

# **Изотопная геохимия нефти и газа**

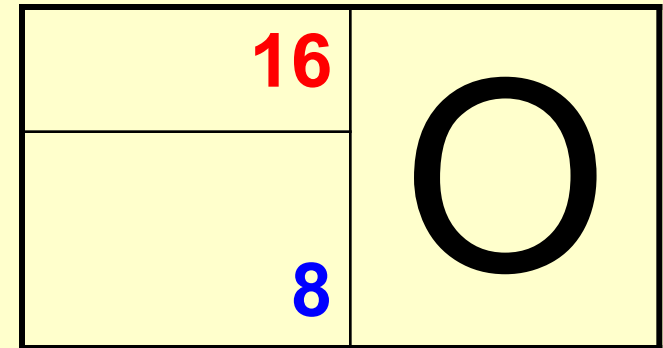
## **Тема 1**

### **«СТРОЕНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ АТОМНЫХ ЯДЕР. ИЗОТОПЫ»**

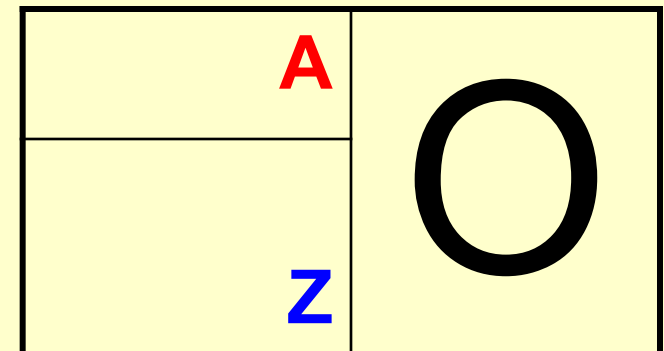
- **Основной геохимический закон В.М. Гольдшмидта гласит:** кларки элементов зависят от строения атомного ядра, а их миграция – от наружных электронов, определяющих химические свойства элементов.
- Ядра химических элементов характеризуются отсутствием четких границ, **малыми размерами**  $10^{-13}$  –  $10^{-14}$  см, **значительной массой** (практически равной массе атома) и **очень высокой плотностью** 3600 млн. – 1 млрд. тонн / см<sup>3</sup>.
- Для сравнения: размеры атомов в среднем  $10^{-8}$  см (1 ангстрем).

- Ядро состоит **из нуклонов** - положительно заряженных **протонов (z)** и не имеющих заряда **нейтронов (n)**.
- **Массы протона и нейтрона примерно равны** и составляют 1/12 часть атомной массы углерода или  $10^{-24}$  грамм (1 дальтон).
- **Количество протонов** в ядре элемента **совпадает с порядковым номером химического элемента в периодической таблице Менделеева** и определяет суммарный положительный заряд ядра.

- Если необходимо показать количество нуклонов и массовое число элемента, то следует придерживаться следующих обозначений:



- O (кислород) – название (индекс) элемента,
- A – массовое число элемента, равное сумме протонов (Z) и нейтронов (N), то есть  $A = Z + N$ .



Очевидно:

- $Z = A - N$
- $N = A - Z$

- Структура ядра однозначно не расшифрована

Две основные гипотезы:

**Капельная**

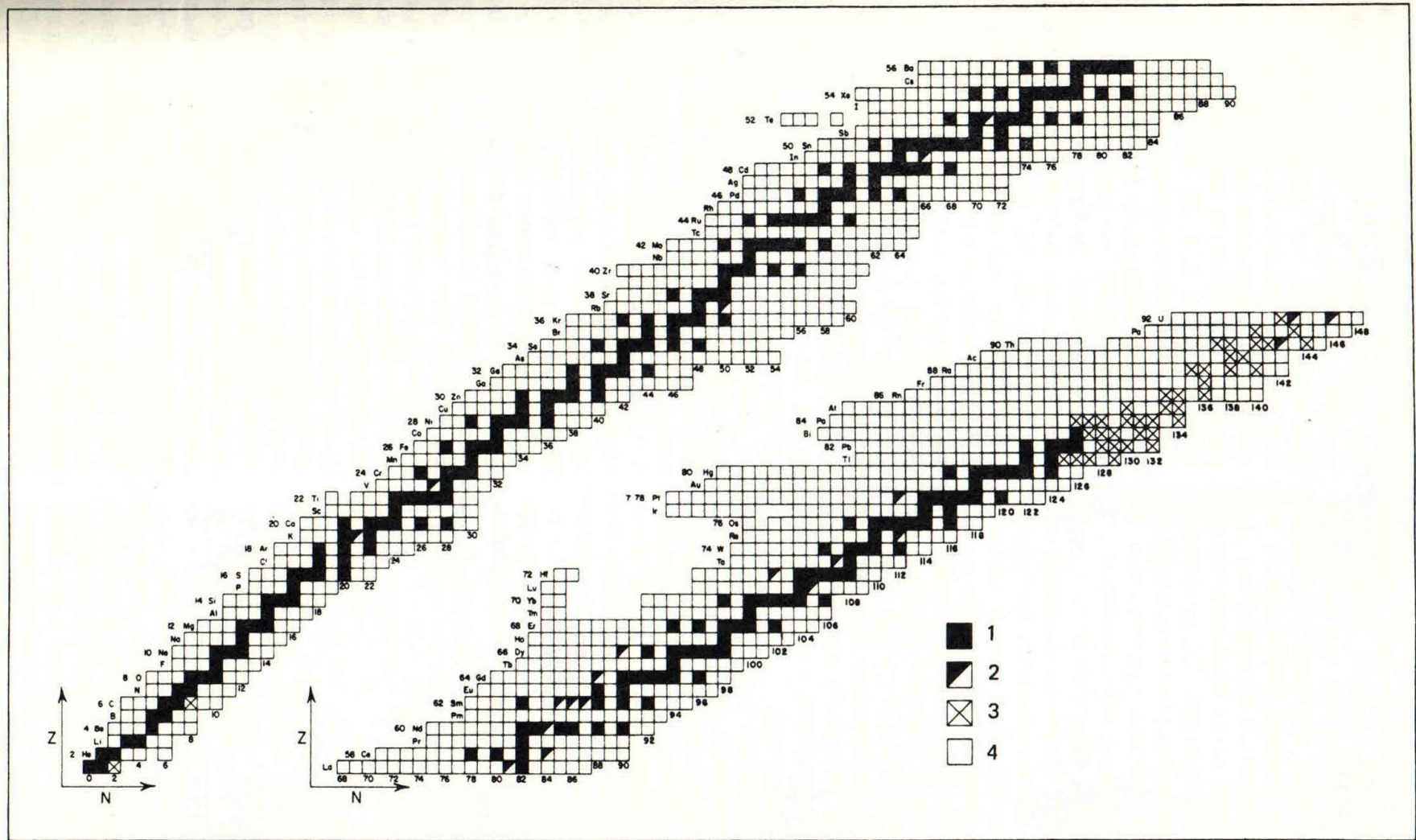
Нейтроны и протоны находятся в непрерывном движении, образуя сферу (каплю), при этом нейтроны удерживают протоны от взаимного отталкивания.

**Оболочечная**

Протоны и нейтроны находятся в определенных количествах на определенных энергетических уровнях (как электроны в атомах). Их количество на орбитах строго ограничено.

- Экспериментально установлено, что масса протонов и нейтронов в ядре всегда меньше их общей массы. Такое явление называется **дефектом масс** и объясняется переходом массы в энергию, которая делает ядро устойчивым. Таким образом: **чем больше дефект масс – тем устойчивее ядро.**
- Между количеством протонов и нейтронов существует **определенный баланс** при нарушении которого ядро становится неустойчивым. Начиная с элемента № 83 (Bi) даже дополнительные нейтроны не делают ядро устойчивым.

