

# Энергетика геохимических процессов



# **Виды энергии, проявляющиеся при геохимических процессах или вызывающие их**

## **I. Внутренние:**

- энергия вакуума;
- энергия ядерных процессов;
- энергия электронных переходов в атомах;
- энергия фазовых переходов;

## **II. Внешние:**

- энергия Солнца;
- Энергия космического излучения;
- Гравитационная энергия
- Другие виды энергии

# Внутренние виды энергии

**Энергия вакуума.** «Вакуум» - особый вид материи в особом мало изученном состоянии.

**Ва́куум** (от лат. *vacuum* — пустота)

Квантовая теория поля утверждает, что, в согласии с принципом неопределенности, в физическом вакууме **постоянно рождаются и исчезают виртуальные частицы**: происходят так называемые нулевые колебания полей. В некоторых конкретных теориях поля могут существовать несколько различных вакуумов, различающихся плотностью энергии, и т. д.

Некоторые из этих предсказаний теории поля уже были успешно подтверждены экспериментом. Например, существование нескольких вакуумных состояний (так называемых ложных вакуумов) является одной из главных основ теории Большого взрыва.

Но, пожалуй, самым наглядным из явлений, которые нельзя объяснить, не используя идею о нулевых колебаниях вакуума, это спонтанное излучение. **Самые обыкновенные излучающие спонтанно лампы накаливания не светились бы, если бы вакуум был абсолютной пустотой.** Дело в том, что любой объект (а, значит, и возбужденный атом), помещенный в абсолютно пустое пространство, представляет собой замкнутую систему. А поскольку такая система стабильна во времени, то никакого излучения не происходило бы. Уже из этого простого рассуждения понятно, что объяснение спонтанного излучения требует привлечения более сложной модели вакуума, чем классическая абсолютная пустота.

## Внутренние виды энергии

«В наблюдаемой Вселенной доминирует **вакуум**; по плотности энергии он превосходит все «обычные» формы космической материи вместе **взятые**. Вакуум создает космическую антигравитацию, которая управляет динамикой космологического расширения в современную эпоху. В результате космологическое расширение ускоряется, а 4-мерное **пространство-время** мира становится тем временем статическим. На это определенно указывают недавние наблюдательные исследования далеких вспышек сверхновых звезд. Открытие космического вакуума влечет за собой коренной пересмотр устоявшихся представлений о современном состоянии Вселенной.»

# Внутренние виды энергии

Луи де Бройль писал, что *«энергии вакуума, взятого в объеме одного литра, могло бы хватить на покрытие нужд всей земной промышленности и транспорта в течение миллиона лет»*.

(Один из создателей квантовой механики Луи де Бройль (1892-1987) – всемирно известный ученый, лауреат Нобелевской премии, чьи работы в области теоретической физики, а также выдающийся литературный талант глубоко изменили современную физику и поставили его в один ряд с самыми выдающимися учеными нашего времени.)

Некоторые ученые считают, что вакуум – это та **праматерия**, которая способна в неизвестных нам пока условиях породить из себя атомы водорода и более простые элементарные частицы, давая начало воспринимаемому нашими органами чувств состоянию материи.

# Внутренние виды энергии

## Энергия ядерных превращений.

В настоящее время известны три типа экзотермических ядерных реакций:

1. Деление тяжелых ядер нейтронами;
2. Синтез легчайших ядер;
3. Расщепление легчайших ядер.

В процессах деления и синтеза высвобождается всего лишь 0,1-0,3% энергии покоя участвующих в реакции ядер. Лишь при аннигиляции вещества и антивещества их энерговыделение повышается в 2-3 раза.

# Внутренние виды энергии

Ядерная энергетика экзотермична, когда конечные ядра связаны сильнее начальных => экзотермическими для легких ядер (например массой  $A \approx 10$ ) будут процессы синтеза более тяжелых, а для тяжелых – реакции расщепления ядра на достаточно крупные осколки.

Наиболее выгодными энергетически будут реакции синтеза для самых легких ядер, а реакции расщепления – для самых тяжелых.

