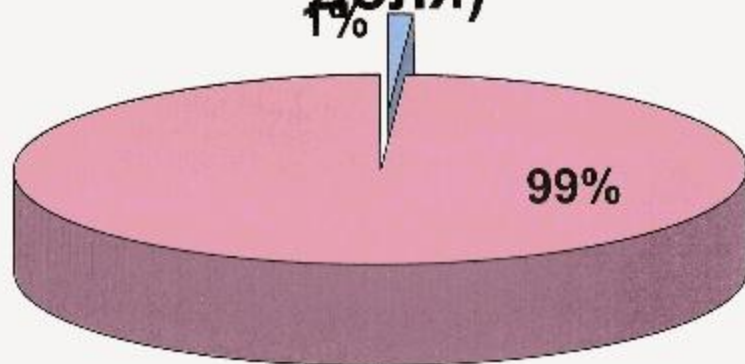
Атмосфера Марса



Нахождение в природе H_2

В земной коре

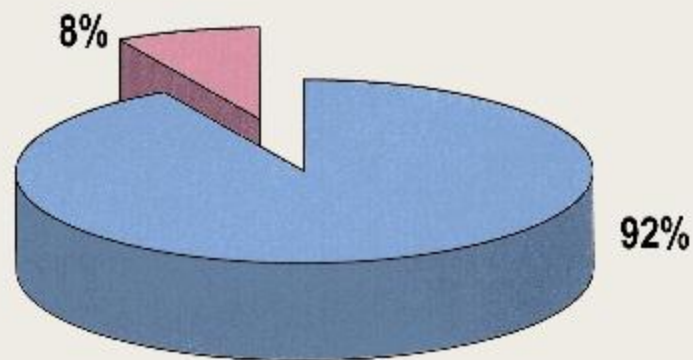
Земная кора (массовая доля)



■ водород ■ другие элементы

Во вселенной

Вселенная (в % от числа атомов)



■ водород ■ другие элементы

Кислород – самый распространенный на Земле химический элемент

Атмосфера

21 %

Гидросфера 98

%

Литосфера 49

%

Распространенность элементов в земной коре