# Наиболее устойчивы элементы начала таблицы, у которых соотношение протонов и нейтронов равно единице



**Рис. 2.2.** Диаграмма нуклидов в координатах  $Z$  и  $N$ . На диаграмме представлены не все короткоживущие радиоактивные нуклиды. Диаграмма составлена по данным Хоулдена и Уокера [4]. 1 – стабильные нуклиды; 2 – долгоживущие природные нестабильные нуклиды; 3 – короткоживущие природные нестабильные нуклиды; 4 – короткоживущие нестабильные нуклиды, не встречающиеся в природе;  $Z$  – число протонов;  $N$  – число нейтронов.

- Самые устойчивые ядра **с четным количеством протонов и нейтронов**, самые неустойчивые с нечетными количествами протонов и нейтронов. Нечетность одного из нуклонов ведет к уменьшению количества изотопов в 3 раза.

Протоны	Нейтроны	Массовое число	Кол-во изотопов
Четное	Четное	Четное	166
Четное	Нечетное	Нечетное	55
Нечетное	Четное	Нечетное	47
Нечетное	Нечетное	Четное	5

Массовое число наиболее устойчивых атомных ядер **делится на 4 без остатка**. Такие элементы обозначаются  $4Q$  и называются **«гелионы»**.

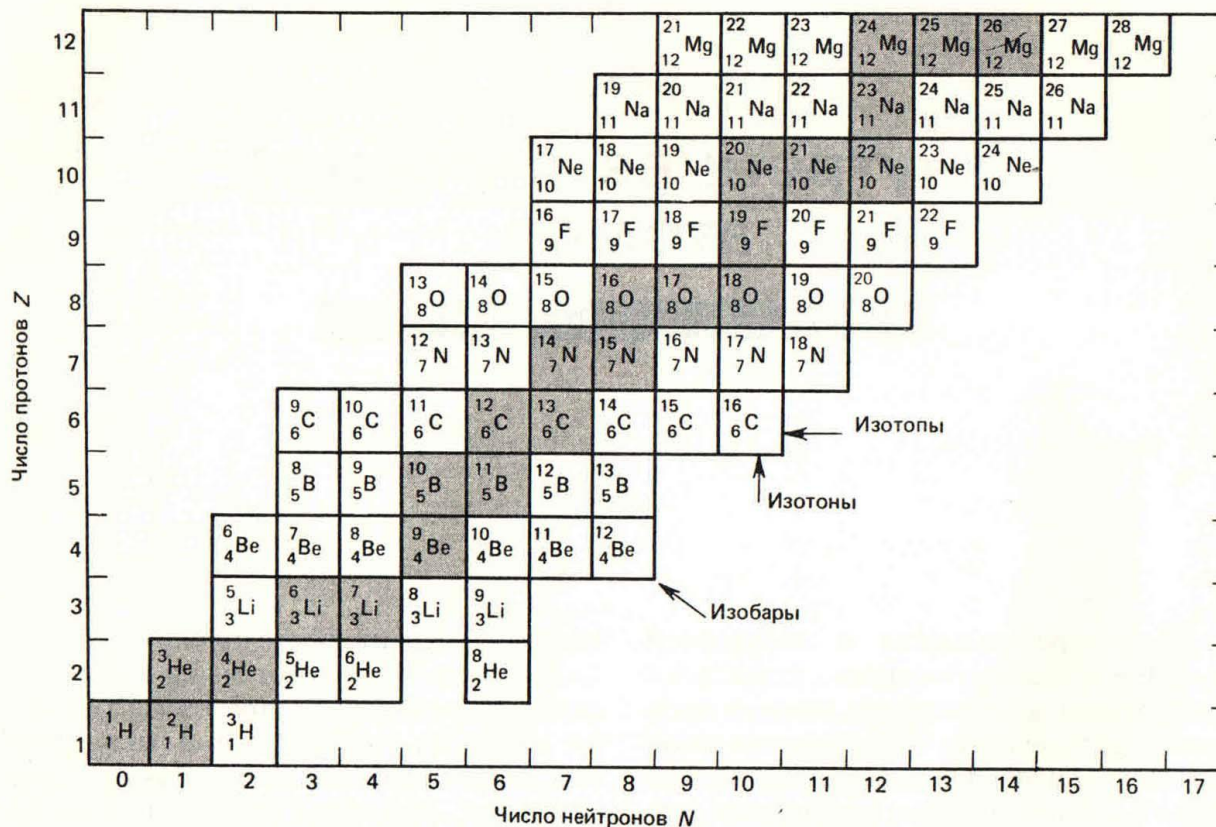
Тип изотопа	Количество изотопов	Распространенность в хондритах
$4q$	90	89.6%
$4q + 1$	53	2.9%
$4q + 2$	86	5.5%
$4q + 3$	57	2.5%

