

Курс лекций

ОБЩАЯ ГЕОХИМИЯ

Лекция № 1. Введение в геохимию

Ефремов Сергей Васильевич

Продолжительность курса – 144 часа

Лекции – 18 часов

Практические занятия – 54 часа

Самостоятельная работа – 45 часов

Экзамен

[Учебные пособия]

Основные:

Козлов В.Д. Введение в геохимию. Издательство ИрГТУ, 2005, 2013.

Для дополнительного изучения:

Сауков А.А. Геохимия. Москва, Наука, 1975.

Барабанов В.Ф. Геохимия. Ленинград, Недра, 1985.

Перельман А.И. Геохимия. Москва, Высшая школа, 1989.

Бранлоу А.Х. Геохимия, Москва, Недра, 1984.

Цели и задачи курса

Дать представление:

- 1 о геохимических методах решения геологических задач;
- 2 о строении Земли и составе её оболочек;
- 3 о геохимических свойствах химических элементов и факторах их миграции;
- 4 о изотопных методах датирования геологических объектов;
- 5 о современных методах определения концентраций химических элементов в породах и рудах.

[Геохимия как наука]

В переводе с греческого термин **геохимия** означает науку о химии Земли. Впервые этот термин был предложен Швейцарским химиком **Х.Шенбергом** в 1842г.

Геохимия – наука на стыке химии и геологии. Она **изучает геологические процессы на атомарном уровне**. Это самостоятельная наука со своими задачами и методами исследования.

Геохимия «выросла» из генетической минералогии и как самостоятельная наука оформилась в 1 десятилетие 20-го века. **Годы рождения** геохимии как самостоятельной науки **1908-1911**. Место рождения – кафедра минералогии Московского государственного университета.

Первый курс геохимии был прочитан А.Е. Ферсманом в 1912г для студентов народного университета им. А.Л. Шанявского.

Предпосылки возникновения

1. Открытие периодического закона Д.И.Менделеевым;
2. Синтез минералов и моделирование природных условий минералообразования (В.И.Вернандский, В.М.Гольдшмидт);
3. Создание генетической минералогии (В.И.Вернандский);
4. Открытие явления радиоактивности (супруги Кюри);
5. Установление химического состава земной коры (Ф.У.Кларк);
6. Открытие законов квантовой механики объясняющей:
 - a) строение атомов,
 - b) природу химической связи,
 - c) структуру периодической системы элементов,
 - d) свойств элементарных частиц составляющих атомы (Г.Мозли и др.);
7. Разработка и внедрение первых аналитических методов исследования земного вещества (В.И.Вернандский и др.).

Основоположники геохимии

Кларк Франк Уиглсуорт (1847-1931)

Американский ученый-химик, заведующий химической лаборатории геологической службы США.

Первым начал систематическое изучение химического состава горных пород и рассчитал средний состав земной коры.

Средние концентрации элементов в земной коре названы по его имени кларками.



Основоположники геохимии



Вернадский Владимир Иванович (1863-1945)

Выдающийся русский ученый.

Создал генетическую минералогию.

Создал геохимию как науку, сформулировал цели, задачи, определил объекты и методы исследования.

Ввел понятие о всеобщем рассеянии элементов.

Указал важный вклад биологических процессов в историю химических элементов, создал новую науку – биогеохимию.

Основоположники геохимии



Ферсман Александр Евгеньевич (1883-1945)

Выдающийся советский ученый.

Выделил главные факторы контролирующие поведение химических элементов в природе.

Выполнил классификацию геохимических процессов.

Показал зависимость миграционной способности элементов от энергетической характеристики атомов и кристаллов.

Создал науку о геохимических методах поисков полезных ископаемых.

Основоположники геохимии

Гольдшмидт Виктор Мориц (1888-1947)



Выдающийся норвежский ученый.

Основоположник кристаллохимического и физико-химического направления в геохимии.

Создал геохимию эндогенных процессов.

Показал значение радиусов ионов и атомов при образовании кристаллических структур.

Заложил основы геохимии минералов и сформулировал первый закон кристаллохимии.

Сформулировал правила изоморфизма.

цели и задачи геохимии

«...Главная задача геохимии – изучение количественного состава планеты...».

Кларк Ф.У.

«...Важная задача геохимии – объяснить распределение химических элементов между различными минералами и горными породами исходя из кристаллохимических особенностей решеток минералов...».