# Внутренние виды энергии

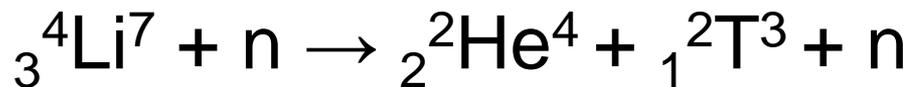
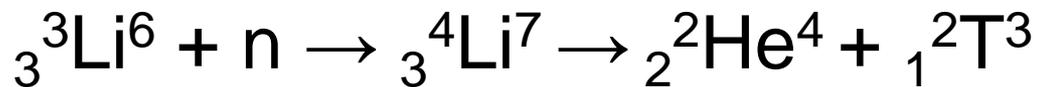


Термоядерный  
синтез

В водах Мирового океана содержится не более 100 кг Т.

Тритий можно получать из лития

Дейтерия много – 1:6800 Н  $\rightarrow$   $\approx 0,015\%$



Получение  
трития

# Внутренние виды энергии

В природных условиях примером ядерных реакций являются процессы радиоактивного распада.

Их вклад в энергетику планеты:

${}_{19}\text{K}^{40}$  – 0.21 кал/г /год;

${}_{90}\text{Th}^{232}$  – 0.21 кал/г /год

${}_{92}\text{U}^{235}$  – 4.7 кал/г /год

${}_{92}\text{U}^{238}$  – 0.72 кал/г /год

При цепной реакции деления ядер  $\text{U}^{235}$  из 140 грамм урана высвобождается энергия  $3 \cdot 10^{13}$  Вт, равная энергии, высвобождающейся при сжигании 1 тыс. тонн нефти.

**Это главный источник эндогенного тепла планеты**  
(Масса Земли –  $6 \cdot 10^{21}$  т.)

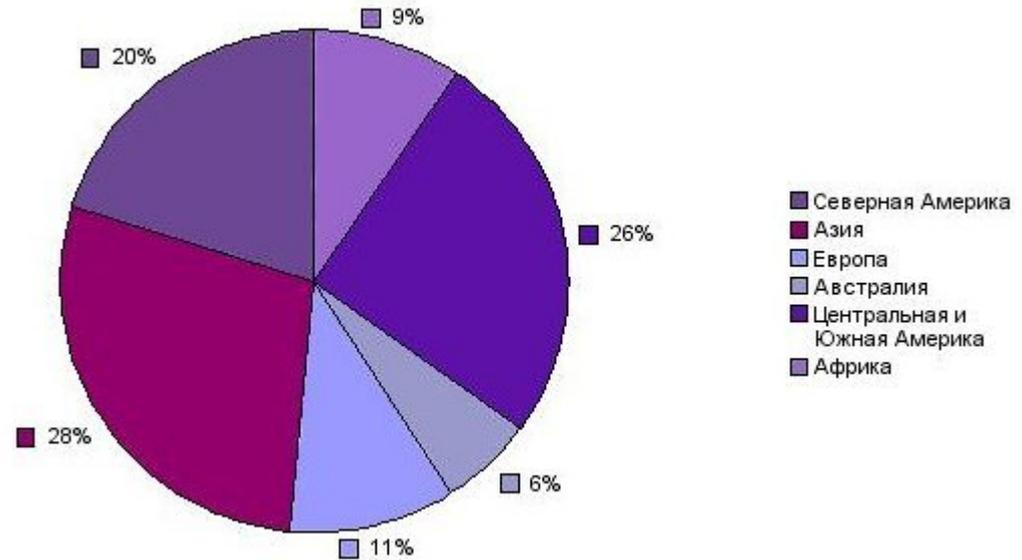
# Внутренние виды энергии

Внутренне тепло Земли – огромный источник энергии.