- Ядра у которых количество **протонов или нейтронов** равно 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 - называются **магическими**.
- Дваждымагические ядра имеют **магическое число и протонов и нейтронов**.
- Общий ряд магических ядер:
  - ${}^2_2\text{He}$ ,  ${}^8_8\text{O}$ ,  ${}^{20}_{20}\text{Ca}$ ,  ${}^{28}_{28}\text{Ni}$ ,  ${}^{38}_{38}\text{Sr}$ ,  ${}^{50}_{50}\text{Sn}$ ,  ${}^{56}_{56}\text{Ba}$ ,  ${}^{82}_{82}\text{Pb}$
- В этом ряду He, O, Ca, Pb дваждымагические, они **самые устойчивые** и важные из всех элементов.
- He – элемент космоса, O и Ca распространенные элементы земной коры.



# Диаграмма нуклидов: изотопы, изотоны, изобары

в 1918 г. Ф. Содди предположил существование изотопов (от греч.: «то же самое место»). Позже было доказано, что **атомный номер** элемента соответствует заряду ядра, а **изотопы** – это *атомы* или «*нуклиды*» с одним и тем же атомным номером, но с разными массами.



**Рис. 2.1.** Участок диаграммы нуклидов. Каждый квадрат представляет отдельный нуклид, который описывается числом протонов ( $Z$ ) и нейтронов ( $N$ ), составляющих его ядро. Затемненные квадраты обозначают стабильные атомы, незатемненные – нестабильные или радиоактивные нуклиды. Изотопы – это атомы, имеющие одинаковые значения  $Z$ , но разные значения  $N$ . Изотоны имеют одинаковые значения  $N$ , но разные значения  $Z$ . Изобары имеют одно и то же значение  $A$ , но разные значения  $Z$  и  $N$ . Только изотопы являются атомами одного элемента и, следовательно, имеют почти одинаковые химические свойства.

## Классификация нуклидов

- 1. Стабильные нуклиды.
- 2. Долгоживущие природные нестабильные нуклиды
- 3. Короткоживущие природные нестабильные нуклиды.
- 4. Короткоживущие нестабильные нуклиды не встречающиеся в природе.