Гольдшмидт В.М.

«...Геохимия научно изучает химические элементы, т.е. атомы земной коры и, насколько возможно, всей планеты. Она изучает их историю, их распределение в пространстве – времени, их генетические соотношения...»

Вернадский В.И.

«...Геохимия изучает историю химических элементов – атомов в земной коре и их поведение при различных термодинамических и физико-химических условиях природы...»

Ферсман А.Е.

Два главных направления в геохимии

- ❑ Определение состава геологических оболочек Земли и слагающих ее геологических объектов.
- ❑ Изучение причин и закономерностей миграции атомов в оболочках Земли.

Разделы геохимии

Для изучения различных оболочек Земли и протекающих в них процессах выделяются:

Атмогеохимия – изучает геохимию атмосферы;

Гидрогеохимия – изучает геохимию природных вод;

Лиогеохимия – изучает геохимию кристаллических оболочек Земли;

Биогеохимия – изучает геохимический эффект растений и организмов.

В свою очередь каждый из этих таксонов может быть подразделен на более мелкие такие как: геохимия океанов, геохимия подземных вод; геохимия мантии Земли; геохимия полезных ископаемых и.т.д.

В отдельную группу может быть выделена геохимия **эндогенных и экзогенных процессов** изучающая поведение химических элементов в различных условиях Земли, либо геохимия **отдельных элементов и их групп**: геохимия изотопов; геохимия галогенов; геохимия бария и.т.д.

Образование и распространенность химических элементов

«...**Геохимия изучает историю химических элементов** – атомов в земной коре и их поведение при различных термодинамических и физико-химических условиях природы...»

А.Е. Ферсман

«...**Понять историю атомов** в земной коре (и вообще на Земле и в Космосе) **можно, лишь изучив свойства этих атомов**, так как различные природные процессы, связанные с распределением и миграцией химических элементов в пространстве и времени являются функцией, в первую очередь, этих свойств...».