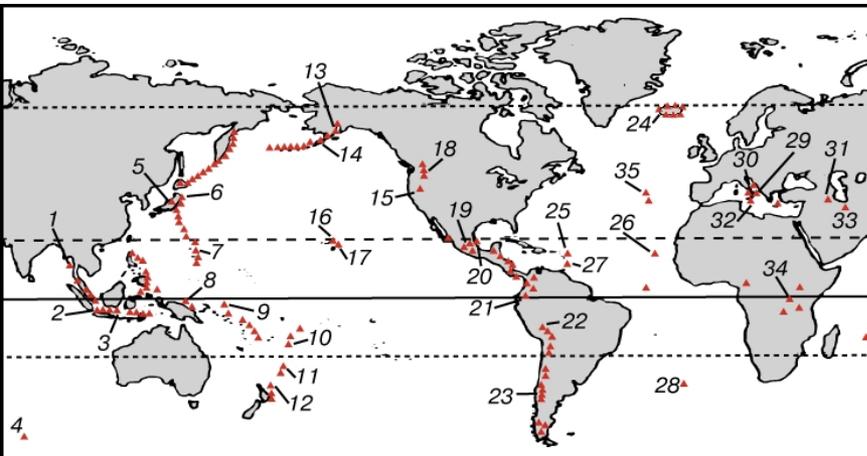
По некоторым расчетам до глубины 7-10 км общее количество тепла **более чем в 5000 раз** превышает теплоту сгорания всех видов топлив на Земле.

**Геотермическая ступень** – интервал, на котором происходит изменение  $T$  на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$   
(В среднем  $3^{\circ}$  на 100 м.(от 5 до 150 м/град).)

# Внутренние виды энергии



Сегодня уже в **80 стран мира** в той или иной степени используется геотермальное тепло. В большей части из них, а именно в 70 странах, утилизация этого вида природного тепла достигла уровня строительства теплиц, бассейнов, использования в лечебных целях и т.д.



ГеоТЭС имеются примерно в 25 странах. Потенциал геотермальной энергетики в мире рассмотрен на рисунке. Сегодня ГеоТЭС производят около **54613 ГВт/ч в год**. Современные объемы электроэнергии, получаемой благодаря этой технологии, достаточны для удовлетворения потребностей в электроэнергии 60 млн. человек, т. е. 1% населения планеты. Суммарная мощность существующих геотермальных систем теплоснабжения оценивается в **75900 ГВт / ч**.

# Внутренние виды энергии

Подсчитано, что только в магматическом очаге Авачинского вулкана аккумулированное тепло способно обеспечить работу электростанции мощностью 1000 МВт. (мощность Красноярской ГЭС-6800МВт)



Авачинский вулкан, вид из города  
(фото А.А. Кумарькова)

Авачинский - действующий, сложно построенный красивый вулкан типа Сомма-Везувий, с совершенным правильным конусом высотой 2751м над уровнем моря. На вершине конуса был кратер диаметром 350 м и глубиной 220 м, но в 1991 году в процессе извержения кратерная воронка заполнилась лавой, в разных участках которой теперь действуют фумаролы, отлагающие серу.

В Томской области геотермальную энергию использует санаторий Чажемто

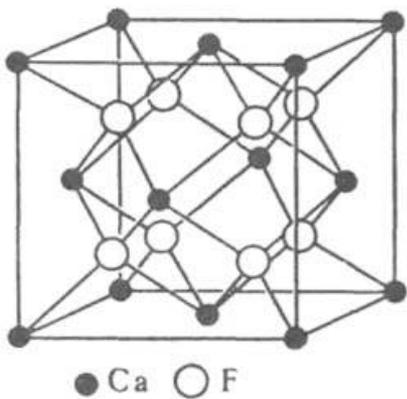
# Внутренние виды энергии

## Энергия электронных переходов в атомах:

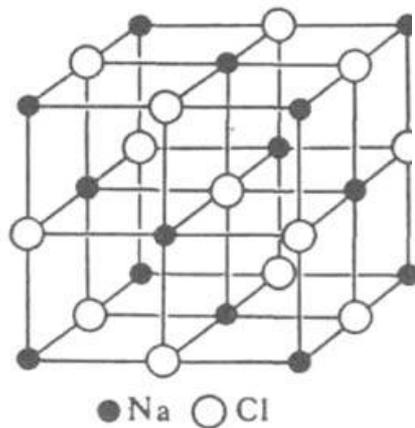
Энергия, заложенная в электронных оболочках атомов, долгое время считалась практически единственной формой энергии, управляющей течением всех геохимических процессов.