## Численность нуклидов

- 1 группа – 273 нуклидов
- 2 группа + 3 группа – 67 нуклидов

**Всего в природе обнаружены 340 нуклидов**

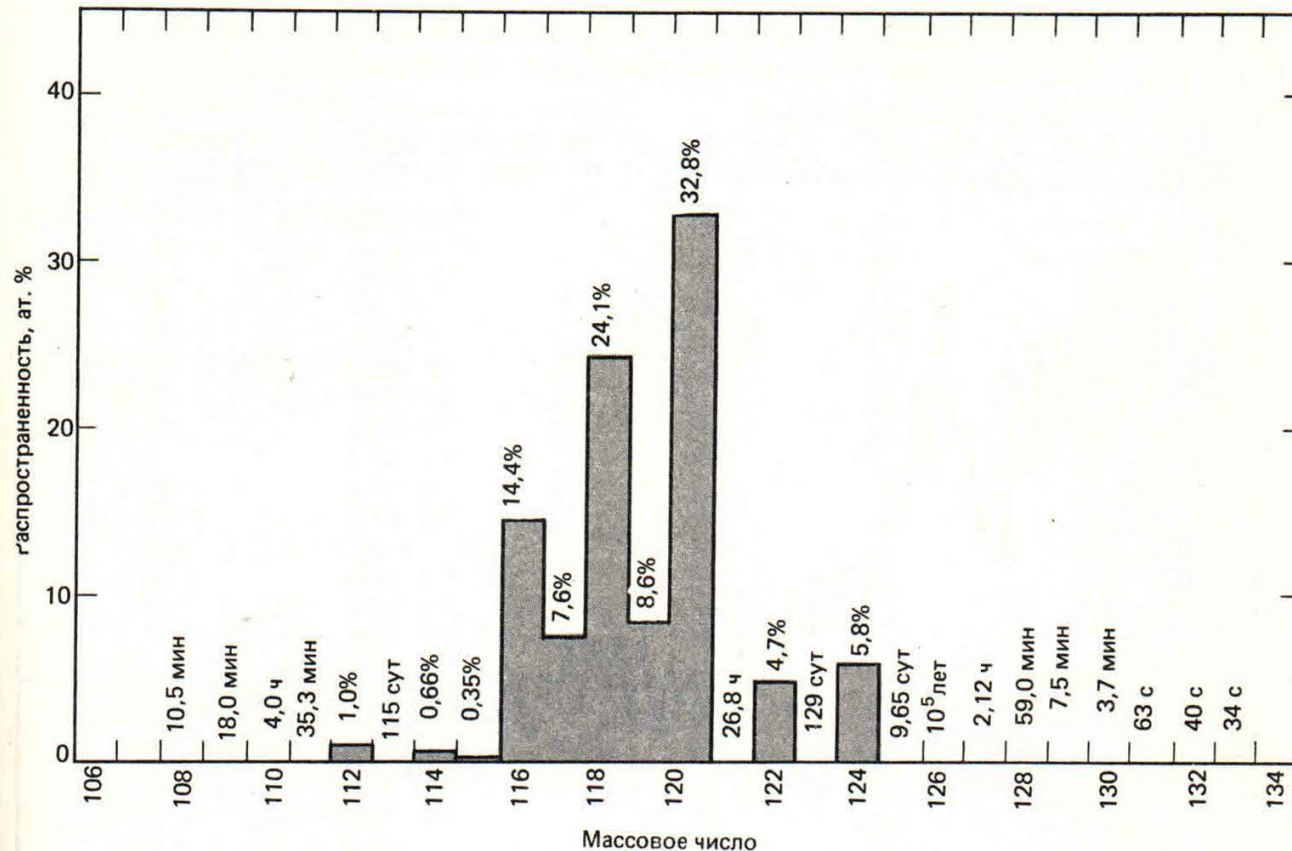
- 4 группа – 1360 нуклидов

**Всего известно около 1700 нуклидов всех химических элементов**

# О количестве изотопов у одного элемента

Если  $Z$  нечетное, то у элемента будет либо 1, либо 2 изотопа.

Если  $Z$  четное – то у элемента будет от 2 до 10 изотопов



**Рис. 2.3.** Изотопы олова ( $Z = 50$ ). Затемненные области представляют значения распространенности стабильных изотопов, выраженные в атомных процентах. Нестабильные изотопы показаны численными значениями их периодов полураспада, выраженных в годах (г), сутках (сут), минутах (мин) или секундах (с). Диаграмма иллюстрирует влияние эффекта четности – нечетности числа нейтронов на распространенность стабильных изотопов и на величину периодов полураспада нестабильных изотопов олова. Отметим, что периодом полураспада нестабильного нуклида называется время, необходимое для того, чтобы распалась половина от данного числа атомов. Диаграмма составлена по данным Хоулдена и Уокера [4].