А.Е. Ферсман

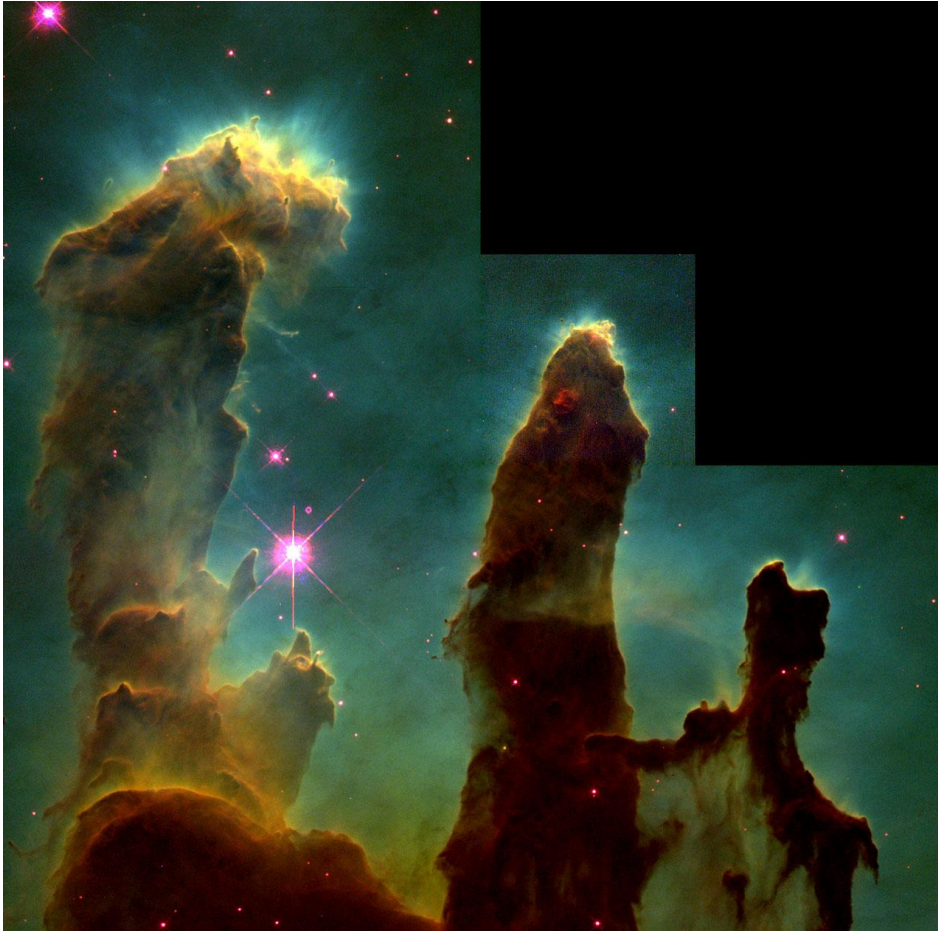
Гипотеза большого взрыва

Согласно гипотезе, зарождение всей Вселенной было связано с **Большим Взрывом (БВ)**, 12,5-14 миллиардов лет назад. Взрыв произошел в результате гравитационной концентрации всей материи Вселенной в очень небольшом объеме и ее переуплотнения до бесконечно большой плотности.

Во время большого взрыва был сгенерирован весь водород и небольшая часть гелия, которые и пошли на строительство вселенной.

Считается, что неравномерное, очаговое охлаждение расширяющейся области *БВ*, заполненной плазмой водорода и гелия, приводило к образованию огромных сгустков вещества, давших начало галактикам, ранним протозвездно-планетным системам и ранним звездам.

Пылево-газовая туманность



Потенциальные источники
вещества для образования
звездных систем

[Вселенная]



Вселенная состоит из множества галактик, триллионов отдельных звезд.

Первоначальный радиус Вселенной оценивается в 15 млн. световых лет.

В настоящее время самые удаленные галактики находятся на расстоянии в 10 млрд. световых лет.

Строение атомных ядер

Согласно современным представлениям квантовой физики атом имеет «гелиоцентрическое» строение. В центре атома расположено положительно заряженное ядро, вокруг которого вращаются отрицательно заряженные электроны. **Размер атома** в среднем составляет 10^{-8} см, а **размер ядра** от 2 до $9 \cdot 10^{-13}$ см.

Ядро атома состоит из протонов и нейтронов. Вместе эти элементарные частицы называются нуклонами.

Протон имеет положительный заряд. Число протонов в ядре определяет число орбитальных электронов в нейтральном атоме.

Заряд нейтрона равен нулю.

Атомные веса протона и нейтрона равны единице.

[Открытие Г. Мозли]

В 1913г. английский физик Г. Мозли ввел термин **атомный номер химического элемента**.

Заряды ядер элементов изменяются в соответствии с их порядковым номером в периодической системе таблицы Менделеева, и **атомный номер химического элемента соответствует количеству протонов (заряду) в ядре его атома**.

Таким образом **номер элемента в таблице Менделеева отвечает количеству протонов в ядре, величине положительного заряда ядра и количеству электронов вращающихся на его орбитах**.

ИЗОТОПЫ

В ядре атома протоны и нейтроны связаны соотношением:

$$A = Z + N$$

A – главное массовое число (сумма протонов и нейтронов в ядре атома).

Z – количество протонов в ядре (заряд ядра, порядковый номер элемента в таблице Менделеева).

N – количество нейтронов в ядре.

Если количество протонов (заряд ядра) для данного элемента постоянно, то количество нейтронов в ядрах одного элемента может меняться: **ядра (разновидности) одного и того же элемента, различающиеся количеством нейтронов, называются изотопами.**

Изотопы

Следовательно, **изотопы** одного элемента, обладая одинаковыми зарядом ядра, различаются их **атомными весами**.

^{15}O - 8 протонов, 7 нейтронов.

^{16}O - 8 протонов, 8 нейтронов.

^{18}O - 8 протонов, 10 нейтронов.

^{204}Pb - 82 протона, 122 нейтрона.