## А.Е. Ферсман – основоположник геоэнергетического направления в геохимии.

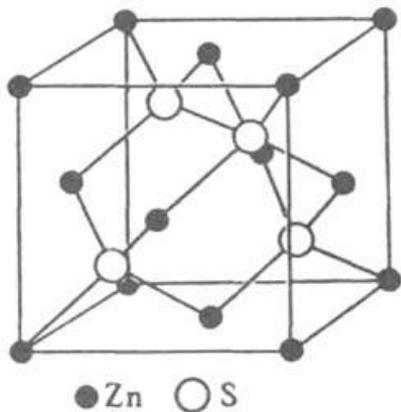
Породы состоят из минералов. Устойчивость минералов определяется их энергией. Решетки, выделяющие при своем образовании много энергии, прочнее тех, что выделяют мало энергии. Но решетки состоят из ионов и энергия решетки определяется энергией составляющих её ионов. Т.е. каждый ион, входящий в структуру решетки вносит определенный **пай** энергии. Этот пай он назвал энергетическим коэффициентом (**энергетическая константа – ЭК**).



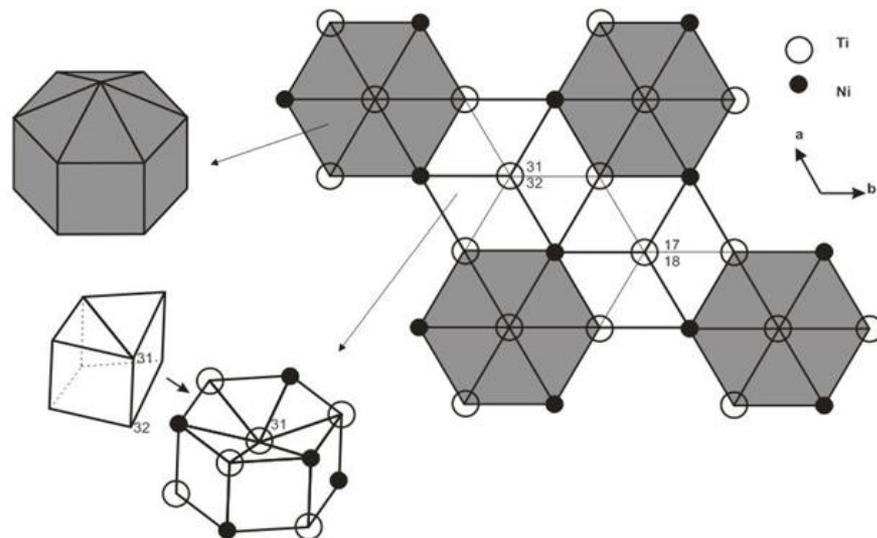
*a*



*б*



*в*



**Гипотетическая модель структуры R-фазы системы Ni-Ti в гексагональных осях, проекция вдоль оси «с».**

Рис. 2. Кристаллич. структуры  $\text{CaF}_2$  (а),  $\text{NaCl}$  (б) и  $\text{ZnS}$  (в).

# Внутренние виды энергии

Для ионов с размерами  $0,8-1,2\text{Å}$ :

$E_k = W^2/2r$ , где  $W$  – валентность иона,  
 $r$ - радиус иона.

Для ионов с размерами более  $1,2\text{Å}$ :

$$E_k = 0,38W^2 + 0,15 W^2/2r$$

Идеи А.Е. Ферсмана не нашли широкого применения, так как в них в принципиальных положениях, по мнению специалистов, имеются ошибки

# Внутренние виды энергии

## Энергия фазовых превращений:

В.И. Вернадский еще в 1891г. Предсказал «полиморфизм» - общее свойство материи, согласно которому «каждому химическому соединению присуще несколько кристаллических форм в зависимости от температуры».

М. Брюгер (1948) показал, что каждая полиморфная модификация обладает определенной свободной энергией. Поэтому полиморфная модификация, устойчивая при высокой  $T^0$  (с энергией  $E_1$ ), неустойчива при низких температурах, а модификация с высокой  $E_2$ , неустойчивая при низких  $T^0$  –рах, становится устойчивой при высоких  $T^0$  –рах.