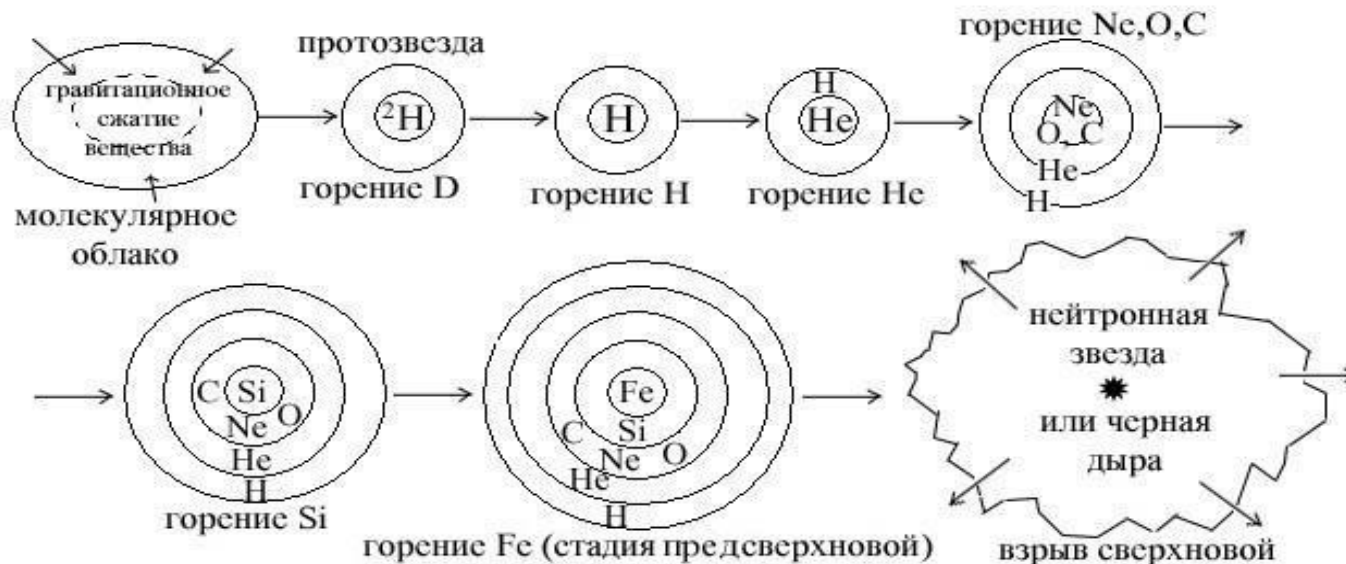
^{206}Pb - 82 протона, 124 нейтрона.

^{207}Pb - 82 протона, 125 нейтрона.

^{208}Pb - 82 протона, 126 нейтрона.

Всего в системе таблицы Менделеева известно **340** естественных изотопов, из которых **273** стабильных, а остальные – радиоактивны.

Происхождение химических элементов



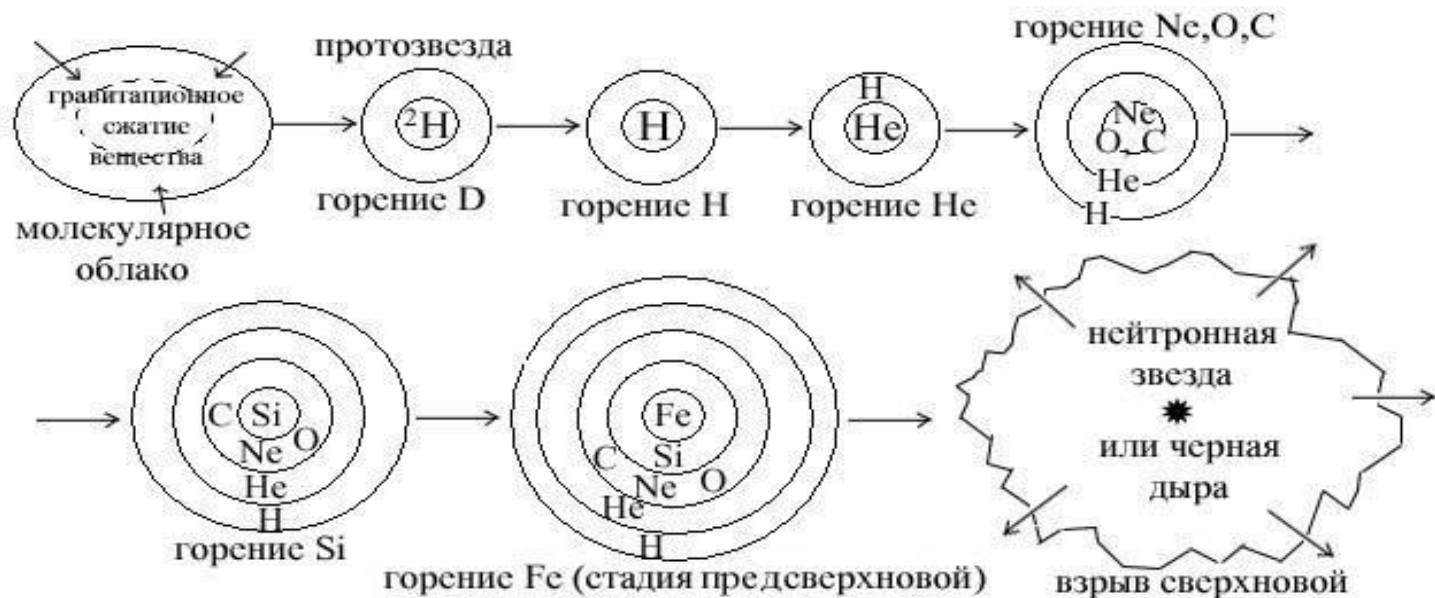
Во время большого взрыва были образованы только атомы водорода и гелия. **Остальные элементы таблицы Менделеева были сгенерированы из атомов водорода в результате термоядерных реакций при образовании и эволюции звезд.**

Возможные ядерные реакции в зависимости от массы звезды ($M = \text{Звезда/Солнце}$)

Масса, M_{\odot}^1	Возможные ядерные реакции
0,08	нет
0,3	горение H
0,7	горение H, He
5,0	горение H, He, C
25,0	все реакции синтеза с выделением энергии

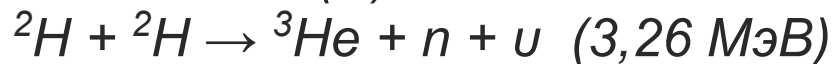
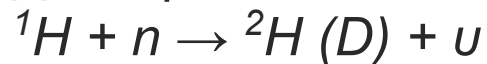
Масса звезды определяет величину гравитационных сил сжатия, что определяет максимально достижимую температуру и плотность в центре звезды. Поэтому **полная последовательность ядерных реакций синтеза возможна лишь в массивных звездах.**

Синтез дейтерия – начало термоядерных реакций

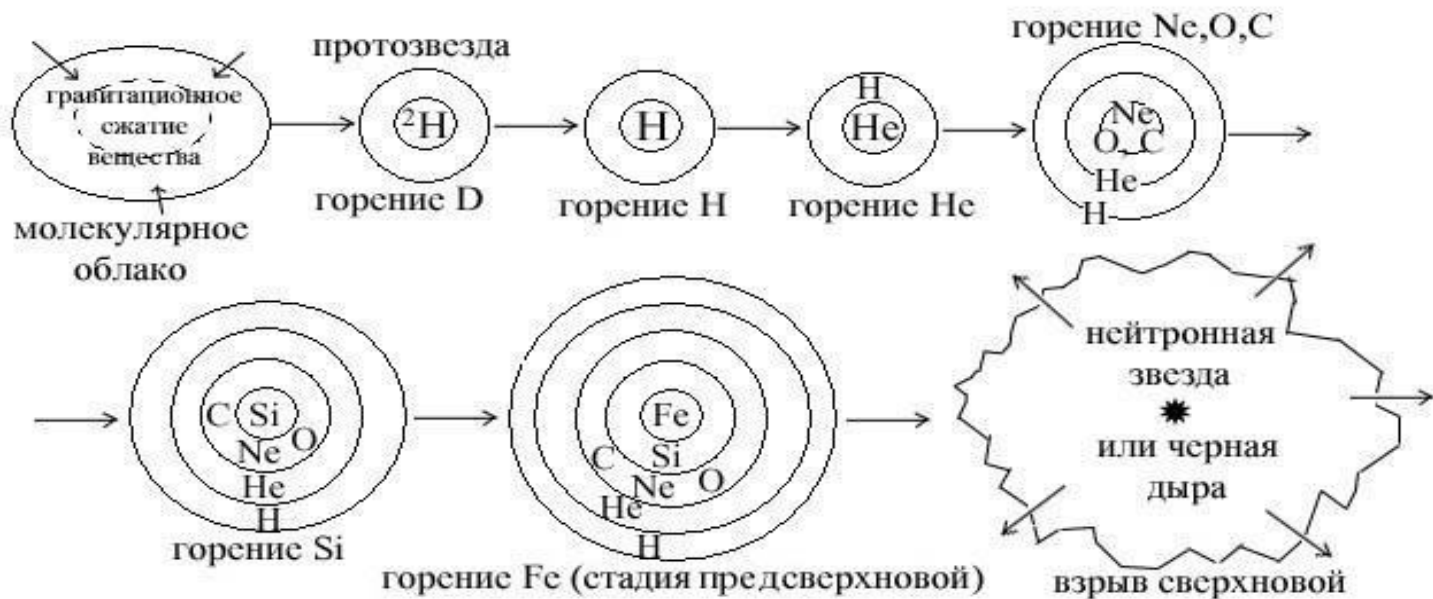


Протозвезда ($T = 100\,000\text{ K}$)