# Внутренние виды энергии

Примеры полиморфных модификаций:

**Кальцит** – тригональная сингония,  $\rho=2,71$

**Арагонит** – ромбическая сингония,  $\rho=2,94$

**$\beta$ -кварц** - тригональная сингония,  $\rho=2,65$

**Кристобалит** - кубическая сингония,  $\rho=2,35$

**коэсит** – моноклинная,  $\rho=2,95$

**стишовит** – тетрагональная,  $\rho=4,3 \text{ г/см}^3$

На полиморфные превращения сильно влияют примеси.

Процессы упорядочения структуры минералов происходят при охлаждении и протекают самопроизвольно.

Предполагают, что они представляют собой мощный постоянно действующий фактор

# Внешние источники энергии

## 1. Энергия Солнца:

Солнце - молодая звезда, в недрах которой происходят сложные многообразные ядерные реакции. На Земную поверхность поступает электромагнитное излучение с длиной волны  $>3000\text{Å}$ .

Видимая часть спектра  $4000-10000\text{Å}$  отвечает максимуму энергии Солнца.

Общая энергия, которую получает освещенная Солнцем половина Земли,  $W=2*10^{26}$  эрг/мин ( $\approx 0,5*10^{19}$  кал.) Это соответствует потере 250 кг массы Солнца. Суммарные потери массы  $\approx 5*10^7$  т/мин.

**$2*10^{27}$  т (масса Солнца) /  $55*10^7$  т (расход в мин) =  $4*10^{18}$  мин => энергии хватит более чем на 10 млрд. веков**

В среднем на  $1\text{ км}^2$  земной поверхности за 6 месяцев среднего земного «лета» выпадает солнечная энергия, равноценная энергии, высвобождающейся при сжигании 100 тыс. т условного топлива.

# Внешние источники энергии

А.Н. Дмитриев (1963) показал, что эффективность прямого усвоения и хранения энергии Солнца кристаллическим веществом Земли очень мала и не может влиять на активную жизнь земной коры.

Основную массу солнечной энергии поглощает атмосфера. В связи с этим практическое использование солнечной энергии рационально (целесообразно) производить за пределами атмосферы, в космосе



S122E009880



# Внешние источники энергии

## 2. Энергия космического излучения:

**Космическое излучение** - это электромагнитное или корпускулярное излучение, имеющее внеземной источник; подразделяют на первичное и вторичное. В узком смысле иногда отождествляют *космическое излучение* и космические лучи.

В составе излучения протоны, альфа-частицы, позитроны, пионы, позитроны, мюзоны, мюоны, гипероны и др.

Источники космического излучения:

- галактическое пространство;
- Солнце (небольшая часть)
- внегалактическое (отдельные частицы высокой энергии)

# Внешние источники энергии

Космическое излучение обладает огромной энергией составляющих его частиц:

от солнечного космического излучения ( $10^9$  эВ);  
до межгалактического ( $10^{21}$  эВ).

Максимальная энергия частиц, которую получают на ускорителях -  $10^{12}$  эВ.

Приток энергии, поставляемой нынче космическим излучением на Землю составляет всего лишь  $0,01 \text{ эрг/см}^2 \cdot \text{с}$  – это соответствует энергии видимого света звезд. От Солнца Земля получает энергии в  $10^{20}$  раз больше

# Внешние источники энергии

## 3. Гравитационная энергия

Для двух тяготеющих тел с массами  $m_1$  и  $m_2$  гравитационная энергия  $E_g$  равна:

$$E_g = -G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R}$$

Где  $G$  — гравитационная постоянная.

Для бесконечно удалённых, то есть для гравитационно не взаимодействующих тел, гравитационную энергию принято считать равной нулю, то есть для любой системы тел, находящихся на конечных расстояниях, гравитационная энергия отрицательна. Полная энергия системы, равная сумме гравитационной и кинетической энергии постоянна, для изолированной системы гравитационная энергия является энергией связи. Системы с положительной полной энергией не могут быть стационарными.

**Сама природа делает нам подсказку: чем сильнее сжимается объект, тем больше выделяется энергии, скорее всего при достижении гравитационного радиуса, а вернее сказать, критических условий, вещество испарится, превращаясь в электромагнитную излучение и другие виды материи.**