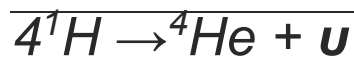
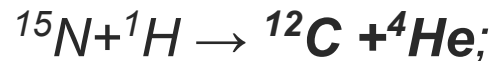
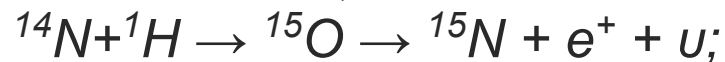
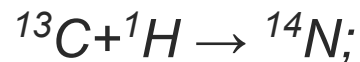
Дейтерий – изотоп водорода с атомной массой 2



Горение водорода

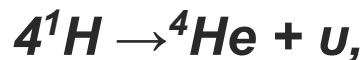


Звезда ($T = 1\,000\,000^{\circ}\text{K}$)



Дефект массы

Реальная масса изотопов всегда несколько меньше, чем если их составлять из атомов водорода. Эта разница носит название дефекта масс и имеет очень важное значение для объяснения устойчивости атомов и связанной с ней распространенности элементов. **Устойчивость ядра связана с дефектом массы.**

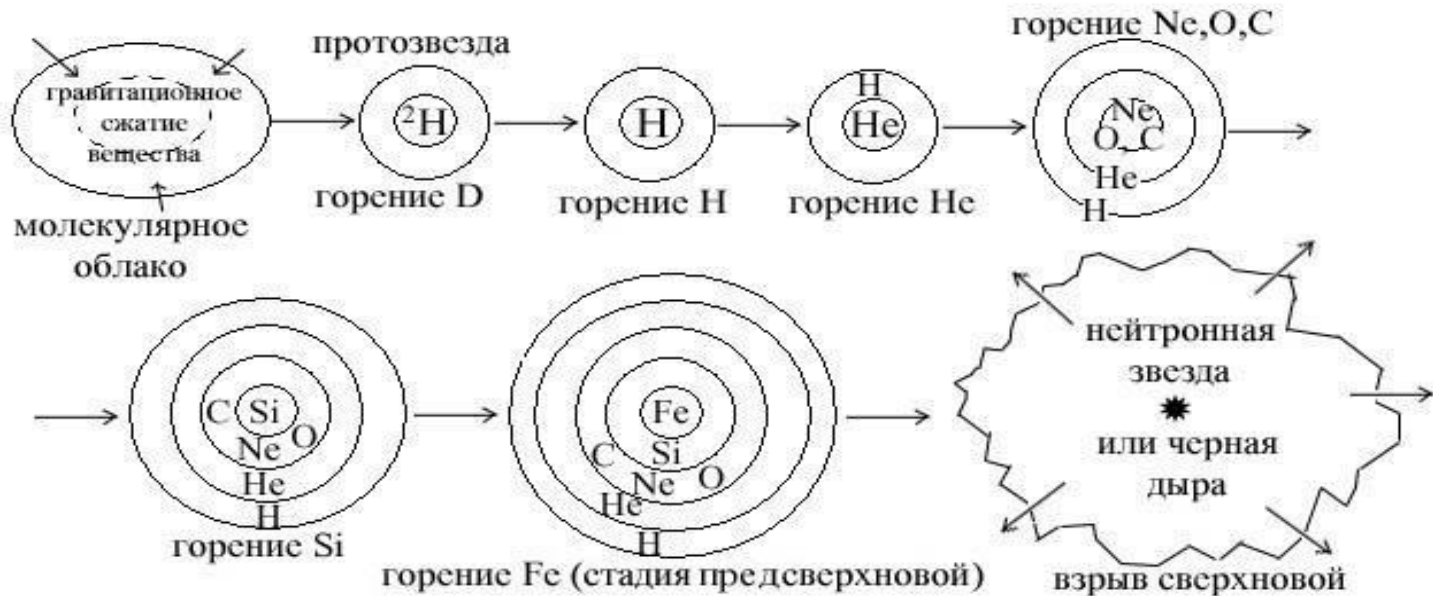


$$\text{ДМ (He)} = 4,0316 - 4,0026 = 0,02928. \quad E = mc^2 = 6,19 \cdot 10^{11} \text{ ккал}$$

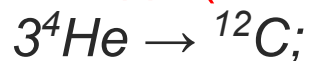
ДМ – дефект массы – энергия синтеза ядра ^4He из ^1H , или энергия связи атомного ядра ^4He .

Чем больше дефект массы при образовании атома элемента, тем устойчивее сам элемент.

Горение гелия



Звезда ($T = 100\,000\,000^\circ\text{K}$)



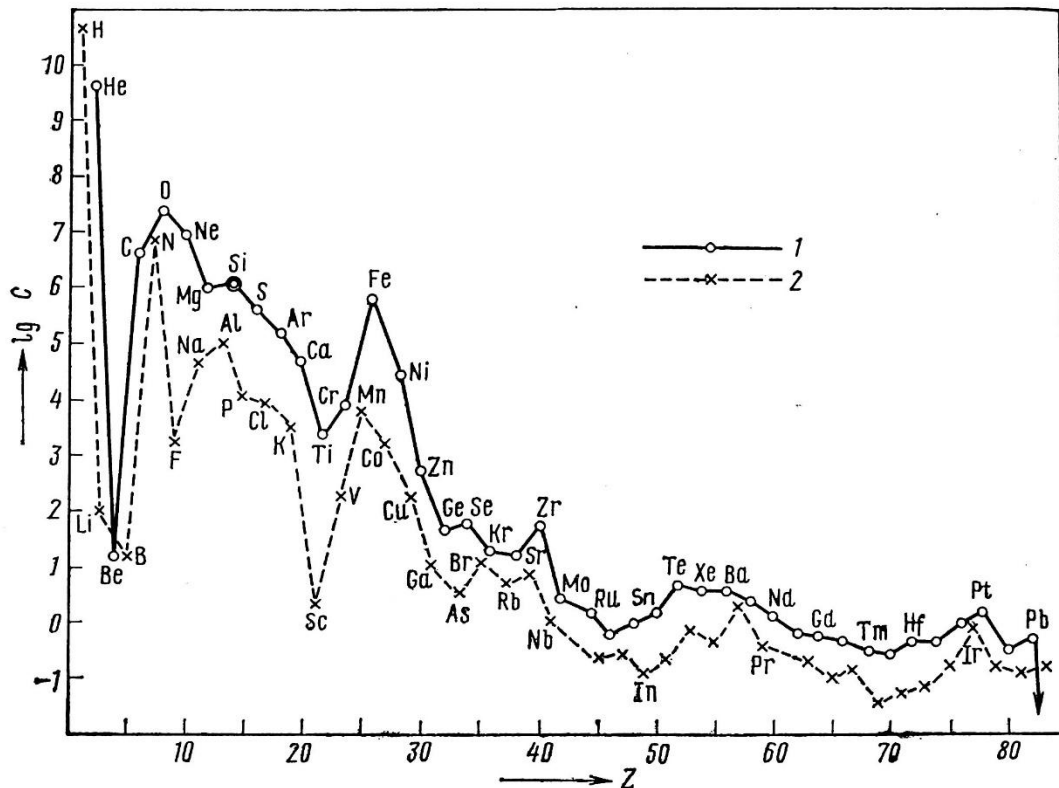
Захват ^4He атомами ^{16}O и $^{20}\text{Ne} \rightarrow ^{24}\text{Mg}$, ^{28}Si , ^{32}S , ^{36}Ar , ^{40}Ca .

Горение C, O, Si с образованием элементов вплоть до Fe.

Термоядерные реакции ответственные за образование атомов элементов

H, He	U
Li	x, H, U
Be, B	x
C	He, H
N	H
O	He, H
F	N
Ne	C, He, N
Na, Mg, Al	C
Si	O, Si
P	O
S, Cl, Ar, K	O, Si
Ca	O, Si, s, N
Sr	Si, E
Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn	E
Ga, Ge	E, s
As, Br, Rb, Y, Nb, Zr, Rh	s, r
Th, U	r
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	p, s, r

Распространенность химических элементов



закон Оддо-Гаркинса:
 во вселенной более распространены элементы (изотопы) с четными количествами протонов в ядре, чем с нечетными.

Тип $4q$

Тип $4q + 1$

Тип $4q + 2$

Тип $4q + 3$